

Memorial Descritivo e de Cálculo do Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário



11/11/2021

Memorial Descritivo do Sistema de Tratamento de Efluentes



Engenheiro Responsável

Proprietário

11/11/2021



1. Sumário

2.	Objetivo.....	5
3.	Dados Cadastrais	5
3.1	Empreendedor	5
3.2	Representante Legal do Empreendedor.....	5
3.3	Dados do Empreendedor	5
3.4	Empreendimento	5
3.5	Responsável Técnico pelo Projeto	5
4.	Fundamentos de Projeto	5
5.	Tratamento Proposto	6
5.1	Descrição do Tratamento	6
6.	Memorial Descritivo	8
6.1	Gradeamento	8
6.2	Estação Elevatória de Esgoto	8
6.3	Distribuidor de Vazão	8
6.4	Biorreator Aeróbio	8
6.5	Decantador Secundário	9
6.6	Adensador de Lodo	9
6.7	Leito de Secagem	10
6.8	Tanque de Equalização.....	10
6.9	Floculador mecânico	10
6.10	Flotador – FAD	10
6.11	Filtro de Camada Dupla	11
7.	Dimensionamento.....	11
7.1	Dados de Projeto	11
8.	Memorial de Cálculo.....	12
8.1	Vazões de Afluentes.....	12
8.2	Concentrações e cargas Afluentes.....	13
8.3	Gradeamento	14
8.4	Distribuidor de Vazão	14
8.5	Reator aeróbio com aeração prolongada	15
8.5.1	Volume do Reator	16
8.7.2	Tempo de Detenção Hidráulica.....	16
8.7.3	Relação Alimento/Microrganismo	17
8.7.4	Vazão de Ar necessária	17



8.7.5	Potência do Soprador	19
8.7.6	Produção de Lodo no Reator	20
8.6	Decantador Secundário	21
8.6.1	Tempo de Detenção Hidráulico.....	21
8.7	Adensador de Lodo	22
8.7.1	Vazão média de lodo gerado por dia	23
8.8	Leito de Secagem	23
9.	Dimensionamento ETA.....	23
9.1	Tanque de Equalização.....	24
9.2	Floculador Mecânico.....	24
9.2.1	Relações Dimensionais Impelidores	25
9.2.1	Velocidade Periférica	27
9.2.2	Potência de Agitação	28
9.2.3	Torque do Agitador	29
9.3	Flotador – FAD	30
9.4	Sistema de Microbolha.....	32
9.5	Filtro Camada Dupla	32
10.	Eficiência do Sistema	34
11.	Programa de Monitoramento do Sistema	35
11.1	Dimensionamento reservatório para reuso	35
12.	Operação dos Equipamentos	36
12.1	Procedimentos de Rotina.....	36
12.2	Variáveis para Controle de Processo.....	36
13.	Destinação dos Produtos Finais.....	37
13.1	Destinação Final do Efluente Líquido Tratado	37
13.2	Disposição Final dos Sólidos	37
14.	Referências Bibliográficas	38

2. Objetivo

O presente projeto tem por objetivo apresentar a execução de um sistema de tratamento de esgoto sanitário, contemplando tratamento primário, secundário e terciário.

3. Dados Cadastrais

3.1 Empreendedor

Jeri – 1 EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO SPE LTDA

3.2 Representante Legal do Empreendedor

Manoel Vicente Pereira Neto

CPF: 514.999.162.-72

3.3 Dados do Empreendedor

CNPJ: 33.578.977/0001-40

Endereço: Av. 136 n. 761 Sala B-75 Setor Sul

Cidade: Goiania – GO

3.4 Empreendimento

Jeri Spa Residence 1

Endereço: Rodovia CE 182 s/n – Fazenda Caiçara – Gleba 1

Cidade: Cruz - Ce

3.5 Responsável Técnico pelo Projeto

Engº Rafael Celuppi

CRQ: 13302144 / CREA: 120817-0

4. Fundamentos de Projeto

A Kemia Tratamento de Efluentes é referência em projetos para tratamento de efluentes, esgotos e de água, assim apresenta o projeto de acordo com sua experiência e respeitando as normativas existentes, determinações e padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011 e NBR 12.209/2011.

Para determinação das contribuições de esgotos sanitários e taxas de infiltração na rede foram utilizados os critérios técnicos estabelecidos pelas normas da ABNT.

5. Tratamento Proposto

O tratamento proposto refere-se a uma estação de tratamento de esgoto que contempla os níveis de tratamento primário, secundário e terciário. No tratamento primário o efluente se desloca através de uma elevatória em direção ao tratamento secundário.

No tratamento secundário, o qual é responsável pela redução de cargas, o efluente passa por um processo biológico para posteriormente ser enviado ao tratamento terciário. O último processo de tratamento diz respeito ao polimento final do efluente, passando por floculador, flotador, e por fim, por um sistema de filtração.

5.1 Descrição do Tratamento

O processo de lodo ativado é um processo biológico, onde o esgoto afluente e o lodo ativado são misturados e aerados nas unidades chamadas de Tanques de Aeração, para logo depois serem separados por sedimentação em decantadores secundários. O lodo ativado, separado, retorna ao processo ou é retirado para tratamento específico, enquanto o esgoto já tratado passa para o vertedor do decantador no qual ocorreu a separação.

A recirculação dos sólidos do fundo do decantador para a unidade de aeração é o princípio básico de funcionamento do sistema de lodos ativados. Para que seja mantido o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire a mesma quantidade de biomassa aumentada por reprodução, que é o lodo biológico excedente.

A estação compacta de tratamento de água (ETA) é do tipo convencional, constituída pelas etapas de mistura rápida, floculação, flotação e filtração, que em conjunto asseguram um tratamento eficaz para a remoção de cor, turbidez e materiais em

suspensão, obtendo-se assim água para reuso industrial. Foi concebida para produzir polimento do efluente tratado.

Neste sentido, a estação de tratamento de efluentes Kemia contempla:

- Tratamento Primário:
 - Gradeamento Grosso e médio;
 - Elevatória de Esgoto Bruto;

- Tratamento Secundário:
 - Biorreator Aeróbio;
 - Decantador Secundário;
 - Adensador de Lodo;
 - Leito de Secagem;

- Tratamento Terciário:
 - Tanque de Equalização;
 - Calha Parshall em PRFV 1”
 - Floculador Mecânico;
 - Flotador - FAD;
 - Filtro de areia e carvão;

Os equipamentos produzidos pela Kemia são construídos em polipropileno, oferecendo estanqueidade e inércia química a estação, além de resistência mecânica e resistência a corrosão. Alguns equipamentos são constituídos de PRFV ou PE.

6. Memorial Descritivo

6.1 Gradeamento

O sistema de gradeamento tem como finalidade a retenção dos sólidos grosseiros para que os mesmos não prejudiquem o tratamento subsequente bem como evitam a deteriorização e manutenção das bombas de recalque. A limpeza do gradeamento deve ser realizada diariamente para que o mesmo funcione corretamente. A unidade de gradeamento é constituída por grade média seguida por um segundo gradeamento fino conforme previsto na NBR 12208/92 e 12209/11. Os sólidos retirados devem ser acondicionados em local adequado e enviado para aterro sanitário.

6.2 Estação Elevatória de Esgoto

O efluente chegará até a Estação de Tratamento de Esgoto através de Estações Elevatórias de Esgoto instaladas no loteamento moldadas in loco. Através de sistema de bombeamento será feita a transferência dos líquidos a serem tratados na estação de tratamento.

6.3 Distribuidor de Vazão

O sistema de distribuição será produzido de maneira que possibilite a distribuição equalizada do efluente para todas as etapas de implantação. À medida em que o número de contribuintes no empreendimento for aumentando, é diretamente proporcional a vazão de efluentes que chega na estação de tratamento. Assim, novas etapas de tratamento serão necessárias até que a capacidade máxima da ETE seja atingida.

6.4 Biorreator Aeróbio

Neste tanque ocorre o tratamento aeróbio do efluente. Os microrganismos contidos no efluente utilizam o material orgânico como substância nutritiva, de onde retiram a energia necessária para produzir novas células biológicas, liberando água e CO₂.



As substâncias orgânicas são desta forma, oxidadas e reduzidas em compostos mais simples e inertes

A concentração de oxigênio dissolvido no líquido, indispensável para a atividade bacteriológica, é garantida por um sistema de aeração, composto por um soprador de ar e difusores de ar de membrana elástica, dispostos de forma uniforme no fundo do tanque de Aeração e alimentados ininterruptamente. A função do ar fornecido é oxigenar e assegurar uma mínima turbulência, para que os flocos de microrganismos sejam mantidos em suspensão. O oxigênio dissolvido deverá ser mantido em torno de 1,5 a 2,0mg/L. O tempo de permanência do líquido no compartimento de aeração é longo o suficiente para garantir um tratamento biológico eficaz.

6.5 Decantador Secundário

O decantador secundário tem como principal função sedimentar os sólidos provenientes do reator aeróbio devido a suspensão dos sólidos pela aeração no reator. Sendo assim, o decantador permite que o sobre nadante seja enviado para outros processos de polimento, devido a sua carga reduzida.

Muitos destes sólidos em suspensão que sedimentam no decantador são microrganismos que ajudam na depuração da matéria orgânica. E por definição, há necessidade de recirculação destes sólidos para manter a concentração de microrganismos dentro do reator. A recirculação do lodo é realizada através de bomba de recirculação, sendo que o lodo gerado em excesso, é retirado do decantador e direcionado ao adensador de lodo.

6.6 Adensador de Lodo

O adensamento é um procedimento utilizado para aumentar a concentração de sólidos no lodo pela remoção de uma parcela da fração líquida. O método proposto é o adensamento por gravidade já que é um dos métodos mais comuns utilizados nas estações de tratamento de esgoto, devido a sua facilidade e baixo custo.

6.7 Leito de Secagem

O leito de secagem tem como finalidade a desidratação do lodo, ou seja, a redução da umidade. Consiste basicamente em uma superfície onde um lodo é disposto, para que o mesmo reduza sua porcentagem de umidade naturalmente, ou seja, por evaporação ou escoamento. O lodo seco gerado é descartado manualmente.

6.8 Tanque de Equalização

O tanque de equalização tem como função equilibrar pH e vazão da água, a fim de enviar sempre a mesma vazão para o processo de tratamento. Neste sentido, garante o funcionamento correto e padrão da estação.

6.9 Floculador mecânico

O floculador mecânico tem como finalidade a mistura da água para fornecer um tempo de detenção hidráulica suficiente para a formação de flocos. O floculador contém um conjunto de 3 pás sendo cada uma, em uma câmara virtual diferente. Isso se deve ao fato de que, cada câmara possui um nível de agitação. A câmara inferior é onde possui a

velocidade mais rápida, a fim de promover a mistura. Na câmara intermediária, o nível de agitação é médio com o objetivo de ocorrer a formação de coágulos e, posteriormente, dos flocos. Já na câmara superior, a velocidade é baixa para ocorrer a aglutinação dos flocos, o que irá formar o lodo na etapa seguinte.

6.10 Flotador – FAD

O flotador com ar dissolvido tem por objetivo a separação dos flocos. Essa etapa ocorre com a injeção das microbolhas no flotador que aderem as partículas formadas diminuindo sua densidade e, conseqüentemente, deslocando as mesmas para a superfície do líquido.

A água entra em fluxo ascendente pelo flotador através de um duto transversal, que tem como objetivo forçar o deslocamento das partículas sólidas para a parte superior do equipamento. Neste duto também está presente um difusor de microbolha para ajudar nesse deslocamento.

Na parte superior do equipamento, está instalado um raspador de lodo, que circula fazendo a raspagem, e direcionando o lodo para uma calha. O efluente livre de sólidos se desloca por uma câmara na parte inferior do equipamento, devido a densidade da água tratada ser maior que a de lodo. Então, a água é enviada ao sistema de filtração.

6.11 Filtro de Camada Dupla

O processo de filtração tem por objetivo a remoção de partículas sólidas que foram arrastadas do processo anterior, impurezas, contaminantes microbiológicos além de elementos químicos que oferecem sabor e odor a água. A filtração baseia-se no princípio físico de retenção de partículas através de um meio com baixa granulometria.

O polimento final do efluente será feito por meio de 2 filtros de carvão ativado e antracitoso com fluxo ascendente. O tratamento físico é resultante do peneiramento, onde as partículas são retidas no leito filtrante e o químico se processa pela adsorção de determinados compostos que ainda possam estar presentes no efluente pós-tratado pelo carvão ativado.

7. Dimensionamento

7.1 Dados de Projeto

O empreendimento possuirá em torno de 300 apartamentos, sendo considerado 4 pessoas por apartamento. Neste sentido, a população estimada é de 1200 habitantes com padrão de contribuição de 130 L/pessoa.d.

DADOS	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
População	N	1200	habitantes
Período	P	24	h/d
Contribuição volumétrica <i>per capita</i>	Contrib_Vol	130	L/hab.d

8. Memorial de Cálculo

8.1 Vazões de Afluentes

Vazão média diária estimada:

$$Q_{med} = N \times Contrib_{Vol} + Q_{infiltração}$$

Vazão média horária estimada:

$$Q_{med_h} = \frac{Q_{med}}{P}$$

Vazão máxima diária estimada:

$$Q_{max} = k1 \times k2 \times Q_{med}$$

k1 = 1,2 - Coeficiente de pico diário.

k2 = 1,5 – Coeficiente de pico horário

Portanto, o resumo das vazões utilizadas para o dimensionamento está apresentado na tabela abaixo:

VAZÃO AFLUENTE	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
Vazão média diária	Q _{med}	156	m ³ /d
Vazão média horária	Q _{med_h}	6,5	m ³ /h
Vazão máxima	Q _{máx}	280,8	m ³ /d

8.2 Concentrações e cargas Afluentes

Para as vazões calculadas acima, as concentrações encontradas estão na tabela abaixo:

CONCENTRAÇÃO	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
DBO _{afluyente}	Conc_DBO _a	346,15	mg/L
SS _{afluyente}	Conc_SS _a	380,77	mg/L
NTK _{afluyente}	Conc_NTK _a	38,08	mg/L

$$\text{Carga_DBO}_a = \text{Conc_DBO} \times Q_{\text{méd}} / 1000$$

$$\text{Carga_SS}_a = \text{Conc_SS} \times Q_{\text{méd}} / 1000$$

$$\text{Carga_NTK}_a = \text{Conc_NTK} \times Q_{\text{méd}} / 1000$$

CARGA	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
DBO _{afluyente}	Carga_DBO _a	54	kgDBO/d
SS _{afluyente}	Carga_SS _a	59,4	kgSS/d
NTK _{afluyente}	Carga_NTK _a	5,94	kgNTK/d

Quadro 1 - Parâmetros de entrada e expectativa de saída da ETE

Parâmetro	Unidade	Entrada	Saída
DBO (5,20)	(mg/l)	200 - 400	< 40
DQO	(mg/l)	400 – 800	< 100
OD	(mg/l)	---	>2,0
pH	---	6 – 9	6 - 9
Óleos e graxas	(mg/l)	50 - 150	< 50
Coliformes fecais	(NMP/100m)	10 ⁵ – 10 ⁸	< 10 ³
Cloro residual	(mg/l)	---	> 0,5
Sól. Sedimentáveis	(ml/l)	10 - 20	< 1,0
Nitrogênio	(mg/l)	20 - 40	< 20
Fósforo total	(mg/l)	5 - 15	< 4,0

8.3 Gradeamento

Será previsto um cesto de gradeamento fixado na entrada da elevatória de esgoto bruto. Considerando uma retenção de 0,06 L/m³.d, para um intervalo de limpeza de 5 dias será necessário um cesto com volume aproximado de 300L.

O sistema elevatório (poço de recalque e gradeamento grosseiro), será moldado in loco como mostra a imagem da grade utilizada no sistema de elevatória.



8.4 Distribuidor de Vazão

Nesse caso, a caixa distribuidora de vazão atenderá a 3 reatores aerados. Portanto, os cálculos seguem da seguinte maneira:

$$Q_{max} = \frac{280,8 \text{ m}^3/\text{dia}}{3 \text{ saídas}} = 93,6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 1,1 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Admitindo-se uma velocidade máxima (V_{máx}) de 0,60 m/s quando escoar a vazão máxima, o diâmetro de cada tubo de saída será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_{max}}{\pi \times V_{max}}}$$

$$D = 0,048 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

8.5 Reator aeróbio com aeração prolongada

A tabela abaixo apresenta os parâmetros que serão utilizados no dimensionamento do equipamento.

DADOS AFLUENTES	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
Vazão média diária	$Q_{\text{méd}}$	156	m ³ /d
Vazão média horária	$Q_{\text{méd}_h}$	6,5	m ³ /h
Vazão máxima	$Q_{\text{máx}}$	280,8	m ³ /d
Concentração de DBO	Conc_DBO (So)	346,15	mg/L
Carga de DBO	Carga_DBO	54	kgDBO/d
Concentração de DQO	Conc_DQO	692,3	mg/L
Carga de DQO	Carga_DQO	108	kgDQO/d
Concentração de SS	Conc_SS	380,77	mg/L
Carga de SS	Carga_SS	59,4	kgSS/d
Concentração de NTK	Conc_NTK	38,08	mg/L
Carga de NTK	Carga_NTK	5,94	kgNTK/d
Concentração de SSTA	Xv	3500	mg/L
Idade do lodo	θ	14	d
Coeficiente de produção celular	Y	0,69	gSSV/gDBO
Coeficiente de respiração endógena	kd	0,08	gSSV/gSSV.d
Fração biodegradável	fb	0,62	gSSV

8.5.1 Volume do Reator

Para cálculo do volume do reator, é necessário usar alguns dados de projeto citados acima. O cálculo é realizado a partir da equação abaixo:

$$V_{aeração} = \frac{\gamma \theta c Q_{med} (S_o - S)}{X_v [1 + (k_d f b \theta c)]}$$

$$V_{aeração} = \frac{0,6 \times 14 \text{ dias} \times 156 \frac{m^3}{dia} \times (346,15 - 25 \text{ mg/L})}{3500 \text{ mg/L} [1 + (0,08 \times 0,62 \times 14 \text{ dias})]}$$

$$V_{aeração} = 71 \text{ m}^3$$

Sendo assim, serão adotados 3 reatores de 31,80 m³ cada, fabricados em polipropileno (PP), totalizando 95,55 m³ de capacidade de reação.

8.5.1.1 Dimensões do Reator

As dimensões dos reatores estão dispostas na tabela abaixo:

Reator em Polipropileno		
DIMENSÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
Diâmetro	3,18	m
Comprimento	4	m
Volume total	31,85	m ³

8.7.2 Tempo de Detenção Hidráulica

Para o cálculo de tempo de detenção hidráulica do reator aerado é utilizado a equação abaixo:

$$t_h = \frac{V}{Q_{med}} \times 24$$

$$t_h = \frac{95,55 \text{ m}^3}{156 \text{ m}^3/dia} \times 24 = 14,7 \text{ horas}$$

A idade de lodo aplicado no projeto é de 18 dias classificando-o então como aeração prolongada (VON SPERLING, 1997). O sistema de funcionamento dos reatores será em regime contínuo em paralelo, possibilitando possíveis ampliações do sistema.

8.7.3 Relação Alimento/Microrganismo

A relação Alimento/Microrganismo indica a proporção entre a carga orgânica aplicada no tanque de aeração e a massa de microrganismos presente neste. A relação é calculada pela fórmula abaixo:

$$A/M = \frac{Q_{med} \cdot S_o}{V_{util} \cdot X_v}$$
$$A/M = \frac{156 \frac{m^3}{dia} \times 346,15 \frac{mg}{L}}{95,55 m^3 \times 3500 \frac{mg}{L}} = 0,16$$

8.7.4 Vazão de Ar necessária

Segundo METCALF E EDDY (2016), página 694, a demanda de oxigênio para remoção da matéria carbonácea varia de 0,90 a 1,3 kgO₂/kg de DBO removida. Considerando 1,0 kgO₂/kg de DBO:

$$50,10 \frac{kg \text{ DBO removida}}{dia} = 50,10 \frac{kg O_2}{dia}$$

Para calcular a taxa de transferência de oxigênio máxima no campo:

$$TTO_{campo} \frac{50,10 \frac{kg O_2}{dia}}{24} = 2,0875 \frac{kg O_2}{h}$$

A taxa de transferência de oxigênio padrão a ser empregada no sistema é obtida através do método descrito por Sperling (1997), com os seguintes termos e valores:

Dados	Símbolo	Quantidade	Unidade
Temperatura ambiente	T	27	°C
Taxa de transferência de oxigênio o campo	TTO_{campo}	2,0875	Kg O ₂ /h
Concentração da saturação de oxigênio na água limpa a 20°C	$C_S (20^\circ)$	9,02	mg/L
Concentração da saturação de oxigênio na água na temperatura ambiente	C_S	8,17	mg/L
Concentração de oxigênio mantida no reator	C_L	2	mg/L
Altitude	Alt	22	m
Fator de correção de C_S para altitude (= 1- altitude/9450)	f_H	0,99	-
Fator de correção para presença de sais, matéria particulada e agentes tensoativos	β	0,9	-
Fator de correção levando em consideração as características do esgoto e a geometria do reator	α	0,75	-
Coeficiente de temperatura	θ	1,024	-
Densidade	ρ_{ar}	1,2	Kg/m ³

Portanto, a taxa de transferência de oxigênio padrão é expressa da seguinte maneira:

$$TTO_{padr\tilde{a}o} = \frac{TTO_{campo}}{\frac{(\beta \cdot f_H \cdot C_S - C_L)}{C_S(20^\circ C)} \cdot \alpha \cdot \theta^{T-20}}$$

$$TTO_{padr\tilde{a}o} = \frac{2,0875}{\frac{(0,9 \cdot 0,99 \cdot 8,17 - 2)}{9,02} \cdot 0,75 \cdot 1,024^{27-20}}$$

$$TTO_{padr\tilde{a}o} = 4,03 \frac{kg \ O_2}{h}$$

A vazão de ar necessária é:

$$Q_{ar} = \frac{TTO_{padr\tilde{a}o}}{(\rho_{ar} \times 0,23 \times 60)}$$

$$Q_{ar\ te\acute{o}rico} = \frac{4,03 \frac{kg\ O_2}{h}}{(1,2 \frac{kg}{m^3} \times 0,21 \times 60)} = 0,3 \frac{m^3 ar}{min}$$

Para calcular a vazão de ar real do processo, é necessário conhecer a eficiência do difusor. Portanto, a vazão de ar real, necessária para o projeto:

$$Q_{ar\ real} = \frac{Q_{ar\ te\acute{o}rico}}{efici\ência\ do\ difusor} = \frac{0,3 \frac{m^3 ar}{min}}{0,11} = 2,72 \frac{m^3 ar}{min}$$

Considerando vazão de ar de 0,11 m³/min por difusor de membrana, serão necessários 24 difusores. Serão instalados 9 difusores em cada reator, totalizando 27 difusores.

8.7.5 Potência do Soprador

Segundo Von Sperling, pg 143, A potência do soprador pode ser expressa em termos da vazão de ar e da pressão a ser vencida, através da equação:

$$P = \frac{Q_g \cdot p \cdot g (d_i + \Delta h)}{\eta}$$

Onde:

P = potência requerida (W);

p = peso específico (1000Kg/m³);

g = aceleração da gravidade (9,8m/s²);

d_i = profundidade de imersão dos difusores (m);

Δh = perda de carga no sistema de distribuição de ar (m);

Q_g = Vazão de ar (m³/s);

η = Eficiência do motor e do soprador;

$$P = \frac{0,045 \frac{m^3}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} (4 + 1)m}{0,75}$$

$$P = 2,9 \text{ kW}$$

8.7.6 Produção de Lodo no Reator

Segundo Sperling (1997), para reatores de aeração o coeficiente de produção de lodo excedente em relação a carga de DBO removida é:

$$\frac{SS}{DBO \text{ aplicada}} = \frac{1,02 \text{ kgSS}}{\text{kg de DBO removida}}$$

Neste sentido, a produção de lodo no reator (P):

$$P = 51,102 \frac{kg \text{ SS}}{\text{dia}}$$

A concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração, é obtida a partir das equações:

$$SSTA = \frac{SSVTA}{\left(\frac{SSV}{SS}\right)}$$

O dado de SSVTA é assumido, sendo que para aeração prolongada o mesmo deve estar entre 2500 a 4000 mgSSV/L. O denominador da equação também é assumido a partir de literaturas. Neste sentido:

$$SSTA = \frac{3500 \frac{mg}{L}}{0,69} = 5072,46 \frac{mg \text{ SS}}{L}$$

Segundo Sperling (1997), a concentração de lodo aeróbio excedente é a mesma do lodo de recirculação. A concentração de lodo de recirculação (SSLR) é obtida pela seguinte equação:

$$SSLR = SSTA \times \left(1 + \frac{1}{R}\right)$$

Sabendo que R=1:

$$SSLR = 5072,46 \frac{mg}{L} \times (1 + 1)$$

$$SSLR = 10144,92 \frac{mg}{L}$$

Portanto, a vazão de lodo a ser retirada por dia do reator, é demonstrada através da equação a seguir:

$$Q_{ex} = \frac{V \times SSVTA}{\theta \times SSLR} = \frac{95,55 \text{ m}^3 \times 3500 \text{ mg/L}}{18 \text{ dias} \times 10144,92 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 1,83 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Na prática com o monitoramento do sistema, esta vazão poderá ser diminuída, resultando em um volume removido mais baixo e mais concentrado em direção ao adensador.

8.6 Decantador Secundário

Para sistema de lodo ativado com aeração prolongada, a taxa de aplicação superficial (TAS) de decantação deverá ser $\leq 28 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. Sendo assim, a área superficial de decantação (A_{dec}):

$$A_{dec} = \frac{Q_{med}}{TAS} = \frac{156 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{22 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{dia}}}$$

$$A_{dec} = 7,1 \text{ m}^2$$

Portanto, serão instalados 1 decantador de 3,18 m de diâmetro, resultando em uma área superficial unitária de $7,94 \text{ m}^2$ e volume de $31,8 \text{ m}^3$.

8.6.1 Tempo de Detenção Hidráulico

Segundo a NBR 12209/11, no decantador final, o tempo de detenção hidráulica, relativo à vazão média, deve ser igual ou superior a 1,5 h. Neste sentido:

$$TDH = \frac{V_{\text{útil}}}{Q_{med}} \times 24 = \frac{31,8 \text{ m}^3}{156 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}} \times 24 = 4,9 \text{ h}$$

O tempo de detenção no decantador secundário se apresenta maior do que o sugerido pela norma e devido a esse alto tempo, ainda ocorrem reações biológicas, principalmente de remoção de nitrogênio. Neste sentido, boa parte desse tempo é ainda utilizado para remoção de carga orgânica, podendo ser adicionado ao tempo de detenção hidráulica do reator.

O decantador secundário possui forma circular, de escoamento radial a partir de alimentação central e vertedor periférico. Na borda do vertedor, um defletor para retenção de espuma é destinado à prevenção do arraste de sólidos.

DIMENSÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
Diâmetro útil	3,18	m
Comprimento	4	m
Volume total	31,8	m ³

8.7 Adensador de Lodo

Segundo NBR 12209/11 a taxa de aplicação de sólidos (TAH) deve ser menor que 30 kgSS/m².d para o adensador de lodo:

$$A = \frac{51,102 \frac{kgSS}{dia}}{30 \frac{kgSS}{m^2 dia}} = 1,7 m^2$$

Comercialmente, será utilizado 1 adensador de 10 m³. As dimensões do adensador estão apresentadas na tabela abaixo.

DIMENSÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
Diâmetro sup.	2,65	m
Diâmetro inf.	2,00	m
Altura	2,76	m
Volume total	10	m ³
Volume útil	10	m ³

8.7.1 Vazão média de lodo gerado por dia

Segundo Von Sperling (1997) a concentração de lodo adensado (C) varia de 2 a 3 %. Nesse caso, utilizou-se a concentração de 3%. Sendo assim, calculou-se a vazão média de lodo gerado por dia, através das equações abaixo:

$$Q_{\text{méd L}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\rho_{\text{lodo}} \times C} = \frac{P}{\rho_{\text{lodo}} \times C} = \frac{51,102 \frac{\text{kg SS}}{\text{dia}}}{1,030 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 0,03} = 1653,8 \frac{\text{L}}{\text{dia}}$$

8.8 Leito de Secagem

A área do leito de secagem é calculada pela equação abaixo, sendo que o tempo de ciclo de operação é de 5 dias, e a taxa de aplicação de sólidos (TAS) é de 15 kgST/m².

$$ALS = \frac{P_{\text{lodo}} \times \text{tempo do ciclo}}{TAS} = \frac{51,102 \frac{\text{kg SS}}{\text{dia}} \times 5 \text{ dias}}{15 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2}} = 17,034 \text{ m}^2$$

Será adotado 2 leitos de secagem com dimensões de 2,92 m x 2,92 m com área superficial de 17,05 m².

9. Dimensionamento ETA

A ETA dimensionada abaixo será utilizada como polimento para o tratamento anterior, a fim de atender parâmetros mais restritivos. A tabela abaixo apresenta as vazões que serão utilizadas.

VAZÃO AFLUENTE	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
Vazão média de projeto	$Q_{\text{méd}_h}$	6,5	m³/h
Vazão máxima de projeto	$Q_{\text{máx}}$	11,7	m³/h



9.1 Tanque de Equalização

Através da equação abaixo, podemos definir o volume do tanque de equalização:

$$t = \frac{V}{Q_{méd}}$$

Onde:

t = tempo de detenção hidráulica (adotado 40 min);

V = volume do Floculador

Q = vazão afluyente (m³/d);

$$40 \text{ min} = \frac{V}{0,11 \text{ m}^3/\text{h}} = 4,4 \text{ m}^3$$

Será adotado 1 tanque de equalização de 10 m³, fabricado PP.

9.2 Floculador Mecânico

Através da equação abaixo, é possível determinar o volume do floculador e, posteriormente, as relações dimensionais dos impelidores:

$$V = t \times Q$$

$$V = 40 \text{ min} \times 0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 4,4$$

Onde:

t = tempo de detenção hidráulica (adotado 40min);

V = volume do Floculador

Q = vazão afluyente (m³/min);

Será adotado 1 floculador de fluxo pistão ascendente, com 3 câmaras virtuais e 3 pás. As dimensões estão apresentadas na tabela abaixo.

Floculador de Polipropileno		
Dimensão	Quantidade	Unidade
Diâmetro	1,27	m
Altura	4	m



9.2.1 Relações Dimensionais Impelidores

A imagem abaixo ilustra a relação das dimensões do impelidor dentro do floculador, bem como as equações para o cálculo de dimensão das pás.

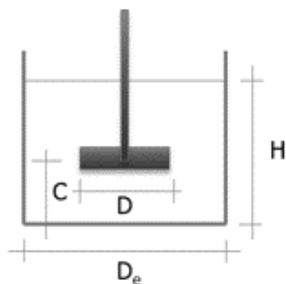


Figura 01. Relações Dimensionais do Floculador

$$\frac{D}{De} = 0,3 \text{ a } 0,6$$

$$\frac{C}{H} = 0,33 \text{ a } 0,5$$

9.2.1.1 A área do plano (Ap)

$$Ap = \frac{H}{C} \times De$$

Onde:

H = Altura do floculador

C = Número de câmaras

De = Diâmetro do floculador

9.2.1.2 Area da paleta

$$Apaleta = h \times l$$

Onde:



h = Altura da pá

l = Comprimento da pá

9.2.1.3 Relação área paleta / área plano

$$\frac{A_{paleta}}{A_p} \leq 0,2$$

Onde:

A_p = Área do plano da paleta

A_{paleta} = Área da paleta

Portanto, a relação de dimensões das pás para esse projeto, está apresentada na tabela abaixo:

Dimensões Pás			
	Dimensão	Quantidade	Unidade
Pá 1	Altura	0,15	m
	Comprimento	0,5	m
Pá 2	Altura	0,12	m
	Comprimento	0,35	m
Pá 3	Altura	0,1	m
	Comprimento	0,25	m

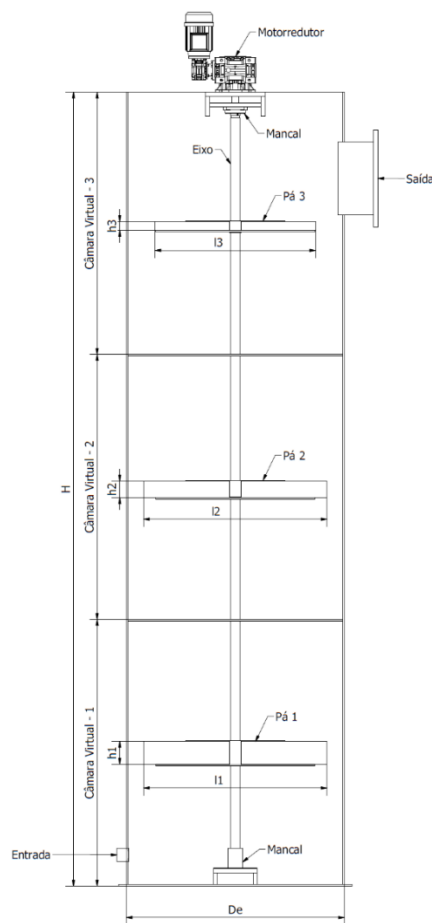


Figura 02. Relações Dimensionais do Floculador e Impelidor.

9.2.1 Velocidade Periférica

Através da equação abaixo, define-se a rotação dos motores do sistema de agitação, a partir da relação de diâmetro do rotor (D), é possível encontrar as rotações por segundo (n):

$$V_p = \pi \times D \times n$$

Onde:

V_p = Velocidade periférica (m/s);

D = diâmetro do rotor;(m)

n = rotações por segundo;(rps)



A velocidade periférica máxima das câmaras virtuais dos flocladores deve estar compreendida entre 2 a 3 m/s:

Velocidades		
Floculador	Quantidade	Unidade
Rápido	1,60	m/s
Médio	1,28	m/s
Lento	0,70	m/s

Portanto, fixou-se as velocidades periféricas para encontrar a rotação do sistema, sendo que o cálculo segue igual para todas as velocidades:

$$1,60 \frac{m}{s} = \pi \times (0,5m) \times n$$

$$n = 1 \text{ rps} = 60 \text{ rpm}$$

9.2.2 Potência de Agitação

A potência do agitador é definida através da seguinte equação:

$$Pot = Kt \times \rho \times n^3 \times D^5$$

Onde:

Kt = em função do tipo de hélice;

ρ = densidade do líquido (Kg/m^3);

n = rotações/segundo (rps);

D = diâmetro do rotor (m);

A tabela abaixo apresenta alguns dos valores de kt , pra diferentes agitadores, sendo que para pás planas (dimensionadas para esse equipamento) o kt se encontra em 36,5.



Tipo de rotor	Valor de K_T
Hélice propulsora marítima (3 hélices)	0,87
Turbina (seis palhetas retas)	5,75
Turbina (seis palhetas curvas)	4,80
Turbina com quatro palhetas inclinadas a 45°	1,27
Turbina com quatro palhetas inclinadas a 32°	1,0 a 1,2
Turbina com seis palhetas inclinadas a 45°	1,63

Tabela 01. Valores de k_t .

$$Pot = 36,5 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 1^3 \times 0,5^5$$

$$P = 1,14 kW$$

Portanto, a potência calculada é teórica, e é ajustada através de tabelas comerciais para compatibilizar com os motoredutores fabricados no mercado, sendo que são utilizados padrões de impelidores e velocidades nos projetos realizados.

9.2.3 Torque do Agitador

Deve-se também ajustar o torque com o motor escolhido. Para isso, o torque do agitador é obtido através da equação abaixo, utilizando a potência escolhida (Pot) com o rps calculado, bem como um fator de segurança (fs) escolhido:

$$Torq = \frac{712,6 \times Pot \times fs}{rps}$$

Onde:

Torq = N.m

Pot = Potencia do sistema de agitação (W);

fs = fator de segurança; (1,25)

rps = rotações/segundo (rps);

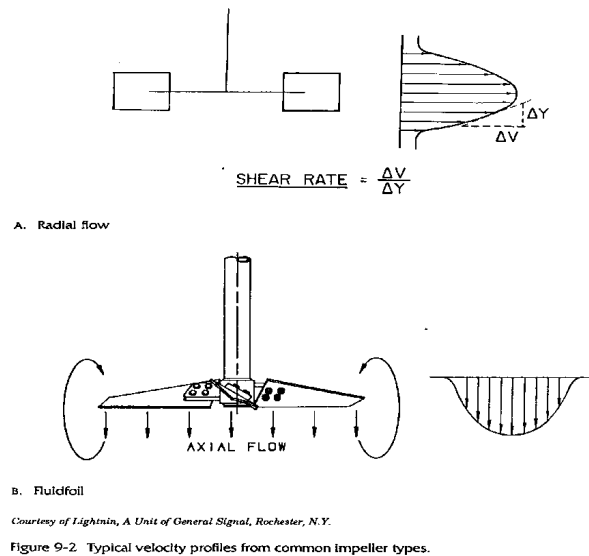


Figura 03. Perfil Hidráulico Impelidores.

9.3 Flotador – FAD

Para realizar o dimensionamento do flotador a ar dissolvido é necessário a utilização de uma taxa de aplicação (TAH) que varia de 180 a 240 m³/m². dia e as vazões medias (Q_{med}) e vazão máxima (Q_{max}), para calcular a área superficial de flotação:

$$A_{st} = \frac{Q_{med} + Q_{\frac{1}{3}med}}{TAH}$$

$$A_{st} = \frac{156 \frac{m^3}{dia} + 52 \frac{m^3}{dia}}{210 \frac{m^3}{m^2 dia}} = 1 m^2$$

Onde:

A_{ST} = Área superficial;

TAH = Taxa de aplicação; (180 a 240m³/m².dia);

Q_{Med} = vazão média afluyente;

Q_{Max} = vazão máxima afluyente

Para assumir um flotador fabricado comercialmente, adotou-se as seguintes dimensões:

Flotador de Polipropileno		
Dimensão	Quantidade	Unidade
Diâmetro	1,27	m
Comprimento	4	m
Área Superficial Total	1,27	m ²

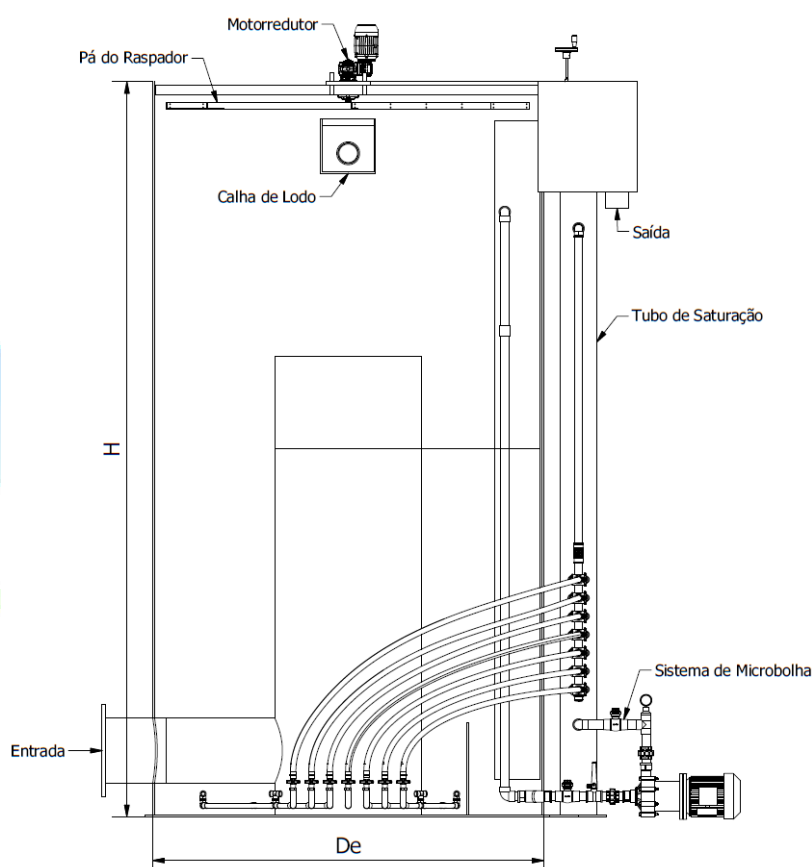


Figura 04. Flotador FAD.

9.4 Sistema de Microbolha

Para realizar a aeração será utilizado um sistema de microbolha. Para determinação da vazão necessária para o sistema de saturação de ar dissolvido, considera-se as configurações a seguir, sendo a pressão de operação entre 5 a 6 bar.

$$Q_{microbolha} = \frac{1}{3} \times Q_{max}$$

9.5 Filtro Camada Dupla

Para realizar o dimensionamento também deve ser calculada a área superficial requerida para aplicação hidráulica. Deve ser utilizada uma taxa de aplicação (TAH), considerada 90m³/m².dia:

$$A_{st} = \frac{Q_{med}}{TAH}$$

Onde:

A_{ST} = Área superficial;

TAH = Taxa de aplicação; (90m³/m².dia);

Q = vazão afluyente:(m³/dia);

$$A_{st} = \frac{156 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}}{90 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}} = 1,73 \text{ m}^2$$

Neste sentido, serão adotados 2 filtros nas seguintes dimensões:

Filtro de Polipropileno		
Dimensão	Quantidade	Unidade
Diâmetro	1,27	m
Comprimento	3	m
Área Total	2,53	m ²

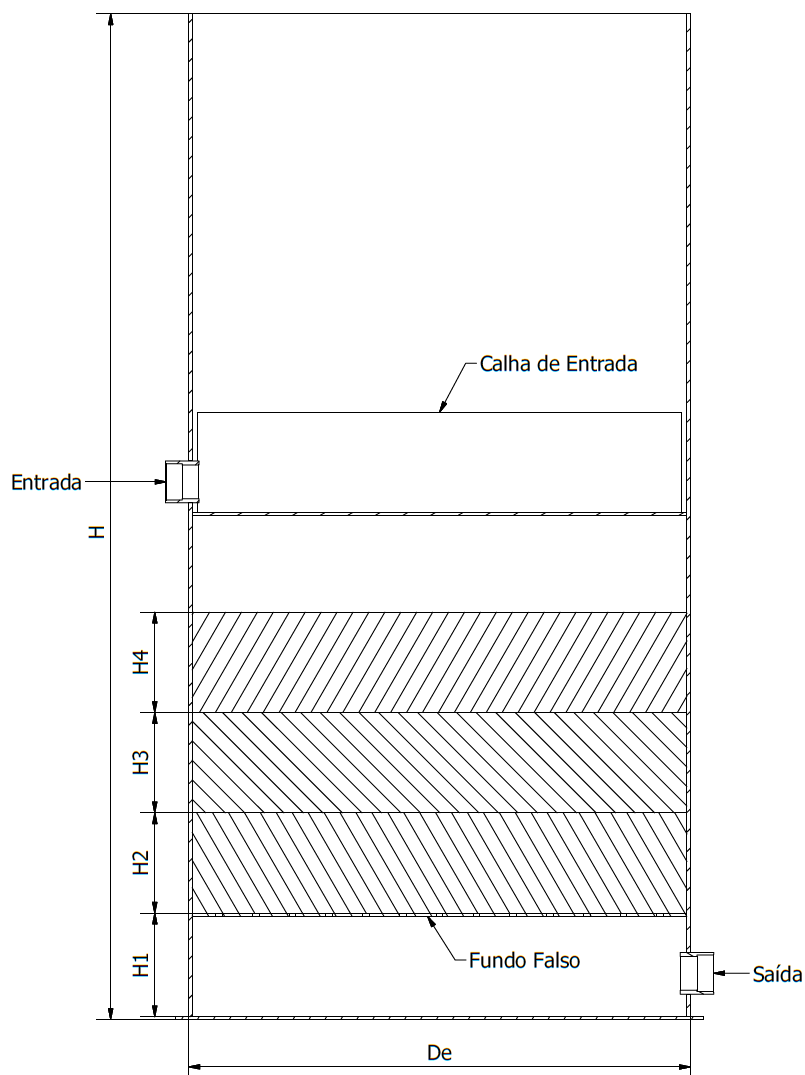


Figura 05. Filtro de camada dupla



10. Eficiência do Sistema

A expectativa de concentração de saída para o sistema de tratamento de esgoto é:

DADOS	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
DBO	S _{DBO}	25	mg/L
DQO	S _{DQO}	60	mg/L
SS	S _{SS}	60	mg/L

$$\eta = (S_0 - S) / S_0 \times 100$$

DADOS	SÍMBOLO	QUANTIDADE	UNIDADE
DBO	η DBO	92,8	%
DQO	η DQO	91	%
SS	η SS	84	%

11. Programa de Monitoramento do Sistema

O Programa de monitoramento ambiental do Sistema de Tratamento de Esgotos compreenderá a execução de análises físico-químicas e bacteriológicas de efluentes líquidos e controle de disposição final de resíduos sólidos.

Os cálculos demonstrados anteriormente são teóricos podendo os valores de eficiência do sistema real divergirem dos resultados teóricos. Para efeito de monitoramento os valores dos parâmetros no final do sistema devem ser inferiores aos estipulados no Quadro abaixo.

Parâmetros		
Descrição	Limite	Unidade
DBO	120 ¹	mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20	mg/L
Materiais Sedimentáveis	1,0	mL/L
Óleos e graxos	50	mg/L
Temperatura	40	°C
pH	5 a 9	
Cloro residual	0,5	mg/L
Coliformes fecais	500	NMP/100 mL

¹ Ou redução de 60%.

Fonte: CONAMA 430/11; NBR 13969/97.

11.1 Dimensionamento reservatório para reuso

O tempo de detenção hidráulico do reservatório de reuso deve ser pré estabelecido para no mínimo um dia (1 hora) de efluente tratado. O cálculo do t_{dh} abaixo demonstra que o reservatório de reuso terá capacidade para uma hora e meia de armazenamento.

$$TDH = \frac{8,40m^3}{156 \frac{m^3}{dia}} \times 24 = 1,30 \text{ horas}$$

O controle de vazão para a distribuição do efluente tratado para o reuso será feito

utilizando dois hidrômetros, o primeiro na saída do efluente tratado que será enviado para o reservatório de reuso e o segundo e terceiro na saída do reservatório de reuso.

12. Operação dos Equipamentos

12.1 Procedimentos de Rotina

- Limpeza do pré-tratamento;
- Verificação do funcionamento das bombas;
- Remoção da espuma nos tanques de tratamento;
- Verificação do nível dos produtos químicos;

12.2 Variáveis para Controle de Processo

- Vazão de recalque;
- Vazão de aeração;
- Vazão de recirculação;
- Vazão de lodo excedente;
- Dosagem de cloro;

Mais informações sobre a manutenção e operação está disposto no memorial de manutenção e operação específico da estação de tratamento de esgoto.

13. Destinação dos Produtos Finais

A NBR 13.969/97, estabelece alternativas para a disposição final do efluente, de acordo com as características encontradas na região.

O lançamento dos efluentes finais pode acontecer em corpos d'água apropriados (rios classe II), rede pública ou mesmo sumidouro.

13.1 Destinação Final do Efluente Líquido Tratado

A disposição final do efluente tratado para esta ETE será corpo receptor.

13.2 Disposição Final dos Sólidos

Os sólidos gerados no tratamento deverão ser enviados para disposição final em aterros sanitários.

14. Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação.** Rio de Janeiro, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4 ed. Rio de Janeiro, 2005.

METCALF AND EDDY INC. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5. Porto Alegre AMGH 2016 1 recurso online ISBN 9788580555240.

VON SPERLING, M., **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. v. 1. 3 ed. DESA – UFMG: Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** Lodos ativados. V. 4. 2 ed. DESA - UFMG. Minas Gerais, 1997.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Princípios básicos do tratamento de esgotos. v. 2. 1 ed. DESA-UFMG: Minas Gerais, 1996.