

BRUNO DE OLIVEIRA BRANDÃO

DIEGO DA SILVA PEREIRA

HELIO YARA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROCESSOS PARA AMPLIAÇÃO
DE UMA ETE DE GRANDE PORTE**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil.

São Paulo
2014

BRUNO DE OLIVEIRA BRANDÃO

DIEGO DA SILVA PEREIRA

HELIO YARA

**Análise Comparativa de Processos para Ampliação de uma ETE
de Grande Porte**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Roque Passos Piveli

São Paulo
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Brandão, Bruno de Oliveira

Análise comparativa de processos para ampliação de uma ETE de grande porte / B.O. Brandão, D.S. Pereira, H. Yara. -- São Paulo, 2014.

89 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

1.Tratamento de esgoto sanitário 2.Lodo ativado I.Pereira, Diego da Silva II.Yara, Hélio III.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental IV.t.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus pela oportunidade nos dada.

Aos nossos familiares pelo apoio, compreensão e às palavras de incentivo nos momentos de ansiedade e nervosismo.

Ao nosso orientador Roque Passos Piveli, pelas orientações, incentivo e sugestões sobre o tema, pela paciência e tolerância que nos doou durante todo este trabalho.

Aos Professores Sidney Seckler Ferreira Filho e José Carlos Mierzwa pela disponibilidade e orientações prestadas durante a banca examinadora. E ao professor Pedro Além Sobrinho pelas orientações prestadas.

RESUMO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) coleta 84% dos esgotos produzidos. Destes trata 69% (PDE-2010). Apesar de estes números serem razoáveis, o Plano Diretor de Esgotos prevê a universalização do atendimento, com coleta de 90% dos esgotos e tratamento de 100% dos esgotos coletados. Entretanto, numa área com a taxa de ocupação da RMSP, é praticamente impossível encontrar áreas para a implantação de novas ETEs. Com isto, a solução é aumentar a capacidade de ETEs existentes, utilizando as reduzidas áreas disponíveis. Este trabalho se propõe a estudar novas tecnologias para o tratamento de esgotos. Especificamente, serão avaliadas alternativas para aumentar a vazão afluente à ETE Parque Novo Mundo (PNM), no que diz respeito à fase líquida do tratamento de esgoto, nomeadamente os tanques de aeração e os decantadores secundários, uma vez que estas unidades ocupam grandes áreas e podem limitar a capacidade efetiva de uma ETE. O tratamento do lodo não será estudado neste trabalho, pois a linha de tratamento de lodo da ETE PNM deverá ser desativada, enviando-se o lodo dos decantadores secundários via lodo duto e rede coletora de esgoto para a ETE Barueri.

Palavras-chave: Tratamento de esgotos Sanitário. Lodo ativado.

ABSTRACT

At São Paulo Metropolitan Area (SPMA), there are 84% of collect of sewage, of which 69% are treated. Although those numbers are reasonable, the Sewerage Master Plan provides for the universal provision, collecting 90% of the sewage and treating 100% of the collected sewage. However, in an area of high occupancy rate, like the SPMA, is almost impossible to find areas for deployment of new Sewage Treatment Plants (STP). Thus, the solution is to increase the capacity of existing treatment plants, using the limited areas available. This work aims to study new technologies for sewage treatment. Specifically, alternatives will be evaluated to increase the influent flow rate to the Parque Novo Mundo STP (PNM) with respect to the liquid phase of the sewage treatment plant, in particular aeration tanks and secondary sedimentation tanks, since these units occupy large areas and may limit the effective capacity of an SPMA. The sludge treatment will not be studied in this work, because the line of treatment of sewage sludge PNM should be disabled by sending the sludge from secondary sedimentation tanks by sludge pipeline and sewage disposal system for the Barueri STP.

Keywords: Sewage treatment Activated Sludge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2 - Representação da seção do biofilme.....	19
Figura 3 - Suporte de polietileno	20
Figura 4 - Suportes AnoxKaldnes	22
Figura 5 - Suporte Aqwise	23
Figura 7 - Vista geral da ETE Parque Novo Mundo	28
Figura 8 - Sistema principal de esgotamento Sanitário da RMSP ..	28
Figura 9 - Vista geral do Gradeamento Médio.....	32
Figura 10 - Vista geral da Unidade de Peneiramento e Prensagem.	33
Figura 11 - Vista geral dos Tanques de Aeração.	35
Figura 12 - Vista geral da Unidade de Decantação Secundária.	37
Figura 13 - Vista geral do sistema de flotação.	39
Figura 14 - À esquerda silos de armazenamento de cal (lilás).....	43
Figura 15 - Sistema de Lavagem dos Gases coletados no prédio de desidratação de lodo.....	46
Figura 16 – UGRHI 6 (Fonte: CETESB).....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índice de Qualidade de Água (Fonte: CETESB)	49
Gráfico 2: Índice de Vida Aquática (Fonte: CETESB)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vazões de esgoto para o cenário 1.....	2
Tabela 2: Vazões de esgoto para o cenário 2.	3
Tabela 3: Resumo da capacidade de tratamento efetiva e unidades que limitam essa capacidade.....	3
Tabela 4: Classificação dos sistemas em função da idade do lodo (von Sperling, 1997).	16
Tabela 5 Características dos suportes	22
Tabela 6: Características de difusores comercializados pela B&F Dias.....	24
Tabela 7: Características de sopradores comercializados pela Omel e pela Atlas Copco.....	25
Tabela 8: Média 2012 das principais variáveis de qualidade (Fonte: CETESB).....	48
Tabela 9 – Vazões de projeto.....	51
Tabela 10 – Cargas e concentrações de projeto.....	51
Tabela 11 – Dimensionamento das estruturas comuns.	52
Tabela 12 – Peneiras rotativas.....	52
Tabela 13 – Dimensões dos tanques de aeração.	53
Tabela 14 – Modelo de Marais e colaboradores (alternativa 1).....	54
Tabela 15 – Demanda carbonácea de O ₂ (alternativa 1).	54
Tabela 16 – Transferência de oxigênio (alternativa 1).	55
Tabela 17 – Potência dos sopradores.....	55
Tabela 18 – Recirculação de lodo (alternativa 1).	56
Tabela 19 – Decantadores secundários (alternativa 1).....	56
Tabela 20 – Taxas de aplicação e tempo de retenção hidráulica (alternativa 1).....	57
Tabela 21 – Orçamento da alternativa 1.	57
Tabela 22 – Modelo de Marais (alternativa 2).	59
Tabela 23 – Biomassa aderida e em suspensão.....	60
Tabela 24 – Demanda carbonácea de oxigênio.	61
Tabela 25 – Transferência de oxigênio (alternativa 2).	62
Tabela 26 – Sopradores de ar (alternativa 2).....	62
Tabela 27 – Recirculação de lodo.....	63
Tabela 28 – Decantadores secundários (alternativa 2).....	63
Tabela 29 – Taxas de aplicação e tempo de retenção hidráulica (alternativa 2).....	63
Tabela 30 – Orçamento (alternativa 2).....	64
Tabela 31 – Decantador primário (alternativa 3).	65
Tabela 32 – Modelo de Marais e colaboradores (alternativa 3).....	67
Tabela 33 – Demanda carbonácea (alternativa 3).	67
Tabela 34 – Transferência de oxigênio (alternativa 3).	68
Tabela 35 – Sopradores (alternativa 3).....	68
Tabela 36 – Recirculação de lodo (alternativa 3).	69
Tabela 37 – Decantadores secundários (alternativa 3).....	69
Tabela 38 – Taxas de aplicação superficial e tempo de retenção hidráulica (alternativa 3).	70

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

DBO:	Demanda biológica de oxigênio
DQO:	Demanda química de oxigênio
SS:	Sólidos em suspensão
SSV:	Sólidos em suspensão voláteis
X_v :	Concentração de sólidos em suspensão voláteis
X_b :	Concentração de SSV biodegradáveis
X_{ve} :	Concentração de SSV no efluente
X_{vr} :	Concentração de SSV no lodo de retorno
Y :	Coeficiente de síntese celular
S_0 :	Concentração de DBO ₅ total afluente
S :	Concentração de DBO ₅ total efluente
μ :	Taxa de crescimento específico
K_S :	Constante de saturação
K_d :	Coeficiente de respiração endógena
V :	Volume de líquido no sistema
Q :	Volume de líquido retirado do sistema por unidade de tempo
Q_{ex} :	Vazão de lodo excedente
θ_c :	Idade do lodo

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	Objetivos.....	4
2.1	Objetivo Geral.....	4
2.2	Objetivo Específico.....	4
3	Revisão bibliográfica	5
3.1	Lodo Ativado	5
3.1.1	Introdução	5
3.1.2	Princípios da remoção de matéria carbonácea.....	6
3.1.3	Controle do processo.....	13
3.1.4	Modelo Cinético	14
3.1.5	Sistema Convencional x Alta Taxa.....	16
3.2	Sistema de Reatores de Biofilme de Leito Móvel (com recirculação) ...	17
3.2.1	Introdução	17
3.2.2	Biofilme	18
3.2.3	MBBR e IFAS.....	19
3.2.4	Suportes	21
3.3	Equipamentos para o sistema de aeração.....	23
4	METODOLOGIA	26
5	Estudo de caso.....	26
5.1	ETE Parque Novo Mundo	28
5.1.1	Localização	28
5.1.2	Bacias de Esgotamento Atendidas	28
5.1.3	Tipo de Tratamento	29

5.1.4	Estrutura da ETE.....	30
5.2	Corpo Receptor	47
6	RESULTADOS	51
6.1	Dimensionamentos comuns	52
6.2	Alta Taxa	52
6.3	IFAS	58
6.4	Implantação de decantador primário.....	65
7	Conclusões e Recomendações	72
8	Referencias Bibliográficas	73

1 INTRODUÇÃO

O sistema de esgotamento sanitário da região metropolitana de São Paulo está consolidado em um sistema principal com cinco grandes estações de tratamento de esgoto, ETE Barueri, ETE Suzano, ETE ABC, ETE Parque Novo Mundo e a ETE São Miguel e sistemas isolados, estas correspondendo a localidades periféricas sem integração com sistema principal.

A região metropolitana tem um nível de atendimento razoável, contudo nem todas as vazões coletadas são tratadas. Atualmente, 84% dos esgotos são coletados e destes apenas 69% são tratados.

A Sabesp, principal responsável pelos serviços de saneamento básico dessa região, além de promover a manutenção e adequação das instalações dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitários existentes, tem como sua principal meta a universalização do serviço de esgotos nas áreas sob sua responsabilidade operacional.

Sob o foco do sistema de esgotamento sanitário, a empresa deverá conduzir ações de expansão e otimização dos sistemas de coleta, afastamento e tratamento de esgoto.

O plano diretor de esgoto da região metropolitana de São Paulo (PDE-2010) foi desenvolvido considerando o conceito de integração do Sistema principal e também as especificidades dos sistemas isolados de esgotos da RMSP, de forma a identificar as demandas para expansão desses sistemas ao longo do período de planejamento, tendo como horizonte o ano de 2030.

O PDE-2010 prevê uma universalização do atendimento. A universalização do atendimento consiste em atender com coleta, no mínimo 90% dos domicílios de cada município e tratar 100% do esgoto coletado. Para tanto é necessário não somente a expansão do sistema já existente, mas também ações integradas de otimização de operação, manutenção e uso dos espaços dos ativos existentes, este último muito crítico, pois na região metropolitana de São Paulo é praticamente impossível encontrar um terreno onde possa comportar uma ETE.

O PDE-2010 estudou dois cenários distintos de universalização:

Cenário um: Universalização até 2018;

Cenário dois: Universalização até 2023.

Os quadros a seguir mostram as vazões de esgotos coletados previstos para os cenários um e dois e o cenário atual e as capacidades efetivas da cada ETE.

Tabela 1: Vazões de esgoto para o cenário um.

Sistema	Vazões de Esgoto (l/s)							
	2015		2018		2023		2030	
	Coletada	Tratada	Coletada	Tratada	Coletada	Tratada	Coletada	Tratada
ABC	6702	4508	7726	6956	7972	7538	8254	8254
Barueri	19331	14148	22916	22916	23552	23552	24330	24330
PNM	6057	4558	6394	6394	6670	6670	6965	6965
São Miguel	4060	1933	4561	4561	4800	4800	5034	5034
Suzano	1690	1210	2246	2246	2362	2362	2500	2500
Isolados	2426	1443	3338	3338	3612	3612	3848	3848
Total	40266	27800	47181	46411	48968	48534	50931	50931

Tabela 2: Vazões de esgoto para o cenário dois.

Sistema	Vazões de Esgoto (l/s)							
	2015		2018		2023		2030	
	Coletada	Tratada	Coletada	Tratada	Coletada	Tratada	Coletada	Tratada
ABC	6702	4508	7474	5726	7972	7538	8254	8254
Barueri	19331	14148	21649	18165	23552	23552	24330	24330
PNM	6057	4558	6367	5188	6670	6670	6965	6965
São Miguel	4060	1933	4471	3513	4800	4800	5034	5034
Suzano	1690	1210	2105	1836	2362	2362	2500	2500
Isolados	2426	1443	2797	2218	3612	3612	3848	3848
Total	40266	27800	44863	36646	48968	48534	50931	50931

Tabela 3: Resumo da capacidade de tratamento efetiva e unidades que limitam essa capacidade.

ETE	Vazão Média Afluente (M³/s)	Capacidade Nominal Projetada (m³/s)	Capacidade Efetiva (m³/s)	Unidades que Limitam a Capacidade Efetiva
ABC	1,7 (1,5 a 2,1)	3,0	2,4	Decantadores Primário e Secundário
Barueri	9,0 (7,4 a 10,4)	9,5	7,3	Decantadores Primários
Parque Novo Mundo	2,1 (1,8 a 2,3)	2,5	2,1	Tanque de Aeração
São Miguel	0,8 (0,6 a 1,0)	1,5	1,5	Decantadores Secundários
Suzano	0,7 (0,6 a 1,0)	1,5	1,0	Decantadores Primários

O presente trabalho de formatura terá como base o estudo para a ampliação da ETE Parque Novo Mundo, pesquisando novas tecnologias e fazendo um estudo comparativo entre processos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do Trabalho de Formatura é um estudo teórico de tratamento de esgoto aplicável às estações de grande porte para consolidação do conhecimento adquirido ao decorrer do curso.

2.2 Objetivo Específico

Serão identificadas e dimensionadas alternativas para o tratamento. Para isso será levado em consideração

- Etapas de tratamento já existente;
- Área disponível para ampliação;
- Necessidade de tratamento atual e futura;
- Dificuldades operacionais;
- Análise técnica-econômica.

O objetivo específico do trabalho atinge à fase líquida do tratamento do esgoto, mais especificamente o tanque de aeração e decantadores secundários, pois ocupam grandes áreas e são unidades que podem limitar a capacidade efetiva de uma ETE. O tratamento do lodo não será estudado neste trabalho, pois de acordo com a proposta do plano diretor, a linha de tratamento de lodo da ETE PNM deverá ser desativada, enviando-se o lodo dos decantadores secundários via lodo duto e rede coletora de esgoto para a ETE Barueri.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

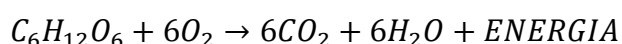
3.1 Lodo Ativado

3.1.1 Introdução

O processo de lodos ativados originou-se em com o trabalho “*Experiências sobre a oxidação do esgoto sem a intervenção de filtros*”, dos pesquisadores Edward Arden e William Lockett. Atualmente, este processo é o mais utilizado para depuração de efluentes sanitários, os quais possuem uma alta concentração de carga orgânica e matéria nitrogenada.

A linha de tratamento é composta por um tratamento preliminar com gradeamento, seguido de um decantador primário, reator, decantador secundário, linha de recirculação, linha de retirada de lodo, e secagem. O foco deste trabalho será uma análise do reator e decantador secundário.

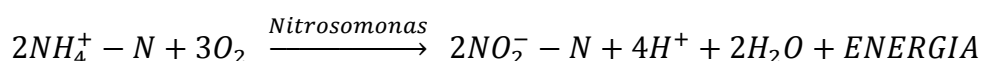
O processo tem como fundamento a aceleração da oxidação e decomposição da matéria orgânica em CO_2 , H_2O e biomassa bacteriana. Isso ocorre pela ação de microrganismos presentes no reator, essas bactérias derivam tanto do esgoto quanto da recirculação do lodo presente no fundo do decantador secundário. A equação abaixo rege o sistema de decomposição da matéria orgânica.

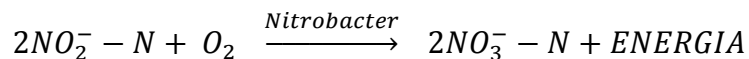


Os microrganismos presentes no sistema metabolizam a matéria carbonácea e utilizam a energia resultante para se multiplicar, esse processo é conhecido como síntese. O excesso de lodo produzido é constituído por água, produtos solúveis de microrganismos, e gás carbônico.

O oxigênio utilizado no processo digestório é incorporado ao processo por reatores.

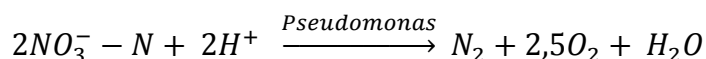
Os compostos nitrogenados, proteínas e aminoácido, são oxidados biologicamente produzindo amônia, a qual é transformada em nitrito por bactérias do gênero *Nitrosomonas*. O nitrito é levado a nitrato por bactérias do gênero *Nitrobacter*. O processo de transformação da amônia em nitrato é conhecido por *nitrificação*.





Os microrganismos envolvidos no processo de nitrificação são autótrofos quimiossintetizantes. Eles utilizam o gás carbônico, como fonte de carbono, e a energia obtida pela oxidação de um substrato inorgânico, para sintetizar uma nova biomassa. Os produtos resultantes da nitrificação são novas células e nitrato.

O nitrato é consumido na respiração de bactérias *Pseudomonas sp*, quando da ausência de oxigênio. O processo produz nitrogênio gasoso, o qual é perdido para atmosfera. Esse mecanismo de remoção biológica de nitrogênio é chamado de desnitrificação. Para ocorrer a desnitrificação no lodo ativado é necessário criar regiões anóxicas.



O processo de nitrificação e desnitrificação não faz parte do escopo deste trabalho, pois o tipo de tratamento empregado na ETE PNM não realiza nenhuma das duas etapas do tratamento.

3.1.2 Princípios da remoção de matéria carbonácea

O lodo presente no fundo do decantador secundário é rico em bactérias ativas, capazes de assimilar matéria orgânica, mas possui uma baixa concentração de oxigênio e matéria carbonácea. Com intuito de aproveitar a capacidade de assimilação desses microrganismos, o lodo é enviado do decantador secundário para o tanque de aeração. Isso aumenta a concentração de biomassa no reator permitindo uma maior remoção de substrato, DBO. No tanque, o lodo reciclado recebe oxigênio e se mistura com o esgoto bruto, o qual é fonte de alimento para os microrganismos presentes no lodo. O novo lodo é enviado ao decantador secundário, em que irá se formar flocos maiores e haverá a decantação desses.

O esquema a seguir representa a recirculação do lodo.

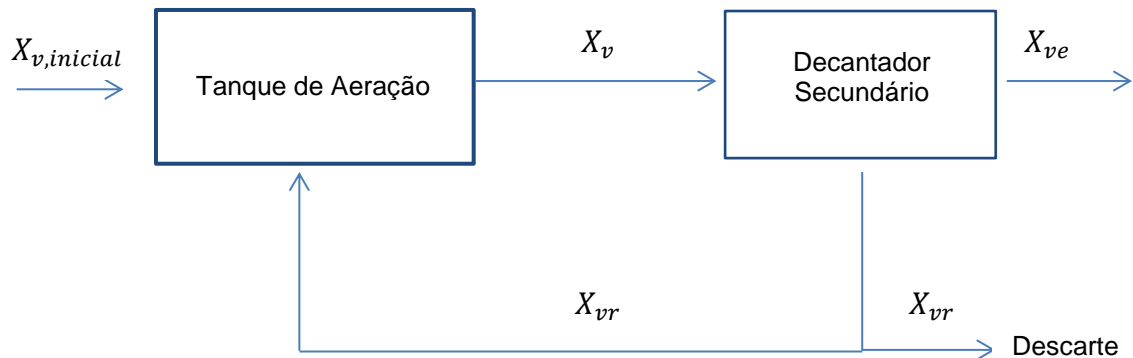


Figura 1 - Recirculação de lodo

O valor de X_{vr} é mais elevado do que X_v . O lodo recirculado possui uma maior concentração de sólidos em suspensão, SS.

Na Figura 4.1, pode-se verificar a existência de mais uma linha de fluxo, a do lodo excedente. Esse descarte de lodo ocorre para compensar a produção de biomassa do sistema. Caso não houvesse descarte de lodo, o decantador secundário teria o seu volume útil diminuído ao longo do tempo, e em certo momento, os flocos, não tendo espaço para sedimentação, entrariam na linha de efluente contaminando-a. O lodo excedente pode ser enviado para o decantador primário ou para tratamento de fase sólida.

A biomassa é composta por sólidos em suspensão, SS, no reator. Esses são divididos em dois grupos, orgânicos e inorgânicos. Os sólidos orgânicos são chamados de sólidos em suspensão voláteis, SSV. Eles são divididos em fração ativa e não ativa, pois apenas parte deles participa da conversão do substrato orgânico. Os sólidos inorgânicos não possuem função no tratamento biológico.

A matéria carbonácea, ou substrato orgânico, é representado pela DBO_5 , a qual pode ser dividida em total e solúvel. A DBO_5 solúvel é chamada de substrato afluente, ela representa a eficiência do reator, enquanto DBO_5 em suspensão, ou efluente, controla o desempenho do decantador secundário.

A produção bruta de lodo pode ser expressa em função do substrato, quanto maior a quantidade de matéria carbonácea disponível, maior é a taxa de crescimento bruto bacteriano, e em função da concentração da biomassa.

A produção bruta em função do substrato está representada na expressão abaixo.

$$\frac{dX_V}{dt} = Y \cdot \frac{d(S_0 - S)}{dt}$$

Sendo:

X_V – concentração de sólidos em suspensão voláteis ($gSSV/m^3$),

Y – coeficiente de síntese celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de DBO removida) ($gSSV/gDBO_5$),

S_0 – concentração de DBO₅ total afluente ($gDBO_5/m^3$),

S – concentração de DBO₅ total efluente ($gDBO_5/m^3$),

t – tempo.

A produção bruta em função da biomassa está representada na expressão abaixo.

$$\frac{dX_V}{dt} = \mu \cdot X_V$$

Sendo:

X_V – concentração de sólidos em suspensão voláteis ($gSSV/m^3$),

μ – taxa de crescimento específico (d^{-1}),

t – tempo.

“A taxa de crescimento, tal como expressa acima, é para crescimento sem limitação de substrato. No entanto, o crescimento bacteriano é função da disponibilidade de substrato no meio. Quando o substrato apresenta-se em baixa concentração, a taxa de crescimento é proporcionalmente reduzida. A matéria carbonácea é, no tratamento de esgoto, usualmente fator limitante de crescimento” (**SPERLING**).

A relação entre a taxa de crescimento e a concentração de substrato limitante é:

$$\mu = \mu_{m\acute{a}x} \cdot \frac{S}{S + K_s}$$

Sendo:

$\mu_{m\acute{a}x}$ – taxa de crescimento específico máxima (d^{-1}),

S – concentração do substrato limitante ($gDBO_5/m^3$),

K_s – constante de saturação, a qual é definida como concentração do substrato para a qual $\mu = \mu_{m\acute{a}x}/2$ ($gDBO_5/m^3$).

Com a diminuição do substrato disponível, os microrganismos buscam outras fontes de matéria orgânica. No caso do tratamento de esgoto essa fonte é o próprio protoplasma celular o que acarreta em uma redução na quantidade de microrganismo, esse processo é definido como respiração endógena. Os equacionamentos acima servem apenas para produção bruta do lodo, eles não levam em consideração esse decaimento bacteriano. É importante salientar que apenas a fração biodegradável, responsável pela assimilação da matéria orgânica, está sujeita ao decaimento.

A taxa de decaimento está abaixo.

$$\frac{dX_b}{dt} = -K_d \cdot X_b$$

Sendo:

X_b – concentração de SSV biodegradáveis (mg/l),

K_d – coeficiente de respiração endógena (d^{-1}).

Levando em consideração a abordagem acima, pode-se calcular a produção líquida de lodo de duas formas:

Em termos da taxa de remoção de substrato:

$$\frac{dX_V}{dt} = Y \cdot \frac{d(S_0 - S)}{dt} - K_d \cdot X_b$$

Em termos da concentração da biomassa:

$$\frac{dX_V}{dt} = \mu_{m\acute{a}x} \cdot \frac{S}{S + K_S} \cdot X_V - K_d \cdot X_b$$

A fração biodegradável é expressa por:

$$f_b = X_b/X_V$$

A recirculação do lodo gera variação mássica no decantador secundário, pois se retiram sólidos do fundo do decantador para linha de retorno e de excesso. Existe também uma pequena variação na quantidade de líquido no sistema, pois este é perdido para linha de lodo excedente, no entanto ela é desprezível. Nesse sistema formado por reator/decantador, os sólidos são retidos por um período de tempo maior devido ao adensamento e separação. Como os tempos de permanência de líquidos e sólidos são distintos, há a necessidade de se caracterizar esses parâmetros; disto, surge à ideia de *tempo de detenção hidráulica* e *tempo de residência celular*.

O tempo de detenção hidráulica caracteriza o tempo de permanência do líquido no sistema, ele é expresso da seguinte forma:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Sendo:

t – tempo de detenção hidráulica,

V – volume de líquido no sistema,

Q – volume de líquido retirado do sistema por unidade de tempo.

O tempo médio de residência celular, θ_c , ou *idade do lodo*, para um reator de mistura completa, com recirculação, é dado por:

$$\theta_c = \frac{X_V \cdot V}{(Q - Q_{ex}) \cdot X_{ve} + Q_{ex} \cdot X_{vr}}$$

Sendo:

Q – vazão de entrada do sistema (m^3/s),

Q_{ex} – vazão de lodo excedente (m^3/s),

X_V – concentração de SSV no reator ($gSSV/m^3$),

X_{ve} – concentração de SSV no efluente ($gSSV/m^3$),

X_{vr} – concentração de SSV no lodo de retorno ($gSSV/m^3$),

V – volume de líquido no sistema.

Como a concentração de sólidos no efluente final é baixa, $X_{ve} \approx 0$, a expressão fica:

$$\theta_c = \frac{X_V \cdot V}{Q_{ex} \cdot X_{vr}}$$

Quando se retira o lodo diretamente do reator, ou do efluente do reator, tem-se $X_{vr} = X_V$, a expressão final é:

$$\theta_c = \frac{V}{Q_{ex}}$$

A idade do lodo também pode ser expressa pela equação.

$$\theta_c = \frac{1}{\mu}$$

Ou, caso haja um aumento significativo no decaimento bacteriano por respiração endógena, a idade do lodo é dada pela equação.

$$\theta_c = \frac{1}{\mu - K_d}$$

Um conceito importante para dimensionamento de componentes no sistema de lodos ativados é a relação alimento/microrganismo (A/M). Esse conceito está ligado

à eficiência do sistema, quanto maior for a relação A/M, menor será a eficiência na assimilação do substrato, no entanto o volume do reator também será menor. Uma relação elevada de A/M implica uma alta concentração de matéria carbonácea, havendo muito alimento para os microrganismos. Ao se reduzir essa relação, as bactérias passam a necessitar de nutrientes, ou seja, quando colocadas na presença de matéria orgânica elas realizam rapidamente o processo de síntese. Deve-se apenas tomar o cuidado de reduzir drasticamente essa relação para não ocorrer o processo de respiração endógena. A relação A/M é dada pela equação.

$$A/M = \frac{S_0 \cdot Q}{X_V \cdot V}$$

A relação A/M representa a carga disponível no sistema. A representação da relação entre o substrato disponível e o removido é dada pela taxa de utilização do substrato (U).

$$U = \frac{(S_0 - S) \cdot Q}{X_V \cdot V}$$

A idade do lodo permite classificar o processo de lodo ativado em diversas variantes. As mais conhecidas são: convencional e aeração prolongada.

A relação entre U e θ_c é dada pela equação.

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \cdot U - K_d \cdot f_b$$

Como já visto, a quantidade de matéria carbonácea do sistema influi significativamente na eficiência do tratamento, no entanto ela não é o único fator importante. A quantidade de oxigênio empregado no processo também limita o tratamento de esgoto.

O oxigênio é utilizado para oxidação da matéria carbonácea, a qual se divide em oxidação do carbono para fornecimento de energia para síntese bacteriana e para respiração endógena, ele também é utilizado no processo de nitrificação, no entanto essa etapa não será abordada por não fazer parte do escopo deste trabalho.

Existem dois métodos para se calcular os requisitos de oxigênio necessários para satisfazer a demanda carbonácea, um se baseia na demanda carbonácea total e na remoção do lodo excedente, enquanto o outro, na demanda para síntese e para respiração endógena.

O primeiro método tem como premissa a igualdade entre o fornecimento de oxigênio para demanda carbonácea e o consumo de oxigênio pela DBO última removida pelo sistema. Deve-se levar em consideração no equacionamento desse método, a quantidade de células produzidas pela oxidação de matéria orgânica, pois é retirada pela linha de lodo excedente a mesma quantidade de células produzidas, logo não há consumo de oxigênio por essas bactérias. O consumo de oxigênio é representado pela equação abaixo.

$$RO = Q \cdot (S_0 - S) \cdot \left(1,46 - \frac{1,42 \cdot Y}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c}\right)$$

O segundo método divide o oxigênio para síntese e para respiração endógena.

$$RO = (1,46 - 1,42 \cdot Y) \cdot Q \cdot (S_0 - S) + 1,42 \cdot f_b \cdot K_d \cdot X_V \cdot V$$

O ar utilizado para garantir a oxigenação do processo é responsável por manter uma completa agitação no reator, não permitindo a sedimentação e mantendo o contato entre os flocos e os microrganismos. Ele também possibilita a retirada de alguns produtos voláteis provenientes metabolismo.

3.1.3 Controle do processo

O efluente obtido após o tratamento necessita está de acordo com os parâmetros impostos pela legislação ambiental. Com a finalidade de se garantir um efluente dentro dos padrões de lançamento e a formação de um lodo com boa sedimentabilidade. Alguns índices são adotados para controle. Neste trabalho iremos citar apenas um: o Índice Volumétrico de Lodo, IVL.

O IVL é, por definição, o volume em mililitros ocupado por um grama de lodo, após uma sedimentação de 30 minutos. Ele também é representado pela relação entre o teor de lodo e sua concentração no reator.

A qualidade da sedimentabilidade do lodo é inversamente proporcional ao IVL, portanto quanto maior for o valor do índice maior será o volume ocupado pelo lodo no decantador secundário.

Existem alguns valores típicos para esse índice. De acordo com Jordão e Pessoa, “valores do IVL entre 40 e 150 ml/g indicam geralmente uma boa qualidade do lodo formado”, para valores fora dessa faixa ocorre uma má sedimentabilidade do lodo. Em geral as estações que operam com tratamento convencional realizam o tratamento dentro dessa faixa.

A relação entre A/M e o IVL tem papel fundamental no dimensionamento do decantador secundário, pois para A/M baixa o floco formado é leve; caso o IVL esteja fora da faixa mencionada, haverá grande dificuldade de sedimentação do lodo, podendo acarretar na perda de matéria carbonácea para o líquido efluente do decantador. Os decantadores são dimensionados levando em consideração essas características.

Outros mecanismos de controle são empregados na operação do tratamento de esgotos, sendo os mais usuais o IVL, a idade do lodo, e A/M, tendo sido explicado o comportamento e importância dos dois últimos anteriormente.

3.1.4 Modelo Cinético

O estudo da ampliação da ETE Parque Novo Mundo se utilizará do modelo cinético de Marais para realização do pré-dimensionamento do tanque de aeração e decantador secundário. Diferente do modelo enunciado anteriormente, o modelo para o dimensionamento de novas estruturas da ETE PNM será realizado em função da demanda química de oxigênio (DQO), e não em relação à demanda biológica de oxigênio (DBO), a qual é encontrada com maior frequência na literatura.

A base de cálculo utilizada na aplicação do Modelo de Marais é apresentada a seguir.

A massa de lodo volátil (MX_v) pode ser obtida de:

$$MX_{vH} = MX_a + MX_e + MX_i$$

Sendo:

MX_{VH} = Massa de SSV nos reatores biológicos (kg SSVTA)

MX_a = Massa de sólidos em suspensão voláteis ativos nos tanques (KgSSVATA)

MX_e = Massa de sólidos em suspensão voláteis endógenos nos tanques (KgSSVTA)

MX_i = Massa de sólidos em suspensão voláteis inertes nos tanques (KgSSVTA)

Pelo modelo cinético de Marais e colaboradores, a somatória de $MX_a + MX_e + MX_i$, resulta em:

$$MX_{VH} = QS_i \cdot \left[\frac{(1 - f_{us} - f_{up}) \cdot Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \cdot (1 + f \cdot b_{hT} \cdot R_s) + R_s \frac{f_{up}}{P_v} \right]$$

Em que:

Q = Vazão afluyente (m³/dia)

S_i = Concentração da DQO afluyente (Kg/m³)

QS_i = Massa de DQO afluyente em Kg/dia

f_{us} = Fração da DQO solúvel não biodegradável

f_{up} = Fração da DQO particulada não biodegradável

Y_h = Coeficiente de síntese celular = $0,45 \frac{\text{kgSSV}_{\text{PRODUZIDO}}}{\text{kgDQO}_{\text{REMOVIDA}}}$

b_{hT} = Coeficiente de respiração endógena

$b_{hT} = 0,24 \text{ dia}^{-1}$ para $T = 20^\circ\text{C}$

$b_{hT} = 0,21 \text{ dia}^{-1}$ para $T = 16^\circ\text{C}$ – (temperatura do lodo no inverno)

$b_{hT} = 0,30 \text{ dia}^{-1}$ para $T = 28^\circ\text{C}$ – (temperatura do lodo no verão)

$$P_v = 1.48 \text{ Kg DQO/Kg SSV}$$

f = Fração não biodegradável da massa de lodo volátil ativa nos tanques

R_s = Idade do lodo (dias)

3.1.5 Sistema Convencional x Alta Taxa

Até o momento, foi explicado, de maneira genérica, o processo de tratamento de lodos ativados, sem levar em consideração os valores característicos do processo. Esse sistema pode ser operado com diferentes características, podendo ser classificado, por exemplo, pela idade do lodo.

Tabela 4: Classificação dos sistemas em função da idade do lodo (von Sperling, 1997).

Idade do Lodo	Carga de DBO aplicada por unidade de volume	Faixa de idade do Lodo	Denominação Usual
Reduzidíssima	Altíssima	Inferior a 3 dias	Alta taxa
Reduzida	Alta	4 a 10 dias	Lodos Ativados Convencional
Intermediária	Intermediária	11 a 17 dias	-
Elevada	Baixa	18 a 30 dias	Aeração Prolongada

Neste trabalho será realizada a comparação entre o processo de Lodos Ativados Convencional, atualmente empregado na ETE Parque Novo Mundo, e o de Alta taxa, processo proposto para ampliação do sistema de lodo ativado.

O sistema de alta taxa possui uma menor idade do lodo, isso possibilita realizar o tratamento ocupando um menor volume. No entanto, o lodo não permanece no sistema tempo suficiente para que haja a nitrificação dos compostos nitrogenados e estabilização do lodo. Esse processo por não realizar a nitrificação consome menos oxigênio, consequentemente é um processo que necessita de menos energia.

O sistema convencional necessita de um volume maior para tratamento, pois o lodo permanece por mais tempo no tratamento. Esse processo realiza a nitrificação do lodo, o que implica na necessidade de um volume maior de oxigênio e um maior desprendimento de energia. Além da nitrificação ocorre a estabilização do lodo.

A operação dos dois processos é simples, e necessitam de digestores de lodo. O sistema de aeração modificada é capaz de produzir um volume de lodo maior quando comparado em mesmas condições com o convencional.

3.2 Sistema de Reatores de Biofilme de Leito Móvel (com recirculação)

3.2.1 Introdução

O Processo de tratamento de esgoto sanitário com uso de reatores de biofilme em leito móvel é baseado na utilização de biofilmes para a degradação de matéria orgânica e remoção de nutrientes. Essa tecnologia permite o tratamento de esgoto doméstico mesmo com contribuição industrial significativa, em sistema de dimensões relativamente reduzidas, isto, devido a maior concentração de sólidos que o sistema promove, pois a tecnologia permite a combinação entre sistemas de biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida.

As pesquisas sobre MBBR resultou do acordo entre países do norte europeu em reduzir a emissão de matéria orgânica no mar do norte. Em 1988, autoridades norueguesas incentivaram o desenvolvimento de projetos de ETE mais compactas e com elevada capacidade de tratamento de esgotos baseados em processos biológicos e químicos.

Como vantagens desses reatores podem ser relacionadas:

Menor volume dos reatores biológicos se comparado com o sistema de lodo ativado conjugado com clarificadores para alcançar os mesmos objetivos de tratamento;

As taxas de aplicação de sólidos para as unidades de clarificação são significativamente reduzidas quando comparadas às de sistemas de lodo ativado;

Não há necessidade de operações de retrolavagem para controle da espessura de biofilme ou desentupimento do meio suporte por se tratar de reatores de mistura completa e fluxo contínuo;

Apresentam a flexibilidade de sistemas de lodo ativado para manobras no fluxograma de processo para alcance de objetivos específicos de tratamento sem a necessidade de bombeamento de retorno de lodo;

É uma alternativa natural para a adequação de plantas existentes de tratamento de esgotos domésticos.

Como desvantagens do sistema estão o custo relativamente alto do consumo de energia, a necessidade de dispositivos para adequada aeração e movimentação dos suportes.

3.2.2 Biofilme

Biofilme são sistemas complexos, geralmente constituídos por comunidades mistas de micro-organismo, inclusive patogênicas. Sua composição apresentam proteínas, lipídios, fosfolipídios, entre outros, formando um ambiente onde os microrganismos de uma ou mais espécies se desenvolvam.

O processo de formação de biofilme se dá através da adsorção de microrganismo a superfície, a partir desse processo, as células começam a crescer através do consumo de matéria orgânica e outros nutrientes liberando materiais poliméricos extracelulares, denominados biopolímeros, os quais auxiliam na adesão microbiana a superfície, além de ser responsáveis pela estrutura e integridade do biofilme.

O desenvolvimento do biofilme depende de vários fatores como a concentração do substrato, temperatura, pH da fase líquida, a intensidade da transferência de massa externas e internas ao biofilme, a cinética das reações bioquímicas e o destacamento.

Um dos aspectos essencial dos reatores de biofilme é a necessidade de difusão de substratos e produtos através do biofilme, enquanto que nos sistemas de biomassa em suspensão o transporte de compostos como matéria orgânica, oxigênio, e micronutrientes é limitado pela cinética em função da quantidade de biomassa, no sistema de biofilme são limitados pela difusão, representado pela área superficial. A espessura efetiva do biofilme possui uma grande importância. O biofilme deve ser fino e distribuído de forma uniforme na superfície dos suportes. A espessura excessiva do biofilme deve ser evitada por trazer efeitos prejudiciais aos reatores. O aumento da espessura do biofilme pode dificultar a difusão de oxigênio e substrato do meio externo até as camadas mais internas, junto à superfície dos suportes, criando condições anaeróbicas no interior da biomassa, podendo produzir maus odores e a perda da capacidade de adesão provocando o desprendimento do

biofilme. Outra consequência da espessura excessiva do biofilme é a perda da área superficial, o encobrimento intenso pode eliminar detalhes da geometria dos suportes que são responsáveis por conferir a maior área superficial. Os choques entre suportes causados pela turbulência no sistema geram tensões de cisalhamento causando desprendimento da massa aderida, funcionando como um mecanismo de controle de espessura do biofilme.

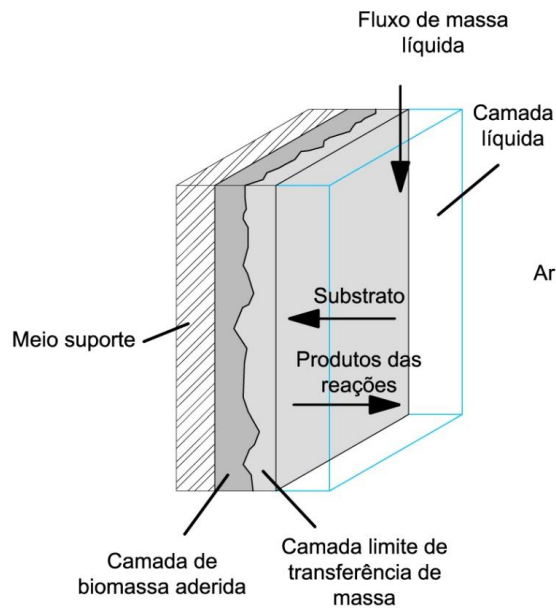


Figura 2 - Representação da seção do biofilme

3.2.3 MBBR e IFAS

Como em todo processo biológico, o processo de reator de biofilme de leito móvel (MBBR) possui presenças de micro-organismos (bactéria e protozoários), sendo que algumas dessas bactérias são responsáveis pela depuração da matéria orgânica. Diferentemente do processo de lodo ativado, onde o acúmulo de micro-organismo se dá a partir do retorno de biomassa nos tanques de aeração, no processo de reator de biofilme de leito móvel os micro-organismos ficam aderidos em suporte fixos ou móveis. Os suportes móveis são retidos por peneiras ou grades que são instaladas ao longo de pelo menos uma parede do tanque, permitindo que efluente tratado escoe para a próxima etapa do processo.

O processo de reator de Biofilme de Leito Móvel utiliza pequeno suporte de plástico como base para geração do biofilme. Esses suportes possuem grande área superficial específica (em torno de 300 a 500 m²/m³) e se encontram em suspensão

e em movimento no leito do reator. Dessa forma, para volumes menores de reator, há uma grande disponibilidade área superficial para o crescimento da biomassa que podem proporcionar elevado tempo de retenção celular aumentando a decomposição da matéria orgânica e a conversão de compostos nitrogenados.

O material utilizado para a fabricação desses suportes é o polietileno, normalmente a forma é cilíndrica com aproximadamente 10mm de diâmetro e 7mm de altura, contendo aletas longitudinais.



Figura 3 - Suporte de polietileno

A quantidade depende do formato e tamanho da peça e está diretamente relacionada à área superficial da peça. A fração de enchimento pode variar conforme as recomendações do fabricante, embora sejam recomendadas frações de enchimentos menores que 70%, pois permite a boa movimentação dos suportes sem problemas hidrodinâmicos.

Essa tecnologia pode ser usada junto com os processos de lodo ativado convencional já existente. A combinação de biomassa aderida do MBBR e biomassa em Suspensão do processo de lodo ativado e a recirculação do lodo caracteriza o sistema IFAS, qual pode levar a maior concentração da biomassa aumentando a capacidade de uma ETE.

A concepção do sistema IFAS deve considerar os seguintes aspectos:

- Objetivos específicos do tratamento;
- Características do esgoto;

- Geometria da área de implantação;
- Configuração de tanques já existentes;
- Hidráulica do sistema;
- Esquema de tratamento;
- Potencial para adaptação dos tanques;

Além dos itens citados, o tempo de detenção hidráulico, a área do biofilme, a carga de DBO, a hidrodinâmica do reator e a vazão de ar são parâmetros primordiais, os quais devem ser levados em consideração para a operação do sistema IFAS.

3.2.4 Suportes

Os primeiros suportes utilizados foram desenvolvidos por uma empresa norueguesa chamada Kaldnes Miljøteknologi. Em 2002 ocorreu uma junção com a empresa Anox AB para juntamente consolidar no mercado de tratamento de águas residuárias passando a ser denominada AnoxKaldnes. Em 2007 a AnoxKaldnes foi comprada pela Veolia, porém as nomenclaturas dos suportes não foram alterados.

Os suportes mais utilizados foram desenvolvidos pela AnoxKaldnes, feitos com polietileno com densidade de $0,95 \text{ g/cm}^3$. A tabela a seguir mostra algumas características dos suportes.

Tabela 5 Características dos suportes

		K1	K2	K3	F3	BiofilmChip M	BiofilmChip P
Diâmetro Nominal (mm)		9,1	15	25	64	48	45
Comprimento (mm)	Nominal	7,2	15	12	50	2,2	3,0
Densidade (kg/m ³)	Aparente	150	95	100			
Área Específica superficial (m ² /m ³)		500	350	500	200	1200	900
Área específica superficial a 60% de enchimento (m ² /m ³)		300	210	300	132	720	540

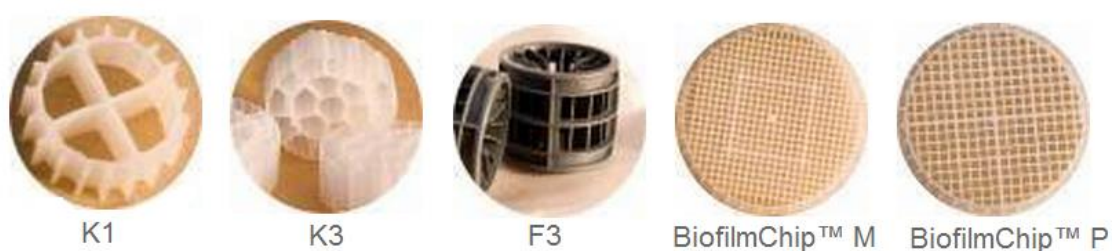


Figura 4 - Suportes AnoxKaldnes

(Imagem retirada do site <http://www.veoliawaterst.com/mbbr/en/carriers.htm>)

Outra empresa que fornece os suportes Aqwise-Wise Water Technologies Ltda, representada no Brasil pela Centroprojekt.

Os suportes desenvolvidos pela Aqwise são feito de HDPE (High density polyethylene) com 12 mm de tamanho e área superficial efetiva de 650 m²/m³ e uma geometria totalmente aberta.

Os suportes tem uma estrutura robusta que asseguram sua durabilidade. A vida útil dos suportes ultrapassam os 20 anos.

A geometria inteiramente aberto-inteiramente protegido foi desenvolvido especialmente para proteger o biofilme contra erosão e laceração, sem comprometer e eficiência do transporte de massa.



Figura 5 - Suporte Aqwise

3.3 Equipamentos para o sistema de aeração.

A decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos no tanque de aeração demanda oxigênio. Deste modo, há necessidade de transferir quantidades de oxigênio para o tanque de aeração. Apesar da possibilidade de bactérias autotróficas promoverem decomposição anaeróbia quando não há oxigênio, não é ideal que isto ocorra, tanto devido ao baixo rendimento deste processo quanto à geração de odores desagradáveis. Portanto, é importante que sejam fornecidas adequadas vazões de oxigênio. Para tanto, o sistema deve possuir sopradores e difusores de ar cujas vazões sejam compatíveis às vazões de efluente que chegam ao tanque de aeração.

Além de fornecer oxigênio aos microorganismos, o sistema de aeração é responsável pela mistura, através da promoção de turbulência, no tanque de aeração. Deste modo, outra variável importante na escolha dos difusores é o tamanho das bolhas geradas pelos difusores.

Evidentemente, os materiais utilizados no sistema de aeração devem possuir adequada durabilidade. De modo especial, as partes do sistema que ficam

diretamente em contato com o efluente devem ser resistentes aos componentes deste.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são mostrados alguns modelos de difusores e suas respectivas características.

Tabela 6: Características de difusores comercializados pela B&F Dias

Difusor	Bolha	Vazão de ar (m ³ /min)		Material	Observação
		Mínima	Máxima		
Circular de membrana 230 mm	Fina	0,020	0,120	Membrana: EPDM ^[1] , nitrílica, neoprene, SBR ^[2] .	Efluentes altamente corrosivos ou elevadas temperaturas
Circular de membrana 105 mm	Grossa	0,020	0,420	Membrana: EPDM ^[1] , nitrílica, neoprene, SBR ^[2] .	
Tubular de cerâmica	Fina	0,028	0,280	Cerâmica.	
Tubular em aço inoxidável	Grossa	0,085 (D12 ^[3]) 0,140 (D24 ^[3])	0,340 (D12 ^[3]) 1,130 (D24 ^[3])	Aço inoxidável.	Efluentes altamente corrosivos ou elevadas temperaturas; tanques de equalização, mistura e homogeneização.
Tubular de membrana	Fina	0,028	Variável	Membrana: EPDM ^[1] , nitrílica, neoprene, uretano, SBR ^[2] .	
Circular cerâmico tipo Domus 180 mm	Fina	0,015	0,075	Óxido de alumina.	Utilizado sobre tubo em PVC.
Circular cerâmico ozônio 180 mm	Fina	0,015	0,075	Óxido de alumina.	Utilizado sobre tubulação em aço inoxidável.

[1] EPDM: Borracha de etileno-propileno-dieno.

[2] SBR: Borracha de butadieno-estireno.

[3] D12 e D24: diferentes modelos de difusor tubular em aço inoxidável.

(Adaptado de: www.bfdias.com.br, acessado em 22 de julho de 2013)

DIFUSOR TUBULAR EM AÇO INOXIDÁVEL - BOLHA GROSSA

Desenho Técnico

Características Técnicas

Vazão de ar

D12	Mínima	0,085 m ³ /min
	Máxima	0,340 m ³ /min
D24	Mínima	0,140 m ³ /min
	Máxima	1,130 m ³ /min

Características Construtivas

O difusor tubular de bolha grossa é constituído totalmente em aço inoxidável. Possui em uma das extremidades uma conexão rosqueada (3/4 NTP) para acoplamento aos ramais de distribuição. É indicado em situações onde o efluente é altamente corrosivo, situações de alta temperatura, tanques de equalização, mistura e homogeneização.

Figura 6 – Detalhe de um difusor comercializado pela B&F Dias (Retirado de www.bfdias.com.br, acessado em 22 de julho de 2013)

Os sopradores são responsáveis por pressurizar o ar que irá para os difusores. Deve, portanto, possuir capacidade de pressurização e vazão compatível com os difusores. Abaixo, apresenta-se uma tabela sintética das características de alguns sopradores.

Tabela 7: Características de sopradores comercializados pela Omel e pela Atlas Copco.

Fabricante/Série	Vazão máxima (m ³ /h)	Pressão (bar)	Potência instalada (kW)
Omel	70 a 25000	Até 1,0	11 a 330
Atlas Copco ZS	271 a 4651	0,30 a 1,0	18,5 a 160
Atlas Copco ZS+VSD	284 a 4578	0,30 a 1,2	22 a 160
Atlas Copco ZB 300-900	3500 a 42000	0,20 a 0,95	300 a 1120

(Adaptado de www.bfdias.com.br e www.atlascopco.com.br, acessados em 22 de julho de 2013)

4 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada a caracterização da ETE Parque Novo Mundo através do **Plano Diretor de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo** e de documentos fornecidos pela **SABESP** e consórcio **COBRAPE/CONCREMAT**. Com base nesses documentos foi levantada a capacidade atual de tratamento da ETE PNM, os equipamentos e estruturas da mesma, além da possibilidade de ampliação da área de tratamento.

Os dados obtidos da documentação acima e a visita realizada na ETE PNM, permitiu concluir a inviabilidade da expansão da área para construção do número de estruturas necessárias para poder tratar as vazões de esgoto estimadas para os anos de estudo do Plano Diretor.

O pré-dimensionamento das estruturas da ETE foi realizado segundo o modelo cinético de Marais. Para tanto, foram realizados estudos a partir do livro “*O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado*”, escrito por Gerrit Marais e Adrianus van Haandel, e de material disponibilizado pelo Professor Doutor Pedro Além Sobrinho.

Para o pré-dimensionamento, foi considerado o crescimento populacional para médio prazo, 2018, e longo prazo, 2030, o qual foi obtido no Plano Diretor. Também foram estipulados incrementos nos cálculos de alguns parâmetros com o intuito de garantir segurança ao sistema de tratamento. Os seguintes parâmetros foram incrementados: carga de DBO, 10%, carga de DQO, 12%, SST, 15%, e vazão de 7%.

Com as populações para os anos de projeto, foram calculados os seguintes parâmetros: demanda biológica de oxigênio, demanda química de oxigênio e sólidos em suspensão totais. A carga per capita de DBO considerada foi de $54 \frac{g}{Hab \cdot dia}$; com esse valor, aliado ao número de habitantes, obteve-se a carga de DBO. Em seguida foi calculada a concentração de DBO, tornando possível estimar a carga e concentração de DQO e SST para o sistema de tratamento.

As vazões de esgoto para o horizonte de estudo foram extraídas do PDE 2010, a partir dessas vazões e das concentrações calculadas foi obtida a massa de DQO

afluente, a qual foi utilizada o para cálculo da massa de SSV. As equações e os parâmetros para o cálculo da massa de SSV estão indicados no item 3.1.4 Modelo Cinético.

A partir da obtenção desses dados, foram verificadas três alternativas para otimizar o processo de tratamento: tratamento convencional com uso de decantadores primários, utilização de suportes nos tanques de aeração com sistema de lodo ativado e recirculação de lodo (IFAS), e alteração do sistema convencional para o de alta taxa.

Em cada uma dessas alternativas foram estudados o tratamento preliminar, tanque de aeração e decantador secundário, obtendo-se para cada uma o pré-dimensionamento, e os custos de instalação. Os resultados estão apresentados no item 6.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 ETE Parque Novo Mundo

5.1.1 Localização

A ETE Parque Novo Mundo está localizada no município de São Paulo à margem direita do rio Tietê, junto as suas avenidas marginais nas proximidades do viaduto Aricanduva e dos acessos às rodovias Presidente Dutra e Fernão Dias.



Figura 7 - Vista geral da ETE Parque Novo Mundo

5.1.2 Bacias de Esgotamento Atendidas

O sistema do Parque Novo Mundo abrange partes das bacias Tietê-Centro e Tietê-Leste.

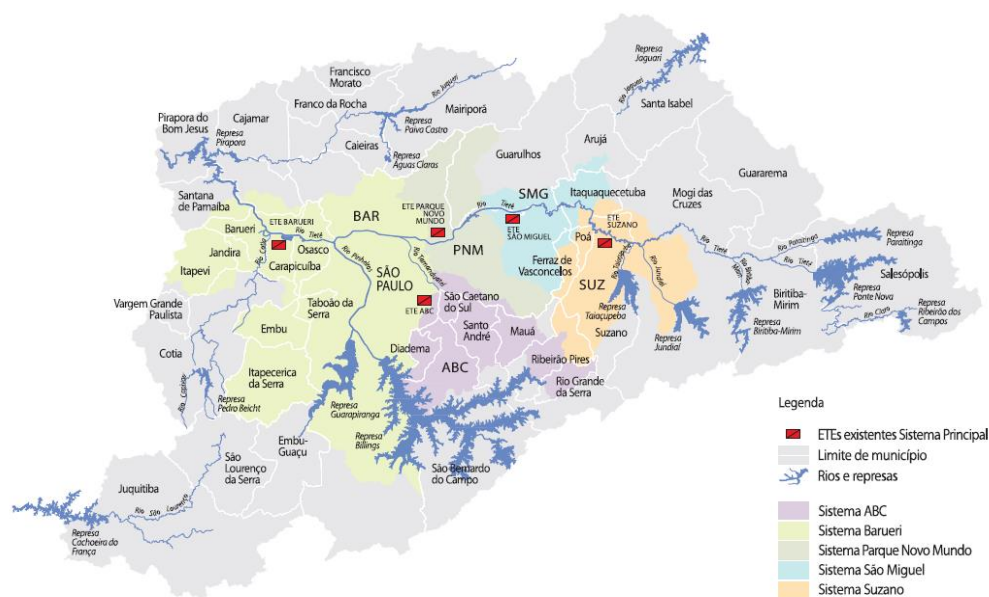


Figura 8 - Sistema principal de esgotamento Sanitário da RMSP

5.1.3 Tipo de Tratamento

O processo de tratamento da ETE Parque Novo Mundo é do tipo Lodo Ativado Convencional. O processo de tratamento é constituído por duas fases: líquida e sólida. A fase líquida engloba os tratamentos preliminar e secundário. A fase sólida é formada pelo tratamento do lodo e desidratação mecânica. Em linhas gerais, cada etapa do processo é formada por:

Fase Líquida:

Tratamento Preliminar:

- Gradeamento Grosso;
- Gradeamento Médio;
- Peneiras Rotativas;
- Caixas de Areia Aeradas.

Tratamento Secundário:

- Tanques de Aeração;
- Decantadores Secundários;
- Elevatórias de Recirculação e Descarte de Excesso de Lodo.

Fase Sólida:

- Flotadores por Ar Dissolvido para o Lodo Biológico Secundário;
- Estabilização e Condicionamento Químico do Lodo Adensado;
- Desidratação do Lodo com Filtros-Prensa de Placas.

5.1.4 Estrutura da ETE

Gradeamento Grosseiro

O esgoto ao chegar à estação precisa ser recalcado. Com intuito de proteger os rotores das bombas da elevatória de corrosão por abrasão, foi instalado, à montante da elevatória, um gradeamento grosseiro em dois canais paralelos. As grades são responsáveis pela remoção de sólidos com dimensões inapropriadas para o processo. O material retido pode sofrer processo de lavagem, secagem e adição de substâncias químicas antes do envio a aterros sanitários ou incineradores.

Características básicas da unidade de gradeamento grosseiro e parâmetros de projeto:

- Tipo de grade: grades formadas por barras retas inclinadas;
- Espaçamento entre barras: 10 cm;
- Largura dos canais: 1,8 m;
- Profundidade dos canais: 16,5 m.

Estação Elevatória de Esgoto Bruto

A estação elevatória de esgoto bruto capta os esgotos do poço de sucção que recebe os esgotos submetidos ao gradeamento grosseiro e recalca para o canal de entrada da ETE a montante das unidades de gradeamento médio. Essa elevatória é formada por um poço úmido de formato circular com diâmetro de 10 m, equipado com elementos direcionadores de fluxo, de formato adequado, de modo que o escoamento até a sucção das bombas seja o mais direto possível. No poço de sucção existe uma galeria de acesso que permite a eventual retirada de material depositado e estocagem em container, por intermédio de monovia e talha. As bombas são instaladas em poço seco com diâmetro de 26,80 m.

Características básicas dos conjuntos de recalque e parâmetros operacionais:

- Tipo das Bombas: centrífugas de eixo vertical, com rotor não entupível;
- Número de bombas: 3 unidades (2 + 1 de reserva);

Ponto operacional:

- Vazão de recalque: 3,05 m³/s;
- AMT = 23,89 mca;
- Potência do motor: 1112 cv;
- Rotação: 508 rpm.

Gradeamento Médio

Este gradeamento é instalado após a estação elevatória, tem como função a remoção de sólidos com dimensões indesejadas nas próximas etapas. São utilizadas grades mecanizadas em cada canal. Os resíduos coletados são enviados, via esteira, às caçambas estacionárias e então levados para disposição final. O efluente gradeado é transportado até o sistema de peneiras através de tubulação de aço carbono, em conduto forçado, com diâmetro de 2,0 m.

Características básicas da unidade de gradeamento médio e parâmetros de projeto:

- Tipo de grade: grades formadas por barras retas e inclinadas;
- Tipo de limpeza: mecanizada e automática, através de raspador;
- Número de unidades: 2 unidades (1 + 1 de reserva);
- Capacidade teórica de cada grade: 2,5 m³/s;
- Largura dos canais: 2,50 m;
- Profundidade dos canais: 6,35 m;
- Espaçamento entre barras: 25 mm;
- Inclinação das barras com relação a horizontal: 80°;
- Altura da lâmina à montante com a grade limpa: 4,0 m.



Figura 9 - Vista geral do Gradeamento Médio.

Unidade de Peneiramento e Prensagem

A estação ocupa uma área de dimensões restritas, para contornar este problema optou-se por não utilizar decantadores primários, mas peneiras capazes de reduzir a carga orgânica do efluente melhorando a eficiência do tratamento. As peneiras são rotativas, com tambor em telas de aço inoxidável, e alimentação central, instaladas a montante da desarenação. As peneiras, juntamente com as grades médias ficam abrigadas em um prédio de forma a definir uma instalação mais compacta e de melhor estética visual. O material retido nesta etapa é enviado para aterro sanitário após passar por prensas rotativas, e o líquido separado retorna ao início do tratamento pelo sistema de drenagem.

Características básicas das peneiras e parâmetros de projeto:

- Número de unidades: 8 peneiras;
- Capacidade unitária: $0,557 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Abertura das telas: $0,76 \text{ mm}$;
- Eficiências previstas em projeto:
- Remoções de sólidos sedimentavam: 30%;
- Remoção de sólidos em suspensão: 15%;

- Remoção de $\text{DBO}_{5,20}$: 10%;
- Teor de umidade para o material sólido prensado: 85 %.



Figura 10 - Vista geral da Unidade de Peneiramento e Prensagem.

Unidade de Desarenação

A desarenação é a última unidade do tratamento preliminar. Ela tem como função remover o material sólido grosseiro. Nesta etapa também ocorre pré-areação do esgoto. Com intuito de se evitar a sedimentação nos canais de alimentação e de descarga das caixas de areia, essas estruturas também são aeradas.

Características básicas da unidade de desarenação e parâmetros de projeto:

- Tipo de desarenador: caixa de areia aerada;
- Tipo de limpeza: mecanizada através de monovia, trolley e “Clam-Shell”;
- Número de unidades: 6 canais em paralelo, sendo 2 para a primeira etapa;
- Comprimento total dos canais: 21,00 m;
- Largura dos canais: 7,00 m;
- Profundidade útil: 3,50 m;
- Profundidade total: 7,0 m;

- Volume unitário útil: 515 m³;
- Tempo de detenção: 4 a 7 minutos;
- Taxa de fornecimento de ar: 0,15 - 0,45 Nm³/min por metro linear de canal.

Tanques de Aeração

Os efluentes da unidade e desarenação são conduzidos por gravidade para os tanques de aeração. Os tanques de aeração são do tipo fluxo pistão, com alimentação escalonada com câmara anóxica na parte inicial. Existem 3 tanques em operação no momento com sistema de ar difuso. São difusores de bolhas finas de membrana, distribuídos uniformemente sobre toda a área do fundo dos tanques. O sistema de ar difuso é constituído por compressores, difusores e tubulações.

Características básicas dos tanques de aeração e parâmetros de projeto:

- Número de tanques: 3 unidades;
- Largura unitária: 25,0 m;
- Comprimento unitário total: 120,0 m;
- Comprimento da porção anóxica: 7,5 m;
- Profundidade útil: 6,00 m;
- Profundidade total: 7,0 m;
- Volume útil unitário: 18.000 m³;
- Número de difusores por tanque: 6.256 unidades;
- Relação F/M: 0,3 kgDBO/kgSSTA x dia;
- anóxica: 22 minutos;
- Tempo de detenção anóxica: 4 a 6 horas;
- Idade do lodo: 5 dias;

- Carga volumétrica aplicada: 0,8 a 2,0 kgDBO/m³ x dia;
- Concentração de oxigênio dissolvido:
- Média: 2 mg/l;
- Mínima: 0,5 mg/l;
- Vazão de ar aos tanques de aeração:
- Média: 70.000 m³/h;
- Máxima: 100.000 m³/h.



Figura 11 - Vista geral dos Tanques de Aeração.

Unidade de Decantação Secundária

Os decantadores secundários recebem o efluente do tanque de aeração. A ETE possui seis decantadores, divididos em dois conjuntos de três unidades. Existem para cada conjunto duas elevatórias, uma para recirculação de lodo, e outra para espuma e excesso de lodo.

Os decantadores são circulares, dotados de equipamentos de remoção de lodo e espuma do tipo braço raspador rotativo com ração periférica que cobrem diametralmente os tanques. O lodo é raspado para a porção central dos

decantadores através de braços raspadores parabólicos, sendo na sequência encaminhado para a estação elevatória de lodo. Por outro lado, a espuma de cada conjunto é raspada superficialmente e encaminhada por uma única tubulação até o poço de excesso de lodo e espuma. O sobrenadante verte para as canaletas periféricas e, na sequência, é coletado em um canal de concreto, sendo uma parte encaminhada à área de utilidades para o reuso da água e a outra parte lançada no rio Tietê. (colocar referencia)

Características básicas dos decantadores secundários e parâmetros de projeto:

- Número de decantadores: 6 unidades;
- Diâmetro: 46,0 m;
- Altura de água na parede periférica: 4,0 m;
- Taxa de aplicação superficial:
 - com vazão média: $22,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$;
 - com vazão máxima horária: $33,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$;
- Taxa de aplicação de sólidos: $9,0 \text{ kg}/\text{m}^2 \times \text{h}$;
- Velocidade do raspador: 3,0 m/min;
- Taxa de escoamento no vertedor periférico: $350 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{dia}$;
- Teor de sólidos totais no lodo sedimentado: 0,75%.



Figura 12 - Vista geral da Unidade de Decantação Secundária.

Unidades de Recirculação de Lodo

O lodo removido dos decantadores secundários é parcialmente direcionado aos tanques de arenação, e parte é enviada para unidade de flotação. Existe uma estação elevatória de lodo para cada conjunto de 3 decantadores secundários. Cada elevatória é formada por 3 conjuntos de recalque com controle de velocidade de rotação, sendo 2 em operação e 1 de reserva.

Características básicas das estações elevatórias de lodo:

- Tipo dos conjuntos motobomba: centrífuga com rotor não entupível;
- Diâmetro de linha de recirculação de lodo: 1500 mm;
- Diâmetro de derivação para descarte de lodo: 350 mm;
- Taxa de recirculação de lodo: 25 a 130% da vazão média de esgoto afluente.
- Vazão de recirculação:
 - Máxima: 813 l/s;
 - Mínima: 156 l/s;
- Altura manométrica:

- Máxima: 10 mca;
- Mínima: 7 mca;

Estações Elevatórias para o Descarte de Excesso de Lodo Biológico Secundário e Escuma

O lodo em excesso gerado nos decantadores secundários é descartado a partir de derivações das linhas de recirculação de lodo para os tanques de aeração. Essas derivações conduzem o lodo diretamente para a unidade de adensamento baseada no processo de flotação, sendo que o controle da vazão de lodo descartada é feito por intermédio da combinação de válvulas de controle e medidores eletromagnéticos instalados nessas derivações. A espuma removida da superfície dos decantadores secundários é conduzida ao poço de espuma que faz parte integrante do conjunto das obras civis de cada elevatória de retorno de lodo. A partir daí a espuma acumulada é enviada periodicamente à área dos flotadores, por intermédio de bombas de cavidade progressiva comandadas automaticamente pelo nível do poço de espuma.

Características básicas dos conjuntos de recalque de espuma:

- Tipo: deslocamento positivo helicoidal (cavidade progressiva);
- Número de bombas por elevatória: 1 unidade mais reserva;
- Vazão de recalque: 82,5 l/s;
- Altura manométrica: 15,0 mca.

Unidade de Flotação do Lodo Biológico Secundário



Figura 13 - Vista geral do sistema de flotação.

O adensamento do lodo biológico secundário e da espuma é feito através de flotação por ar dissolvido através da injeção no lodo ativado de uma emulsão ar/água pressurizada. Com a despressurização, o lodo flutua sendo removido por raspadores superficiais com acionamento central e enviado para as calhas coletoras. O material adensado por flotação é então encaminhado por gravidade para poços de lodo. A parcela de lodo que ao invés de flotar sedimenta, é encaminhada para outro poço de lodo. Na sequência os lodos flotados e sedimentados são recalcados para o sistema de estabilização química de lodo. Parte do líquido removido pelo processo de adensamento é recirculado ao sistema de pressurização e saturação de ar e parte é retornado por gravidade para o início do processo de tratamento.

Características básicas do sistema de flotação e parâmetros de projeto:

- Elevatória de excesso de lodo e espuma:
- Tipo das bombas: centrífugas;
- Número de bombas: 1 unidade mais reserva;
- Vazão de recalque: 154 l/s;
- Sistema de Flotação:

- Flotadores:
- Número de tanques: 2 unidades;
- Diâmetro: 28,00 m;
- Altura útil: 3,22 m;
- Área unitária: 616 m²;
- Taxa de aplicação de sólidos: 0,115 a 0,230 tonSST/m² x dia;
- Sistema de pressurização e saturação de ar da primeira etapa:
- Dois tanques de pressurização;
- Três bombas centrífugas, sendo uma de reserva.
- Sistema de Preparo e dosagem de polímero:
- Taxa de dosagem de polímeros: 0 a 6 kg/ton ST;
- Faixa de dosagem de polímero líquido concentrado: 0,15 a 38 l/h;
- Dois tambores de estocagem do polímero;
- Duas bombas dosadoras;
- Dois misturadores mecanizados;

Características básicas dos conjuntos motobomba de recalque do lodo flotado:

- Tipo: deslocamento positivo helicoidal;
- Capacidade de recalque: 12 a 65 m³/h;
- Altura manométrica: 70 mca;
- Potência do motor: 37 CV;
- Rotação: 1800 rpm.

Sistema de Bombeamento dos Lodos dos Flotadores

O lodo nos flotadores é enviado aos poços de sucção das elevatórias. Para cada flotador há uma elevatória com duas bombas de deslocamento positivo, do tipo cavidade progressiva e de velocidade variável. Para cada 2 flotadores tem uma estação elevatória de lodo de fundo.

Características básicas da estação elevatória de lodo flotado:

- Número de elevatórias: 2 unidades, 1 para cada flotador;
- Número de bombas por elevatória: 1 unidade mais reserva;
- Tipo de bomba: bombas de deslocamento positivo, do tipo cavidade progressiva, de velocidade variável.

Características básicas da estação elevatória de lodo sedimentado:

- Número de elevatórias: 1 unidade;
- Número de bombas por elevatória: 1 mais reserva;
- Tipo de bomba: bombas de deslocamento positivo do tipo cavidade progressiva.

Sistema de Estabilização Química e Armazenamento do Lodo Flotado

O lodo recebe tratamento químico para prevenir odores e eliminar microrganismos patogênicos. Esse tratamento é realizado em um tanque de reação dividido em duas câmaras, seguido de outro tanque de maturação com pH 12,5, neste o lodo deve permanecer por um período mínimo de 30 minutos. Para realização do processo são adicionados ao lodo, cloreto férrico e leite de cal.

Características básicas dos tanques do sistema de condicionamento e estabilização química do lodo:

- Câmara de mistura e de reação do cloreto férrico, com 20 m³, dotada de misturador mecânico de 4,5 KW;

- Câmara de mistura e reação da cal, com 20 m³, dotada igualmente de misturador mecânico de 4,5 KW;
- Tanque de maturação, com 50 m³ e misturador mecânico de 2,5 KW.

Características básicas do tanque de armazenamento de lodo condicionado:

- Diâmetro: 10 m;
- Altura cilíndrica: 4,5 m;
- Volume útil: 350 m³;
- Concentração dos lodos: 40 kgSST/m³.

Sistema de Preparação e Dosagem de Cloreto Férrico

O cloreto férrico é utilizado como floculante para desidratação mecânica do lodo, ele melhora as características de filtração do lodo. Este sistema é constituído por dois tanques de estocagem de cloreto férrico, a dosagem é feita a partir do produto comercial concentrado através de bombas dosadoras.

Características básicas do sistema de cloreto férrico da primeira etapa:

Dois tanques de estocagem do cloreto férrico concentrado, com capacidade unitária para estocagem de 125 m³;

Uma bomba para transferência do produto recebido por caminhões, com capacidade para 20 m³/h e altura manométrica igual a 20 mca;

Duas bombas dosadoras de cloreto férrico, sendo uma reserva, com as seguintes características: vazão 1.500 l/h e altura manométrica 20 mca.

Sistema de Preparo e Aplicação de Leite de Cal

O leite de Cal tem como função melhorar as condições de floculação do lodo e de estabilizá-lo quimicamente. Este sistema é responsável pela garantia de um pH básico na segunda câmara do tanque de reação.

Características básicas do sistema de preparo e aplicação de cal da primeira etapa:

- Dois silos de cal virgem com capacidade unitária para 350 m³, com diâmetro de 6,0 m e altura cilíndrica igual a 12,0 m;
- Dois extintores de cal, com capacidade unitária máxima para extinção 350 kg/h de cal;
- Dois tanques diários de leite de cal, com capacidade cada para 3,0 m³;
- Cinco bombas dosadoras, sendo que 3 unidades se destinam efetivamente à aplicação de cal para estabilização química do lodo, enquanto 2 unidades se destinam à neutralização do efluente (solução de ácido clorídrico) da lavagem periódica das placas dos filtros prensas.



Figura 14 - À esquerda silos de armazenamento de cal (lilás).

Unidade de Desidratação Mecânica do Lodo Condicionado

O lodo condicionado é conduzido por recalque para os filtros-prensa de placas, sendo que cada filtro é alimentado através de um conjunto de recalque de baixa pressão e, na sequência, um conjunto de recalque de alta pressão que é responsável pela pressurização com o objetivo de desaguamento. No interior dos filtros-prensa o lodo sofre um processo de compressão entre placas compostas por telas porosas, de forma que o líquido percole pelas telas e os sólidos fiquem retidos formando tortas de lodo desaguado. Ao final de cada ciclo de desaguamento as tortas de lodo são encaminhadas para o tanque de armazenamento de lodo através de correias transportadoras. Na sequência, o lodo é transportado para aterro

sanitário. Além dos filtros-prensa, o sistema é formado por várias unidades periféricas responsáveis pela lavagem do núcleo dos filtros com ar comprimido, lavagem das telas com jatos de água de alta pressão, lavagem ácida com ácido clorídrico diluído e tratamento dos odores gerados no prédio de desaguamento.

Características básicas dos filtros-prensa de placas e parâmetros operacionais do sistema de desidratação:

- Número de filtros-prensa: 3 unidades mais reserva;
- Número de placas por filtro: 133 (com possibilidade de expansão);
- Dimensões das placas: 2,0 m x 2,0 m;
- Capacidade do filtro: 33,7 ton/dia;
- Número diário de ciclos: 8 ciclos;
- Teor de sólidos totais no lodo condicionado: 4%;
- Teor de sólidos totais no lodo desidratado: 30%;
- Capacidade por bomba de alimentação do filtro-prensa: 160 m³/h a uma pressão de 70 mca;
- Capacidade por bomba de pressurização do filtro-prensa: 80 m³/h a 150 mca.

Sistema de Armazenamento e Transporte do Lodo Desaguado

As tortas de lodo desaguado proveniente dos filtros prensas são armazenadas em silos verticais para serem transportadas por caminhões para o sistema de secagem térmica a ser instalado na ETE São Miguel. Nessa ETE o lodo desaguado é transformado em pellets com teor de sólidos de 90% e granulometria de 3 a 4 mm. O armazenamento dos silos é previsto para um dia de produção de torta.

- Características básicas do sistema de transporte e armazenamento de lodo desaguado da primeira etapa:

- Quatro transportadores de torta para transferência, localizados nas extremidades de cada filtro;
- Um transportador de torta tipo KOCH ou equivalente para transferência das tortas dos filtros para o silo de estocagem externa;
- Dimensões do silo de estocagem:
- Diâmetro interno: 4,70 m;
- Altura cilíndrica: 14,50 m;
- Volume: 250 m³.

Sistema de Produção de Ar Comprimido

O ar utilizado na primeira etapa do tratamento é fornecido por três compressores centrífugos.

- Características básicas dos compressores:
- Quatro unidades, sendo 1 de reserva;
- Capacidade nominal unitária: 40.346 Nm³/h;
- Faixa de regulação: 50 a 105% da capacidade nominal;
- Pressão na descarga: 0,849 kg/cm²;
- Potência: 1.300 KW;
- Rotação: 1.790 rpm.

Sistema de Águas de Utilidades

Parte do efluente final da ETE é utilizada para as seguintes finalidades: água de lavagem, selagem e resfriamento de bombas, quebra de espuma, irrigação de áreas verdes e diluição de produtos químicos. As águas a serem reaproveitadas recebem tratamentos de acordo com os usos pretendidos sendo que a cloração é feita para todas as águas de serviço.

Sistema de Controle de Odores



Figura 15 - Sistema de Lavagem dos Gases coletados no prédio de desidratação de lodo.

Os gases provenientes do tratamento são ricos em H_2S (gás sulfídrico). Esses gases são coletados e encaminhados até lavadores, onde são oxidados e neutralizados por uma solução de $NaOCl$ e $NaOH$. O controle de odores é realizado por detectores de H_2S na saída de gases de lavadores.

Os sistemas de controle de odores para a primeira etapa são formados basicamente por:

- Dois sistemas de lavagem de gás constituídos de: 1 torre de lavagem; 2 bombas de recirculação, sendo uma reserva e de 1 ventilador;
- Dois tanques de estocagem de ácido sulfídrico, com capacidade unitária para estocagem de $1,5 \text{ m}^3$;
- Uma bomba para a transferência do produto recebido, por caminhões, para o tanque de estocagem;
- Duas bombas dosadoras de ácido sulfídrico, uma reserva, para reposição da solução.

Sistema de Drenagem das Unidades

O sistema de drenagem é formado por uma rede implantada sob as unidades de processo, capaz de operar individualmente em cada tanque por gravidade, comandada por válvulas. O líquido do tanque, esvaziado para manutenção, será encaminhado ao início do processo, antes do poço de acumulação do sistema de elevação final.

Sistema de Água Potável

A alimentação do sistema de água potável é efetuada através da interligação com a rede pública da SABESP. Características básicas do sistema de água potável:

- Reservatório apoiado:
 - água para incêndio: 2 células de 95 m³;
 - água potável: 2 células com capacidade de 35 m³;
- Reservatório elevado:
 - água potável: 2 células com capacidade de 34,5 m³;

Sistema de Supervisão e Controle (SSC)

A ETE possui um SSC o qual possui condições de intervir no funcionamento de todo o sistema. Os operadores são capazes de acompanhar a operação de cada unidade de tratamento, e de acionar ou desligar qualquer equipamento caso seja necessário.

5.2 Corpo Receptor

O corpo receptor do efluente da ETE PNM é o rio Tietê, localizado na UGRHI 6 – Alto Tietê. Segundo dados da CETESB, o rio Tietê apresenta um péssimo índice de qualidade de água, como pode ser visto no gráfico 1, com elevada concentração de material biodegradável nas águas, o qual é proveniente do esgoto doméstico e industrial, o uso dessa água é impróprio para abastecimento público. Outro índice importante para avaliar a qualidade das águas é o Índice de Vida Aquática, gráfico 2, o qual foi classificado como péssimo, a vida aquática na região é praticamente nula, reflexo da elevada carga de material biodegradável e baixíssima concentração de oxigênio.

As variáveis de qualidade medidas pela CETESB nos pontos próximos a ETE Parque Novo Mundo estão apresentadas na Tabela 5. Os pontos de amostragem estão localizados no entorno da ETE.

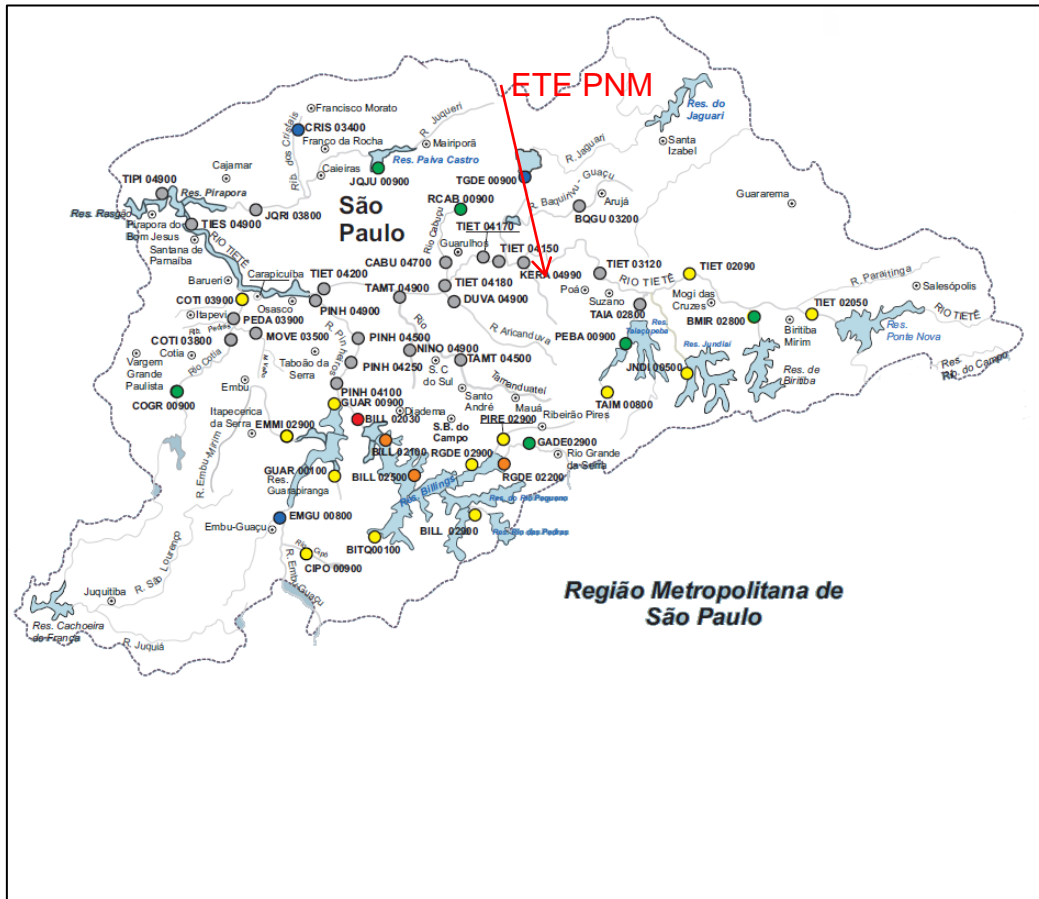


Figura 16 – UGRHI 6 (Fonte: CETESB)

Tabela 8: Média 2012 das principais variáveis de qualidade (Fonte: CETESB)

UGRHI	Corpo Hídrico	Nome do Ponto	Nitrato	Nitrogênio Amoniacal	OD	DBO (5,20)	Fósforo	Coliformes e Termotolerantes (UFC/100 ml)	E. coli (UFC/100 ml)	Clorofila
6	Rio Tietê	TIET 04170	0.19	12	0.9	33	1.1	7.3 E+5	1.1 E+6	-
		TIET 04180	0.18	12	0.5	31	0.97	1.2 E+6	1.3 E+6	-
		TIET 04200	0.18	13	0.4	33	1.1	1.6 E+5	1.7 E+6	-

Os gráficos abaixo apresentam os índices de qualidade de água e vida aquática. Para elaboração dessas gráficos foram obtidos dados amostrais de 14 pontos ao longo do rio Tietê, a coloração violeta indica a péssima qualidade da água, enquanto a vermelha indica a qualidade ruim, em tracejado a localização dos pontos mais próximos a ETE.

Gráfico 1: Índice de Qualidade de Água (Fonte: CETESB)

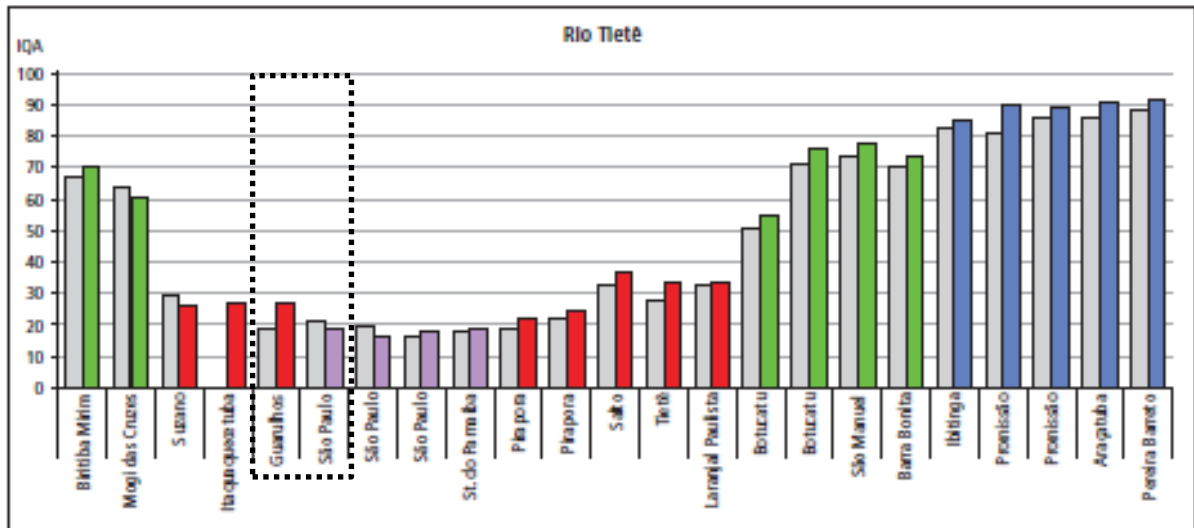
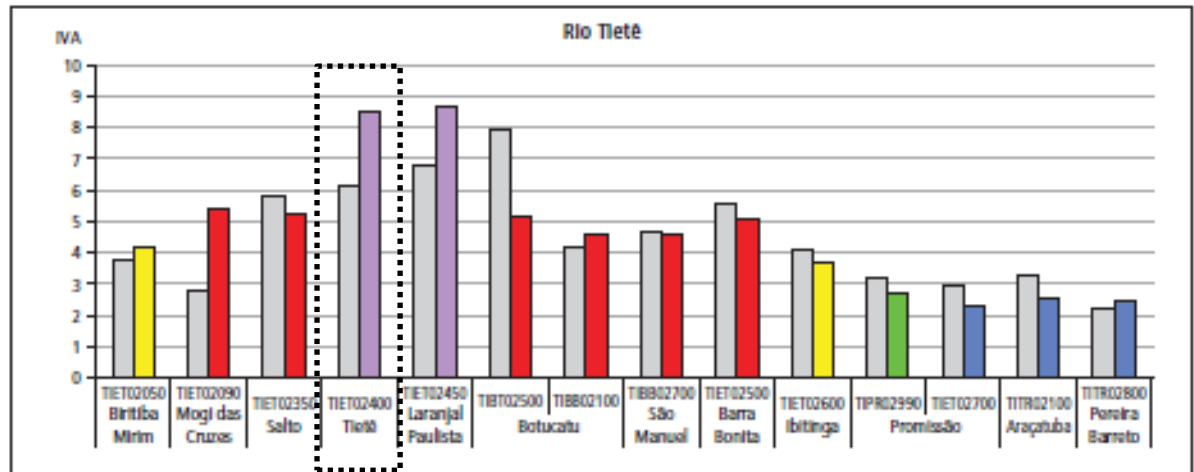


Gráfico 2: Índice de Vida Aquática (IVA) do Rio Tietê



Na região metropolitana de São Paulo o rio Tietê possui os piores índices de qualidade, sendo considerado um rio de classe 4. A autodepuração do rio começa a ser percebida a partir do trecho a jusante de Laranjal Paulista, chegando a ter excelente qualidade a partir de Ibitinga. Pode-se observar pelo gráfico 1 que a montante da RMSP o rio possui boa qualidade de água, iniciando o processo de degradação a partir da cidade de Mogi das Cruzes, e havendo a intensificação deste ao longo das cidades de Guarulhos e São Paulo. Essa situação justifica o

investimento necessário para melhorar a qualidade das águas a partir do tratamento de esgoto, principal poluente das águas do rio Tietê.

6 RESULTADOS

Neste trabalho são propostas 3 alternativas para ampliação do sistema de tratamento da ETE PNM: utilização de lodos ativados de alta taxa, tecnologia com biofilme sobre leito móvel e recirculação de lodo (IFAS) e utilização de decantadores primários. A Tabela 9 mostra as vazões utilizadas no projeto, enquanto a Tabela 10 traz as concentrações e cargas de DBO, DQO, e SST. As constantes utilizadas para os cálculos do modelo cinético foram obtidos a partir de MARAIS & HAANDEL.

Tabela 9 – Vazões de projeto

Parcela	Vazão (L/s)	
	2018	2030
Vazão média total	6.394	6.965
Vazão máxima horária	10.230	11.144

Tabela 10 – Cargas e concentrações de projeto

	Parâmetro	Unidade	Valor	
			2018	2030
	População	Hab	2.975.542	3.101.973
DBO	Carga	kg/dia	160.679	167.507
	Carga total	kg/dia	176.747	184.257
	Concentração	mg/L	320	306
DQO	Carga total	kg/dia	359.922	375.215
	Concentração	mg/L	652	624
SST	Carga total	kg/dia	184.781	192.633
	Concentração	mg/L	334	320
NTK	Carga total	kg/dia	29.517	30.771
	Concentração	mg/L	53	51

Para efetuar o dimensionamento, foram adotadas as dimensões das unidades já existentes na ETE PNM nos casos em que ocorre um aumento no número de unidades implantadas, como é o caso dos tanques de aeração.

A seguir, serão apresentados os resultados dos dimensionamentos realizados. Primeiro, serão mostrados os dimensionamentos das unidades comuns às 3

alternativas. Na sequência, constarão os dimensionamentos das unidades exclusivas para cada alternativa.

6.1 Dimensionamentos comuns

A partir das vazões máximas horárias constantes na Tabela 9, é possível obter o número de bombas da estação elevatória, bem como a quantidade de grades e de desarenadores. A Tabela 11 sintetiza os resultados obtidos. É importante lembrar que o número de unidades necessárias é a razão entre a vazão de projeto e a capacidade; o número de unidades a implantar é a diferença entre as unidades necessárias e as disponíveis; por fim, o total é o número de unidades necessárias mais uma unidade reserva.

Tabela 11 – Dimensionamento das estruturas comuns.

	Capacidade (L/s)	Disponíveis	Necessárias		A implantar		Total	
			2018	2030	2018	2030	2018	2030
Elevatória de esgoto bruto	3000	2	4	4	2	2	5	5
Gradeamento médio	2500	3	5	5	2	2	6	6
Desarenadores	2500	2	5	5	3	3	6	6

6.2 Alta Taxa

No processo de lodos ativados de alta taxa, estarão presentes peneiras rotativas após o gradeamento médio e antes dos desarenadores, o que reduz em 10% a quantidade de DBO. Utilizando a vazão máxima horária, obtêm-se os valores sintetizados na Tabela 12.

Tabela 12 – Peneiras rotativas.

	Capacidade (L/s)	Disponíveis	Necessárias		A implantar		Total	
			2018	2030	2018	2030	2018	2030
Peneiras rotativas	560	8	19	20	11	12	20	21

Tanque de aeração:

As dimensões dos tanques de aeração foram mantidas as mesmas dos tanques já existentes na ETE PNM (Tabela 13).

Tabela 13 – Dimensões dos tanques de aeração.

Comprimento	120 m
Largura	25 m
Profundidade útil	6 m
Volume unitário útil	18000 m ³

A partir do modelo de Marais e colaboradores, e de posse das vazões de projeto, bem como das cargas e concentrações de DBO, DQO e SST, é possível obter a massa de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração (SSVTA). Com este resultado, é possível calcular a relação A/M, como sendo a razão entre a DBO afluente e a massa de SSVTA, onde a DBO afluente é o produto da carga de DBO pela concentração de DBO.

Para efeito de cálculo, partimos com o número de tanque de aeração e depois chegamos aos parâmetros necessários, como a relação alimento microrganismo A/M e concentração de SSVTA.

A massa de SSVTA é dada por:

$$MX_{VH} = QS_i \cdot \left[\frac{(1 - f_{us} - f_{up}) \cdot Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \cdot (1 + f \cdot b_{hT} \cdot R_s) + R_s \frac{f_{up}}{P_v} \right]$$

Por sua vez, a relação A/M é expressa por

$$A/M = \frac{Q \cdot S_0}{MX_{VH}}$$

Afinal, a concentração de DBO é dada por

$$X_v = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot A/M}$$

Na Tabela 14, são demonstrados os resultados utilizando 9 tanques de aeração.

Tabela 14 – Modelo de Marais e colaboradores (alternativa 1).

	2018	2030	
Vazão afluyente	552.442	601.776	m³/dia
Concentração de DQO afluyente	0,586	0,561	kg/m³
Massa de DQO afluyente	323.929	337.693	kg/dia
Fração da DQO solúvel não biodegradável	0,05	0,05	--
Fração da DQO particulada não biodegradável	0,13	0,13	--
Coeficiente de síntese celular	0,45	0,45	kgSSV/kgDQO
Coeficiente de respiração endógena	0,24	0,24	1/dia
Pv	1,48	1,48	kgDQO/kgSSV
Fração não biodegradável da massa de lodo volátil ativa nos reatores biológicos	0,2	0,2	--
Idade do lodo	3,0	3,0	dias
Massa de SSV nos reatores biológicos	323.864	337.625	kgSSVTA
Relação A/M	0,546	0,546	kgDBO/kgSSV-dia
Concentração SSVTA	1999	2084	mgSSV/L

Com nove tanques de aeração, é possível garantir a remoção eficiente de matéria orgânica, mantendo uma relação A/M em torno de 0,5 kgDBO/kgSSV-dia e concentração de SSVTA abaixo de 3000mgSSV/L.

Sistema de aeração:

A demanda de oxigênio é calculada por:

$$MO_C = QS_i \cdot (1 - f_{us} - f_{up}) \cdot \left[(1 - P_v \cdot Y_h) + P_v \cdot (1 - f) \cdot b_{hT} \frac{Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \right]$$

A Tabela 15 mostra a demanda de oxigênio para degradação da matéria carbonácea.

Tabela 15 – Demanda carbonácea de O₂ (alternativa 1).

	2018	2030	
Demanda carbonácea (MO _C)	147960	154247	kgO ₂ /dia
Demanda para nitrificação (MO _{Ni})	0	0	kgO ₂ /dia
Demanda total de O ₂ (MO)	147960	154247	kgO ₂ /dia
Demanda de O ₂ em pico	221940	231371	kgO ₂ /dia
	9248	9640	kgO ₂ /h

Tendo calculado a demanda de oxigênio para decomposição da matéria carbonácea, procede-se o cálculo da quantidade de sopradores necessários, conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Transferência de oxigênio (alternativa 1).

	2018	2030	
Necessidade de O ₂	9248	9640	kgO ₂ /h
Alfa	0,7	0,7	
Beta	0,95	0,95	
C _{sw} no verão	7,6	7,6	mg/L
C _L no TA	1	1	mg/L
Temperatura	20	20	°C
Fator de correção	0,47	0,47	
Necessidade de O ₂ corrigida	19476	20304	kgO ₂ /h
Eficiência na transferência	30%	30%	
Oxigênio no ar	23%	23%	
Necessidade de ar	282265	294258	kgAr/h
Densidade do ar	1,26	1,26	kg/st m ³
Vazão de ar (1 atm 20°C)	224020	233538	st m ³ /h
Vazão dos sopradores	100000	100000	st m ³ /h
Sopradores necessários	3	3	

Com a vazão de ar necessária, calcula-se a potência necessária para os sopradores, conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Potência dos sopradores.

Fluxo de ar	78	82	kgAr/s
Constante dos gases	8,314	8,314	
Temperatura na entrada	35	35	°C
	308	308	K
Eficiência do compressor	90%	90%	
Pressão absoluta na entrada	0,91	0,91	atm
Pressão absoluta na saída	1,65	1,65	atm
Profundidade do TA	6	6	m
Potência total dos sopradores	4865	5072	kW
	6520	6797	HP

Conclui-se que serão necessários 3 sopradores de ar para garantir o fornecimento da demanda carbonácea.

Com base na concentração de SSV, pode-se obter o percentual de recirculação necessário, através do balanço de massa no decantador secundário:

$$(Q + Q_r) \cdot X_v = Q_r \cdot X_{vr} \therefore \frac{Q_r}{Q} = \frac{X_v}{X_{vr} - X_v}$$

Tabela 18 – Recirculação de lodo (alternativa 1).

X_v	1.999	2.084	mg/L
X_v/X_T	80%	80%	--
X_T	2.499	2.605	mg/L
SST no lodo recirculado	7.000	7.000	mg/L
Percentual de recirculação	56%	59%	--
Recirculação instalada	75%	75%	--

Decantadores secundários:

Para o dimensionamento do decantador secundário serão considerados os seguintes parâmetros:

- a) Taxa de aplicação de sólidos: $G_A = (Q + Q_r) \cdot X / A_S$;
- b) Taxa de escoamento superficial: $q_A = Q_{MÉD} / A_S$;

Serão considerados 12 decantadores secundários. Foram mantidas as mesmas dimensões principais dos decantadores secundários já existentes. Suas dimensões estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Decantadores secundários (alternativa 1).

Diâmetro	46	m
Profundidade útil	3,50	m
Área superficial unitária	1.662	m ²
Número de decantadores	12	--
Área superficial total	19.943	m ²
Volume útil unitário	5.817	m ³
Volume útil total	69.800	m ³

A Tabela 20 mostra a taxa de aplicação de sólidos, a taxa de escoamento superficial e o tempo de retenção hidráulica.

Tabela 20 – Taxas de aplicação e tempo de retenção hidráulica (alternativa 1).

	2018	2030	
G_A	4,5	5,2	kgSS/(m ² .h)
q_A	27,7	30,2	m ³ /(m ² .d)
TRH	3,03	2,78	h

Com doze decantadores secundários, é possível atender ao limite na taxa de aplicação de sólidos de 6kgSS/m².h estabelecido na NBR 12.209 da ABNT, bem como atender ao limite da taxa de escoamento superficial de 36m³/m².dia para X_T menor que 3kgSST/m³, prescrito na mesma norma.

Tabela 21 – Orçamento da alternativa 1.

	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo Total
TOTAL DO ORÇAMENTO				22.366.594,25
Serviços técnicos				972.325,00
Sondagem	vb	1,00	15.750,00	15.750,00
Levantamento Planialtimétrico	vb	1,00	8.000,00	8.000,00
Projeto Executivo	vb	1,00	948.575,00	948.575,00
Instalação do canteiro de obras				30.220,00
Ligação provisória do água e esgoto	vb	1,00	2.500,00	2.500,00
Ligação provisória de energia elétrica	vb	1,00	1.800,00	1.800,00
Almoxarifado	m ²	40,00	192,00	7.680,00
Escritório de engenharia	m ²	25,00	192,00	4.800,00
Refeitório	m ²	40,00	192,00	7.680,00
Sanitário/vestiário/alojamento	m ²	30,00	192,00	5.760,00
Despesas gerais				137.500,00
Placa da obra	vb	1,00	5.000,00	5.000,00
Ensaio de concreto	vb	1,00	110.000,00	110.000,00
Locação de equipamentos	mensal	9,00	2.500,00	22.500,00
Administração da obra				333.450,00
Engenheiro responsável	mensal	9,00	22.500,00	202.500,00
Almoxarife	mensal	9,00	4.500,00	40.500,00
Portaria	mensal	9,00	4.500,00	40.500,00

Consumo de água	mensal	9,00	2.000,00	18.000,00
consumo de energia elétrica	mensal	9,00	2.000,00	18.000,00
Material de escritório e limpeza	mensal	9,00	150,00	1.350,00
Cópias e Plotagens	mensal	9,00	150,00	1.350,00
Remoção de entulho (Caçambas)	Viagem	45,00	250,00	11.250,00
Tanque de Aeração				12.531.843,80
Limpeza do terreno	m ²	18.000,00	0,80	14.400,00
Compactação de terra	m ³	27.000,00	6,47	174.690,00
Lastro de concreto (5cm)	m ³	900,00	250,00	225.000,00
Concreto	m ³	9.959,40	270,00	2.689.038,00
Armação	kg	946.143,00	3,60	3.406.114,80
Forma	m ²	4.060,00	7,85	31.871,00
Mão de obra	m ³	9.959,40	450,00	4.481.730,00
Impermeabilização	m ²	30.180,00	50,00	1.509.000,00
Decantador Secundário				8.346.255,45
Limpeza do terreno	m ²	28.000,00	0,80	22.400,00
Escavação	m ³	43.428,10	35,00	1.519.983,36
Compactação de terra	m ³	14.956,68	6,47	96.769,73
Lastro de concreto	m ³	542,85	250,00	135.712,80
Concreto	m ³	5.253,22	270,00	1.418.368,40
Armação	kg	499.055,55	3,60	1.796.599,97
Forma	m ²	1.210,00	7,85	9.498,50
Mão de obra	m ³	5.253,22	450,00	2.363.947,34
Impermeabilização	m ²	19.659,51	50,00	982.975,35
Desmobilização do canteiro de obra	vb	1,00	15.000,00	15.000,00

6.3 IFAS

Esta alternativa mantém as peneiras rotativas da primeira alternativa. Como as vazões de projeto são as mesmas, vale a Tabela 12 para este dimensionamento.

A partir do modelo de Marais e colaboradores, e de posse das vazões de projeto, bem como das cargas e concentrações de DBO, DQO e SST, é possível obter a massa de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração (SSVTA). Com este resultado, é possível calcular a relação A/M, como sendo a razão entre a DBO afluente e a massa de SSVTA, onde a DBO afluente é o produto da carga de DBO pela concentração de DBO.

Para efeito de cálculo, partimos com o número de tanque de aeração e depois chegamos aos parâmetros necessários, como a relação alimento microrganismo A/M e concentração de SSVTA.

A massa de SSVTA é dada por:

$$MX_{VH} = QS_i \cdot \left[\frac{(1 - f_{us} - f_{up}) \cdot Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \cdot (1 + f \cdot b_{hT} \cdot R_s) + R_s \frac{f_{up}}{P_v} \right]$$

Por sua vez, a relação A/M é expressa por

$$A/M = \frac{Q \cdot S_0}{MX_{VH}}$$

Afinal, a concentração de DBO é dada por

$$X_v = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot A/M}$$

Na Tabela 22, são demonstrados os resultados utilizando 3 tanques de aeração.

Tabela 22 – Modelo de Marais (alternativa 2).

	2018	2030	
Vazão afluyente	552.442	601.776	m³/dia
Concentração de DQO afluyente	0,586	0,561	kg/m³
Massa de DQO afluyente	323.929	337.693	kg/dia
Fração da DQO solúvel não biodegradável	0,05		--
Fração da DQO particulada não biodegradável	0,13		--
Coeficiente de síntese celular	0,45		kgSSV/kgDQO
Coeficiente de respiração endógena	0,24		1/dia
Pv	1,48		kgDQO/kgSSV
Fração não biodegradável da massa de lodo volátil ativa nos reatores biológicos	0,2		--
Idade do lodo	3		dias
Massa de SSV nos reatores biológicos	323.864	337.625	kgSSVTA
Relação A/M	0,546	0,546	kgDBO/kgSSV-dia
Concentração SSVTA	5.997	6.252	mgSSV/L

Para os cálculos de biomassa aderida ao biofilme e biomassa em suspensão, foram assumidos os seguintes parâmetros:

- Área superficial dos suportes (Carriers): 641m²/m³
(http://www.bfdias.com.br/produtos_midias.php)
- Biomassa aderida: 12g/m²;
- Taxa de preenchimento: 30% a 70%;

O calculo é apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Biomassa aderida e em suspensão.

	Unidade	2.018	2.030
Área Superficial Específica	m ² /m ³	641	641
% Tanque	%	55%	55%
Área para Biofilme			
Por tanque	m ²	6.345.900	6.345.900
Área total de biofilme	m ²	19.037.700	19.037.700
Massa de SSV no Biofilme			
Biomassa Aderida	g/m ²	12	12
Por tanque	kg SSV	76.151	76.151
Total	kg SSV	228.452	228.452
Biomassa em Suspensão	kgSSV	95.411	109.172
Concentração SSVTA	mg/L	1.767	2.022
razão SSV/SST	-	0,80	0,80
Concentração SSTA	mg/L	2.209	2.527
% Biomassa Aderida	%	0,71	0,68
% Biomassa em Suspensão	%	0,29	0,32
Carga de DBO			
Aplicada à biomassa aderida	kgDBO/d	114.226	114.226
Aplicada à biomassa em Suspensão	kgDBO/d	47.706	54.586
Taxa de Aplicação			
Sobre o biofilme	gDBO/m ² .d	6,00	6,00
Sobre a biomassa em suspensão	kgDBO/kgSSV.d	0,21	0,24

Com 55% de preenchimento dos tanques de aeração com suportes (Carriers), é possível a operação do sistema mantendo três tanques de aeração já existentes, garantindo uma remoção eficiente de matéria orgânica, mantendo a concentração de SSVTA abaixo de 3000mgSSV/L.

Sistema de aeração:

A demanda de oxigênio é calculada por:

$$MO_C = QS_i \cdot (1 - f_{us} - f_{up}) \cdot \left[(1 - P_v \cdot Y_h) + P_v \cdot (1 - f) \cdot b_{hT} \frac{Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \right]$$

A Tabela 24 mostra a demanda de oxigênio para degradação da matéria carbonácea.

Tabela 24 – Demanda carbonácea de oxigênio.			
Demanda carbonácea	0,457	0,457	
MO _C	147.960	154.247	kgO ₂ /dia
MO _{Ni}	0	0	kgO ₂ /dia
MO	147.960	154.247	kgO ₂ /dia
Demanda de O ₂ em pico	221.940	231.371	kgO ₂ /dia
	9.248	9.640	kgO ₂ /h
Relação kgO ₂ /kgDBO em pico			

Tendo calculado a demanda de oxigênio para decomposição da matéria carbonácea, procede-se o cálculo da quantidade de sopradores necessários, conforme mostrado na Tabela 25.

Tabela 25 – Transferência de oxigênio (alternativa 2).

Transferência de oxigênio			
Necessidade de O ₂	9.248	9.640	kgO ₂ /h
alfa	0,7		
beta	0,95		
C _{sw} no verão	7,6		mg/L
C _L no TA	1		mg/L
Temperatura	20		°C
Fator de correção	0,47	0,47	
Necessidade de O ₂ corrigida	19.476	20.304	kgO ₂ /h
Eficiência na transferência	30%	30%	
Oxigênio no ar	23%	23%	
Necessidade de ar	282.265	294.258	kgAr/h
Densidade do ar	1,26	1,26	kg/st m ³
Vazão de ar (1 atm 20°C)	224.020	233.538	st m ³ /h
Vazão dos sopradores	100.000	100.000	st m ³ /h
Sopradores necessários	3	3	

Com a vazão de ar necessária, calcula-se a potência necessária para os sopradores, conforme Tabela 26.

Tabela 26 – Sopradores de ar (alternativa 2).

Fluxo de ar	78	82	kgAr/s
Constante dos gases	8,31	8,31	
Temperatura na entrada	35	35	°C
	308	308	K
Eficiência do compressor	90%	90%	
Pressão absoluta na entrada	0,91	0,91	atm
Pressão absoluta na saída	1,65	1,65	atm
Profundidade do TA	6	6	m
Potência total dos sopradores	4.865	5.072	kW
	6.520	6.797	HP

Serão necessários 3 sopradores de ar para manter uma boa operação do sistema.

Com base na concentração de SSV, pode-se obter o percentual de recirculação necessário, através do balanço de massa no decantador secundário:

$$(Q + Q_r) \cdot X_v = Q_r \cdot X_{vr} \therefore \frac{Q_r}{Q} = \frac{X_v}{X_{vr} - X_v}$$

Tabela 27 – Recirculação de lodo

X_V	1.767	2.022	mg/L
X_V/X_T	80%	80%	--
X_T	2.209	2.527	mg/L
SST no lodo recirculado	7.000	7.000	mg/L
Percentual de recirculação	46%	56%	--
Recirculação instalada	75%	75%	--

Decantadores secundários:

Para o dimensionamento do decantador secundário serão considerados os seguintes parâmetros:

a) Taxa de aplicação de sólidos: $G_A = (Q + Q_r) \cdot X / A_S$;

b) Taxa de escoamento superficial: $q_A = Q_{MÉD} / A_S$;

Serão considerados 11 decantadores secundários com as dimensões principais apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Decantadores secundários (alternativa 2).

Diâmetro	46	m
Profundidade útil	3,5	m
Área superficial unitária	1.662	m ²
Número de decantadores	11	--
Área superficial total	18.281	m ²
Volume útil unitário	5.817	m ³
Volume útil total	63.983	m ³

A Tabela 29 mostra a taxa de aplicação de sólidos, a taxa de escoamento superficial e o tempo de retenção hidráulica.

Tabela 29 – Taxas de aplicação e tempo de retenção hidráulica (alternativa 2).

	2018	2030	
G_A	4,1	5,4	kgSS/(m ² .h)
q_A	30,2	32,9	m ³ /(m ² .d)
TRH	2,78	2,55	h

Com onze decantadores secundários, é possível atender ao limite na taxa de aplicação de sólidos de 6kgSS/m².h estabelecido na NBR 12.209 da ABNT, bem como atender ao limite da taxa de escoamento superficial de 36m³/m².dia para X_T menor que 3kgSST/m³, prescrito na mesma norma.

Tabela 30 – Orçamento (alternativa 2).

	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo Total
TOTAL DO ORÇAMENTO				52.999.024,29
Serviços técnicos				972.325,00
Sondagem	vb	1,00	15.750,00	15.750,00
Levantamento Planialtimétrico	vb	1,00	8.000,00	8.000,00
Projeto Executivo	vb	1,00	948.575,00	948.575,00
Instalação do canteiro de obras				30.220,00
Ligação provisória do água e esgoto	vb	1,00	2.500,00	2.500,00
Ligação provisória de energia elétrica	vb	1,00	1.800,00	1.800,00
Almoxarifado	m ²	40,00	192,00	7.680,00
Escritório de engenharia	m ²	25,00	192,00	4.800,00
Refeitório	m ²	40,00	192,00	7.680,00
Sanitário/vestiário/alojamento	m ²	30,00	192,00	5.760,00
Despesas gerais				137.500,00
Placa da obra	vb	1,00	5.000,00	5.000,00
Ensaio de concreto	vb	1,00	110.000,00	110.000,00
Locação de equipamentos	mensal	9,00	2.500,00	22.500,00
Administração da obra				333.450,00
Engenheiro responsável	mensal	9,00	22.500,00	202.500,00
Almoxarife	mensal	9,00	4.500,00	40.500,00
Portaria	mensal	9,00	4.500,00	40.500,00
Consumo de água	mensal	9,00	2.000,00	18.000,00
consumo de energia elétrica	mensal	9,00	2.000,00	18.000,00
Material de escritório e limpeza	mensal	9,00	150,00	1.350,00
Cópias e Plotagens	mensal	9,00	150,00	1.350,00
Remoção de entulho (Caçambas)	Viagem	45,00	250,00	11.250,00
Tanque de Aeração				44.550.000,00
Suportes	m ³	29.700,00	1.500,00	44.550.000,00
Decantador Secundário				6.960.529,29
Limpeza do terreno	m ²	28.000,00	0,80	22.400,00
Escavação	m ³	36.190,08	35,00	1.266.652,80
Compactação de terra	m ³	12.463,90	6,47	80.641,44

Lastro de concreto	m ³	452,38	250,00	113.094,00
Concreto	m ³	4.377,68	270,00	1.181.973,67
Armação	kg	415.879,62	3,60	1.497.166,65
Forma	m ²	1.210,00	7,85	9.498,50
Mão de obra	m ³	4.377,68	450,00	1.969.956,11
Impermeabilização	m ²	16.382,92	50,00	819.146,13
Desmobilização do canteiro de obra	vb	1,00	15.000,00	15.000,00

6.4 Implantação de decantador primário

Nesta alternativa, foram adicionados decantadores primários ao processo de tratamento, em substituição às peneiras rotativas. Para o cálculo, foram usados os seguintes parâmetros:

- Seção dos decantadores: circular;
- Taxa de escoamento superficial adotado: $q_{A,max}=90\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$;
- Área superficial necessária de decantador primários: $A_S=Q_{max}/q_{A,max}$;
- Tempo de detenção hidráulico: uma hora;
- Taxa de escoamento nos vertedores de saída= $Q_{máx}/L$

Os resultados estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Decantador primário (alternativa 3).

	2.018	2.030	
Vazão média total	6.394	6.965	L/s
Vazão máxima horária	10.230	11.144	L/s
Taxa de escoamento superficial adotado		90	m ³ /m ² .dia
Área superficial necessária	9.821	10.698	m ²
Número de decantador	12	12	Unidades
Área por decantador	818	892	m ² /um.
Diâmetro	32,3	33,7	m
Diâmetro Adotado		36	m
Tempo de detenção		1	h
Profundidade		3,3	m
Taxa de escoamento nos vertedores de saída	651	709	m ³ /m.dia

Pelos resultados apresentados, conclui-se que, são necessários 12 decantadores primários de 36 metros de diâmetro e 3,3 metros de profundidade para atender a vazão em 2030. Os parâmetros recomendados pela norma NB-570, taxa de escoamento nos vertedores de saída inferiores a $720\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e NB-12.290/90, que impõe que decantadores devem possuir profundidade superior a dois metros, foram atendidos.

Tanque de aeração

A partir do modelo de Marais e colaboradores, e de posse das vazões de projeto, bem como das cargas e concentrações de DBO, DQO e SST, é possível obter a massa de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração (SSVTA). Com este resultado, é possível calcular a relação A/M, como sendo a razão entre a DBO afluente e a massa de SSVTA, onde a DBO afluente é o produto da carga de DBO pela concentração de DBO.

Para efeito de cálculo, partimos com o número de tanque de aeração e depois chegamos aos parâmetros necessários, como a relação alimento microrganismo A/M e concentração de SSVTA.

A massa de SSVTA é dada por:

$$MX_{VH} = QS_i \cdot \left[\frac{(1 - f_{us} - f_{up}) \cdot Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \cdot (1 + f \cdot b_{hT} \cdot R_s) + R_s \frac{f_{up}}{P_v} \right]$$

Por sua vez, a relação A/M é expressa por

$$A/M = \frac{Q \cdot S_0}{MX_{VH}}$$

Afinal, a concentração de DBO é dada por

$$X_v = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot A/M}$$

Na Tabela 32, são demonstrados os resultados utilizando 7 tanques de aeração.

Tabela 32 – Modelo de Marais e colaboradores (alternativa 3).

	2018	2030	
Vazão afluyente	552.442	601.776	m³/dia
Concentração de DQO afluyente	0,456	0,436	kg/m³
Massa de DQO afluyente	251.945	262.650	kg/dia
Fração da DQO solúvel não biodegradável	0,05		--
Fração da DQO particulada não biodegradável	0,13		--
Coeficiente de síntese celular	0,45		kgSSV/kgDQO
Coeficiente de respiração endógena	0,24		1/dia
Pv	1,48		kgDQO/kgSSV
Fração não biodegradável da massa de lodo volátil ativa nos reatores biológicos	0,2		--
Idade do lodo	3		dias
Massa de SSV nos reatores biológicos	251.894	262.597	kgSSVTA
Relação A/M	0,702	0,702	kgDBO/kgSSV-dia
Concentração SSVTA	1.999	2.084	mgSSV/L

Com nove tanques de aeração, é possível garantir a remoção eficiente de matéria orgânica, mantendo uma relação A/M em torno de 0,7 kgDBO/kgSSV-dia e concentração de SSVTA abaixo de 3000mgSSV/L.

Sistema de aeração

A demanda de oxigênio é calculada por:

$$MO_C = QS_i \cdot (1 - f_{us} - f_{up}) \cdot \left[(1 - P_v \cdot Y_h) + P_v \cdot (1 - f) \cdot b_{hT} \frac{Y_h \cdot R_s}{1 + b_{hT} \cdot R_s} \right]$$

A Tabela 33 mostra a demanda de oxigênio para degradação da matéria carbonácea.

Tabela 33 – Demanda carbonácea (alternativa 3).

	0,457	0,457	
MO _C	115.080	119.970	kgO ₂ /dia
MO _{Ni}	0	0	kgO ₂ /dia
MO	115.080	119.970	kgO ₂ /dia
Demanda de O ₂ em pico	172.620	179.955	kgO ₂ /dia
	7.193	7.498	kgO ₂ /h

Tendo calculado a demanda de oxigênio para decomposição da matéria carbonácea, procede-se o cálculo da quantidade de sopradores necessários, conforme mostrado na Tabela 34.

Tabela 34 – Transferência de oxigênio (alternativa 3).

Necessidade de O ₂	7.193	7.498	kgO ₂ /h
alfa	0,7		
beta	0,95		
C _{sw} no verão	7,6		mg/L
C _L no TA	1		mg/L
Temperatura	20		°C
Fator de correção	0,47	0,47	
Necessidade de O ₂ corrigida	15.148	15.792	kgO ₂ /h
Eficiência na transferência	30%	30%	
Oxigênio no ar	23%	23%	
Necessidade de ar	219.539	228.867	kgAr/h
Densidade do ar	1,26	1,26	kg/st m ³
Vazão de ar (1 atm 20°C)	174.237	181.641	st m ³ /h
Vazão dos sopradores	100.000	100.000	st m ³ /h
Sopradores necessários	2	2	

Com a vazão de ar necessária, calcula-se a potência necessária para os sopradores, conforme Tabela 35.

Tabela 35 – Sopradores (alternativa 3).

Fluxo de ar	61	64	kgAr/s
Constante dos gases	8,314	8,314	
Temperatura na entrada	35	35	°C
	308	308	K
Eficiência do compressor	90%	90%	
Pressão absoluta na entrada	0,91	0,91	atm
Pressão absoluta na saída	1,65	1,65	atm
Profundidade do TA	6	6	m
Potência total dos sopradores	3.784	3.945	kW
	5.071	5.286	HP

Serão necessários dois sopradores de ar para manter uma boa operação do sistema.

Com base na concentração de SSV, pode-se obter o percentual de recirculação necessário, através do balanço de massa no decantador secundário:

$$(Q + Q_r) \cdot X_v = Q_r \cdot X_{vr} \therefore \frac{Q_r}{Q} = \frac{X_v}{X_{vr} - X_v}$$

Tabela 36 – Recirculação de lodo (alternativa 3).

X_v	1.999	2.084	mg/L
X_v/X_T	80%	80%	--
X_T	2.499	2.605	mg/L
SST no lodo recirculado	7.000	7.000	mg/L
Percentual de recirculação	56%	59%	--
Recirculação instalada	75%	75%	--

Decantador secundário:

Para o dimensionamento do decantador secundário serão considerados os seguintes parâmetros:

Taxa de aplicação de sólidos: $G_A = (Q + Q_r) \cdot X / A_S$;

Taxa de escoamento superficial: $q_A = Q_{MÉD} / A_S$;

Serão considerados 11 decantadores secundários com as dimensões principais apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 – Decantadores secundários (alternativa 3).

Diâmetro	46	m
Profundidade útil	3,5	m
Área superficial unitária	1.662	m ²
Número de decantadores	11	--
Área superficial total	18.281	m ²
Volume útil unitário	5.817	m ³
Volume útil total	63.983	m ³

A Tabela 38 mostra a taxa de aplicação de sólidos, a taxa de escoamento superficial e o tempo de retenção hidráulica.

Tabela 38 – Taxas de aplicação superficial e tempo de retenção hidráulica (alternativa 3).

	2018	2030	
G_A	4,9	5,7	kgSS/(m ² .h)
q_A	30,2	32,9	m ³ /(m ² .d)
TRH	2,78	2,55	h

Com onze decantadores secundários, é possível atender ao limite da taxa de aplicação de sólidos de 6kgSS/m².h estabelecido na NBR 12.209 da ABNT, bem como atender ao limite na taxa de escoamento superficial de 36m³/m².dia para X_T menor que 3kgSST/m³, prescrito na mesma norma.

Orçamento:

	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo Total
TOTAL DO ORÇAMENTO				25.212.758,44
Serviços técnicos				972.325,00
Sondagem	vb	1,00	15.750,00	15.750,00
Levantamento Planialtimétrico	vb	1,00	8.000,00	8.000,00
Projeto Executivo	vb	1,00	948.575,00	948.575,00
Instalação do canteiro de obras				30.220,00
Ligação provisória do água e esgoto	vb	1,00	2.500,00	2.500,00
Ligação provisória de energia elétrica	vb	1,00	1.800,00	1.800,00
Almoxarifado	m ²	40,00	192,00	7.680,00
Escritório de engenharia	m ²	25,00	192,00	4.800,00
Refeitório	m ²	40,00	192,00	7.680,00
Sanitário/vestiário/alojamento	m ²	30,00	192,00	5.760,00
Despesas gerais				137.500,00
Placa da obra	vb	1,00	5.000,00	5.000,00
Ensaio de concreto	vb	1,00	110.000,00	110.000,00
Locação de equipamentos	mensal	9,00	2.500,00	22.500,00
Administração da obra				333.450,00
Engenheiro responsável	mensal	9,00	22.500,00	202.500,00
Almoxarife	mensal	9,00	4.500,00	40.500,00
Portaria	mensal	9,00	4.500,00	40.500,00
Consumo de água	mensal	9,00	2.000,00	18.000,00
consumo de energia elétrica	mensal	9,00	2.000,00	18.000,00
Material de escritório e limpeza	mensal	9,00	150,00	1.350,00
Cópias e Plotagens	mensal	9,00	150,00	1.350,00
Remoção de entulho (Caçambas)	Viagem	45,00	250,00	11.250,00

Decantador primário				8.393.747,95
Limpeza do terreno	m ²	28.000,00	0,80	22.400,00
Escavação	m ³	43.428,10	35,00	1.519.983,36
Compactação de terra	m ³	14.956,68	6,47	96.769,73
Lastro de concreto	m ³	542,85	250,00	135.712,80
Concreto	m ³	5.253,22	270,00	1.418.368,40
Armação	kg	499.055,55	3,60	1.796.599,97
Forma	m ²	7.260,00	7,85	56.991,00
Mão de obra	m ³	5.253,22	450,00	2.363.947,34
Impermeabilização	m ²	19.659,51	50,00	982.975,35
Tanque de Aeração				8.369.986,20
Limpeza do terreno	m ²	18.000,00	0,80	14.400,00
Compactação de terra	m ³	18.000,00	6,47	116.460,00
Lastro de concreto (5cm)	m ³	600,00	250,00	150.000,00
Concreto	m ³	6.639,60	270,00	1.792.692,00
Armação	kg	630.762,00	3,60	2.270.743,20
Forma	m ²	4.060,00	7,85	31.871,00
Mão de obra	m ³	6.639,60	450,00	2.987.820,00
Impermeabilização	m ²	20.120,00	50,00	1.006.000,00
Decantador Secundário				6.960.529,29
Limpeza do terreno	m ²	28.000,00	0,80	22.400,00
Escavação	m ³	36.190,08	35,00	1.266.652,80
Compactação de terra	m ³	12.463,90	6,47	80.641,44
Lastro de concreto	m ³	452,38	250,00	113.094,00
Concreto	m ³	4.377,68	270,00	1.181.973,67
Armação	kg	415.879,62	3,60	1.497.166,65
Forma	m ²	1.210,00	7,85	9.498,50
Mão de obra	m ³	4.377,68	450,00	1.969.956,11
Impermeabilização	m ²	16.382,92	50,00	819.146,13
Desmobilização do canteiro de obra	vb	1,00	15.000,00	15.000,00

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme a Tabela 3, a ETE parque Novo Mundo, hoje está com uma capacidade efetiva de tratamento de 2,1 m³/s, havendo necessidade de ampliação para atender a meta de universalização do serviço de coleta e tratamento de esgoto sanitário descrito no Plano Diretor de Esgoto da RMSP.

O Plano Diretor previu 2 cenários de universalização do tratamento do esgoto, em ambos há uma necessidade de ampliar a ETE parque Novo Mundo para uma capacidade de tratamento de esgoto de 7,0 m³/s. A descrição da ETE e a informação contida na PDE mostra que a parte crítica da ampliação da ETE parque Novo Mundo é o tanque de aeração, principalmente por causa da grande área necessária para a implantação.

A ideia principal para a solução desse problema foi o estudo da ampliação do sistema de lodo ativado focando principalmente na ampliação da capacidade do tanque de aeração e tanque de decantação secundária.

A primeira alternativa apresentada, mudança do sistema convencional para alta taxa, com idade do lodo de 3 dias, apresenta o menor custo de implantação. No entanto, a ampliação por esse processo necessita de construções e maior tempo de implantação comparada com a segunda alternativa, IFAS, a qual permite alcançar os resultados esperados apenas preenchendo os tanques de aeração com suportes.

Tendo o custo como fator primordial, e havendo área e tempo para execução das devidas obras, este trabalho indica a ampliação do sistema utilizando-se um sistema de Alta Taxa, com 3 dias para idade do lodo, e a construção das unidades operacionais necessárias para garantia de tratamento adequado do esgoto. No entanto, como não há área suficiente para garantir a construção dos reatores biológicos para final de plano, a melhor alternativa é o sistema IFAS, o qual não necessita ampliação das estruturas do sistema.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.. **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 4ª ed. Rio de Janeiro, 2005.

eCampina Grande, epgraf, 1999.

PIVELI, R. P.. **Notas de Aula**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental; Universidade de São Paulo.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, v.1. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, v.2. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, v.4. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.

Sistemas de Esgoto Sanitários, 2ª ed. São Paulo, CETESB, 1977.

Plano Diretor de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo, SABESP; 2010.

Relatório da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo, CETESB; 2012.

FUJII, Fábio Yugo. Análise Comparativa entre processos de lodo ativado e o reator de biofilme de leito móvel na remoção de nitrogênio de esgoto sanitário - Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo; 2011.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Biofilm Reactors**. Alexandria, VA, USA: WEF Press; McGraw-Hill: 2010.

METCALF & EDDY, INC.; TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd ed. 1991.

ANEXO

As fotos a seguir foram tiradas durante à visita a ETE Parque Novo Mundo. Foram identificadas as condições atuais de operação, as quais não correspondem as desejadas.



Figura A. 1 – Peneiras Rotativas



Figura A. 2 Peneira Rotativa



Figura A. 3 Tanque de Aeração

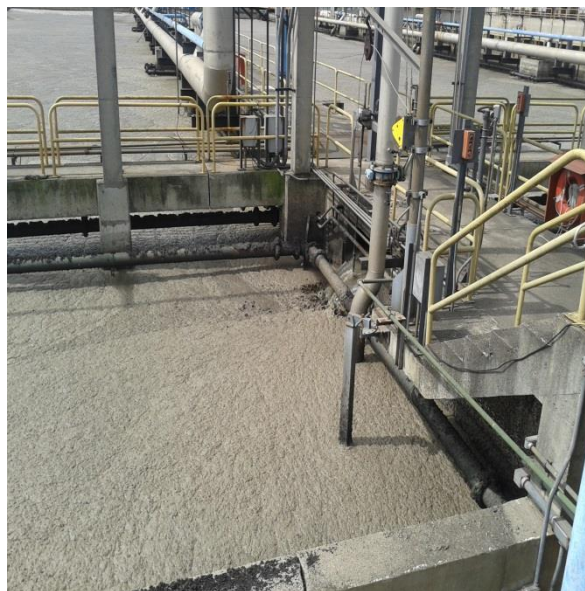


Figura A. 4 Tanque de Aeração



Figura A. 5 Tanque de Aeração



Figura A. 6 Tanque de Aeração



Figura A. 7 Decantador Secundário



Figura A. 8 Decantador Secundário



Figura A. 9 Decantador Secundário