

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAELLA DE ALMEIDA CASTRO

**MONITORAMENTO DE EFLUENTES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA E AMBIENTAL.**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Niterói
2022

RAFAELLA DE ALMEIDA CASTRO

**MONITORAMENTO DE EFLUENTES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS – UMA ABORDAGEM SISTÊMICA E AMBIENTAL.**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof. Paulo Luiz da Fonseca, D.Sc

Niterói
2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

C355m Castro, Rafaella de Almeida
MONITORAMENTO DE EFLUENTES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS : UMA ABORDAGEM SISTÊMICA E AMBIENTAL. / Rafaella de
Almeida Castro ; Paulo Luiz da Fonseca, orientador. Niterói,
2022.
68 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2022.

1. Saneamento básico. 2. Esgotamento sanitário. 3.
Monitoramento de efluentes. 4. Estação de Tratamento de
Esgoto. 5. Produção intelectual. I. Fonseca, Paulo Luiz da,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDD -

RAFAELLA DE ALMEIDA CASTRO

MONITORAMENTO DE EFLUENTES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA E AMBIENTAL.

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado em 09 de fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Paulo Luiz da Fonseca, Orientador, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Renata Gonçalves Faisca, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

Prof. Elson Antonio do Nascimento, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Niterói
2022

DEDICATÓRIA

*“Cê vai atrás desse diploma
Com a fúria da beleza do Sol, entendeu?
Faz isso por nós
Faz essa por nós (vai)
Te vejo no pódio”.*

Emicida

A todos os jovens brasileiros que não tiveram boas oportunidades de estudo, e que assim como eu sonham com um futuro melhor para o país fundamentado na educação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Andreia e Ricardo, por sempre me mostrarem que o estudo é o caminho a ser seguido, e por não medirem esforços para garantir com que desde cedo eu nunca me desviasse dele.

Ao meu irmão Rennan, por ter sido meu companheiro de vida até aqui e me apoiado do seu jeito único, servindo de exemplo e motivando os meus sonhos.

À Associação Atlética Pio Orlando, por ter sido a grande responsável pela minha permanência na faculdade, por me introduzir a um universo tão lindo como o do esporte, e por me apresentar uma modalidade que se tornaria a minha paixão: o cheerleading.

Aos meus colegas de curso Max, Fabio, Carol e Iasmim; ao Diretório Acadêmico de Engenharia Civil – DAEC UFF, por ter me apresentado pessoas incríveis durante a minha gestão e ao longo da graduação; e aos amigos que eu fiz nessa trajetória: Secca, Steph, Leo, Ana Clara e Anna.

Ao meu companheiro Yann, por ter me acompanhado ao longo do processo de elaboração deste trabalho, pelo suporte e pelas tentativas quase bem-sucedidas de diminuir o meu estresse.

Por fim, ao meu orientador Paulo, por ter acreditado no meu potencial e me apoiado desde o primeiro momento.

RESUMO

O saneamento básico é um tema de grande relevância para a sociedade brasileira, visto que está atrelado diretamente com a questão da preservação do meio ambiente e a manutenção da vida. Apesar da notória evolução da tecnologia na área, o Brasil ainda apresenta índices esdrúxulos no que tange ao nível de atendimento de sua população, tanto em relação à coleta de esgoto quanto ao tratamento dos efluentes. Essa lacuna se torna ainda mais evidente na ponderação do quesito saúde pública, de modo que no Brasil doenças de veiculação hídrica ainda representam a causa de milhares de internações e óbitos por ano. O presente trabalho apresenta os conceitos básicos em esgotamento sanitário, desde as concepções iniciais de coleta e dimensionamento de redes; passando pelas características dos efluentes domésticos e suas classificações; as diferentes metodologias aplicadas no tratamento de efluentes; até os parâmetros monitorados e as legislações praticadas no controle do lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos.

Palavras-chave: saneamento básico, esgotamento sanitário, monitoramento de efluentes, estação de tratamento de esgoto

ABSTRACT

Basic sanitation is a great relevance topic for Brazilian society, once it is directly linked to the issue of preserving the environment and maintaining life. Despite the notorious evolution of technology in the area, Brazil still presents anomalous rates regarding the level of service to its population, both related to sewerage collection and the treatment of effluents. This gap becomes even more evident when considering the public health issue, so that in Brazil, waterborne diseases still represent the cause of thousands of hospitalizations and deaths per year. The present work presents the basic concepts in sanitary sewage, from the initial conceptions of collection and systems dimensioning; passing through the characteristics of domestic effluents and their classifications; the different methodologies applied in the treatment of effluents; to the parameters monitored and the legislation in place to control the disposal of treated effluents into water bodies.

Keywords: basic sanitation, sanitary wastewater, effluent monitoring, wastewater treatment plant

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: ODS 6 no Brasil.	16
Figura 2: Tipologia dos efluentes e constituição dos esgotos.	20
Figura 3: Sistema separador.	22
Figura 4: Ligação predial ou ramal de esgoto.	23
Figura 5: Posições para locação dos coletores.	23
Figura 6: Coletores de esgoto.	24
Figura 7: PV em aduelas de concreto armado pré-moldado.	25
Figura 8: TIL em alvenaria e em aduelas pré-moldadas de concreto.	26
Figura 9: Terminal de Limpeza (TL).	26
Figura 10: PV em alvenaria, com tubo de queda.	27
Figura 11: Sifão invertido. Planta e Corte.	28
Figura 12: Elevatória convencional de poço úmido - conjunto motor-bomba submerso. Corte.	29
Figura 13: Fluxograma típico do tratamento preliminar.	40
Figura 14: Modelo de equipamento de pré-tratamento compacto.	41
Figura 15: Esquema de um decantador primário circular.	42
Figura 16: Sistema fossa-filtro.	44
Figura 17: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa.	44
Figura 18: Fluxograma típico do sistema CEPT.	45
Figura 19: Seção típica de um filtro biológico percolador e seus componentes.	46
Figura 20: Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional.	47
Figura 21: Fluxograma de um sistema de aeração prolongada.	48
Figura 22: Biobob®, exemplo de suporte para imobilização de biomassa.	48
Figura 23: Esquema ilustrativo de um Reator UASB.	49
Figura 24: ETE Barra da Tijuca, Rio de Janeiro – RJ.	50
Figura 25: ETE Arrudas, Belo Horizonte – MG.	51
Figura 26: ETE Itaipu, Niterói – RJ.	51
Figura 27: Procedimento de cadastro do RAE.	61

Figura 28: Seleção do ponto de controle.....	61
Figura 29: Confirmação dos dados iniciais.....	62
Figura 30: Preenchimento dos parâmetros do efluente.....	62
Figura 31: Preenchimento das informações referentes aos laboratórios.....	63
Figura 32: Preenchimento das informações finais.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do consumo médio per capita de água (IN022).	30
Tabela 2: Valores dos coeficientes n de Manning.....	34
Tabela 3: : Equações obtidas para a declividade de modo a garantir tensão trativa maior ou igual a 1,0 Pa.....	34
Tabela 4: Níveis do tratamento dos esgotos e seus objetivos de remoção.	40
Tabela 5: Eficiências típicas de diversos sistemas na remoção da DBO.	54
Tabela 6: Eficiência de remoção para dimensionamento da unidade de tratamento.....	59

LISTA DE SÍMBOLOS OU NOMENCLATURA

OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NOP	Norma Operacional Padrão
PV	Poço de Visita
TIL	Terminal de Inspeção e Limpeza
TL	Terminal de Limpeza
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
CEPT	<i>Chemically Enhanced Primary Treatment</i> (Tratamento Primário Quimicamente Assistido)
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
MBBR	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (Reator de Leito Móvel com Biofilme)
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
MBAS	Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.2. OBJETIVO GERAL	18
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. METODOLOGIA	19
2. COLETA E TRANSPORTE DE ESGOTO SANITÁRIO	20
2.1. SISTEMAS DE ESGOTAMENTO	21
2.2. COMPONENTES DO SISTEMA	22
2.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	29
2.3.1. <i>Estudos preliminares</i>	29
2.3.2. <i>Traçado dos coletores</i>	29
2.3.3. <i>Definição da vazão de projeto esgotos</i>	30
2.3.4. <i>Hidráulica dos coletores de esgoto</i>	33
2.3.5. <i>Memorial Descritivo</i>	37
3. TRATAMENTO DE EFLUENTES	38
3.1. CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS	38
3.2. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	38
3.2.1. <i>Processos físicos</i>	39
3.2.2. <i>Processos químicos</i>	39
3.2.3. <i>Processos biológicos</i>	39
3.2.4. <i>Tratamento avançado</i>	39
3.3. NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	39
3.3.1. <i>Preliminar</i>	40
3.3.2. <i>Primário</i>	42
3.3.3. <i>Secundário</i>	42
3.3.4. <i>Terciário</i>	43
3.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	43
3.4.1. <i>Fossa séptica e filtro anaeróbio</i>	43
3.4.2. <i>Lagoas de estabilização</i>	44
3.4.3. <i>Tratamento Primário Quimicamente Assistido - CEPT</i>	45
3.4.4. <i>Filtros biológicos</i>	46
3.4.5. <i>Lodos ativados</i>	47
3.4.6. <i>Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente - RAFA</i>	49
3.5. EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO	50
3.6. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	50
4. MONITORAMENTO DE EFLUENTES	52
4.1. PARÂMETROS	52
4.1.1. <i>Temperatura</i>	52
4.1.2. <i>pH</i>	53
4.1.3. <i>Oxigênio dissolvido (OD)</i>	53
4.1.4. <i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	53
4.1.5. <i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	54
4.1.6. <i>Óleos e graxas (O&G)</i>	54
4.1.7. <i>Sólidos Totais</i>	55

4.1.8.	<i>Substâncias Tensoativas que Reagem ao Azul de Metileno (MBAS)</i>	55
4.1.9.	<i>Nitrogênio Total</i>	55
4.1.10.	<i>Fósforo</i>	56
4.2.	LEGISLAÇÃO	56
4.2.1.	<i>CONAMA no 357</i>	57
4.2.2.	<i>CONAMA no 430</i>	57
4.2.3.	<i>Lei no14.026/2020</i>	58
4.2.4.	<i>DZ-942.R-7</i>	58
4.2.5.	<i>NT.202.R10</i>	59
4.2.6.	<i>DZ-215.R04</i>	59
4.2.7.	<i>NOP-INEA-45</i>	59
4.3.	RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE EFLUENTES – RAE	60
5.	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), define-se saneamento básico como o controle de fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o seu bem-estar físico, mental e social. Portanto, o debate acerca da temática surge como essencial para a proteção da saúde pública e do meio ambiente.

O surgimento das civilizações teve como fator determinante o acesso e a exploração dos recursos naturais, destacando-se a água, que orientou a formação dos primeiros aglomerados humanos. A medida que essas comunidades cresceram e se consolidaram, foram revelados os impactos causados pela poluição e resíduos gerados, assim as histórias da sociedade e do saneamento, desde seus primórdios, caminham lado a lado.

A evolução do saneamento foi pautada em uma série de práticas e técnicas desenvolvidas ao longo dos anos. Ainda na Idade Antiga (anos 4000 a.C. a 476 d.C.) um pensador grego chamado Hipócrates apresentou as primeiras teorias relacionando água suja e acúmulo de lixo à disseminação de doenças. Surgiram as práticas de enterrar as fezes e sistemas primitivos para promover o afastamento dos excrementos das residências, os sistemas de irrigação abastecimento de água.

A idade média (anos 476 d.C. a 1453 d.C.), marcada por guerras e quedas de civilizações, também foi caracterizada por uma estagnação do desenvolvimento das técnicas sanitárias. Os conhecimentos da época adquiridos sobre hidráulica, saneamento e gestão de resíduos ficaram arquivados com a queda de Roma, e isso contribuiu para proliferação em massa de doenças como cólera, tifo, lepra, e a peste negra que dizimou grande parte da população mundial.

Após um longo período de retrocesso, o surgimento da Idade Moderna (anos 1453 d.C. a 1789 d.C.) trouxe novas tecnologias de abastecimento de água e coleta de esgotos, como a medição de velocidade de escoamento e das vazões, execução de grandes obras de aquedutos, início da fabricação de tubos de ferro fundido, e as invenções da bomba centrífuga e do vaso sanitário.

A idade Contemporânea, que corresponde ao período de 1790 d.C. até os dias de hoje, é responsável pela consolidação do saneamento como um conjunto de infraestruturas e serviços, assim como conhecemos atualmente. Além do avanço tecnológico, decorreu a ascensão das legislações e regimentos estabelecendo diretrizes para o saneamento básico.

O saneamento se faz profundamente presente na manutenção da saúde e qualidade de vida em nossa sociedade, e foi reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), no ano de 2010, como “direito humano essencial”, sendo listado entre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Trata-se de uma agenda composta por objetivos a serem alcançados até o ano de 2030, definidos por metas bem estruturadas e monitoradas por meio de indicadores que sinalizam o avanço da sociedade global em relação a esses objetivos.

A ODS 6, intitulada “Água Limpa e Saneamento” e tem como objetivo assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável de água e saneamento para todas e todos. Sua importância se deve ao fato de estar integrado com outros objetivos, representados na Figura 1. É composta por 8 metas e monitorada por 11 indicadores, cenário no qual destaca-se a meta 6.2 que visa à universalização da coleta e tratamento de esgotos dos países.



Figura 1: ODS 6 no Brasil.

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

O principal indicador utilizado para monitoramento da meta 6.2 leva em consideração o índice de tratamento de esgoto (em valor percentual, representado pelo código IN026), a proporção da população residente em domicílios com rede geral ou fossa séptica ligada à rede, e a proporção da população residente em domicílios com fossa séptica não ligada à rede coletora. O objetivo é mensurar a parcela da população que utiliza serviços de esgotamento sanitário e de instalações sanitárias com critérios adequados de segurança quanto aos hábitos de higiene (ANA, 2019).

O ciclo do saneamento é definido por uma série de etapas bem definidas, que consistem na captação de água, seguida pelo tratamento do recurso a fim de torna-lo seguro para a distribuição e utilização pela população. O esgoto gerado pelas aplicações deve ser coletado e direcionado para receber o devido tratamento, onde receberá os cuidados para que o efluente possa ser devolvido aos mananciais. Quando uma ou mais etapas desse ciclo não são desempenhadas corretamente, sobrevêm consequências que podem levar à contaminação do meio.

Um sistema de saneamento básico ineficiente pode afetar diretamente a saúde dos indivíduos, e seu principal efeito se dá principalmente por meio das chamadas doenças de veiculação hídrica, que são aquelas causadas por substâncias e micro-organismos prejudiciais transportados pela água, como o exemplo da leptospirose, hepatite A e cólera.

Segundo pesquisa realizada pelo DATASUS, no ano de 2019 foram registradas no Brasil mais de 273 mil internações em virtude de doenças de veiculação hídrica, e mais de 2,5 mil óbitos. Em um cenário de pandemia como o atual, os hábitos de higiene se mostraram como uma das principais estratégias contra o vírus Covid-19, evidenciando ainda mais a importância do saneamento na preservação da saúde pública.

Como manifestação do avanço e da relevância dos estudos sobre o tema, em julho de 2020 foi atualizado o marco regulatório do saneamento básico no Brasil (Lei nº 11.445/2007), com a promulgação da Lei nº 14.026 que aponta principalmente novas diretrizes para a prestação dos serviços por meio de processos de licitação, visando estimular a competitividade e o avanço para a universalização do acesso à água, esgotamento sanitário e tratamento de efluentes no país. De acordo o painel mais recente do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, com índices datados de 2019, o Brasil possui mais de 210 milhões de

habitantes, e apenas 54,1% da população tem acesso à rede de coleta de esgotos, sendo que apenas 49,1% desse percentual coletado recebe o devido tratamento para retornar ao meio. Em relação ao atendimento com rede de água, 16,3% da população total ainda não tem acesso ao elemento básico da vida. Dentre os municípios brasileiros, apenas 54,3% possuem sistema exclusivo de drenagem e somente 38,7% realizam a coleta seletiva no manejo dos resíduos sólidos. É um cenário desafiador, com metas arrojadas e grandes promessas para os próximos anos.

Nesse presente trabalho serão elencados instrumentos para compreensão dos elementos do tema, desde as características dos sistemas de esgotamento sanitário, até uma análise aprofundada das legislações e parâmetros de monitoramento da qualidade dos efluentes.

1.2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo a elaboração de uma pesquisa exploratória referente ao monitoramento dos parâmetros de qualidade de efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos. Serão abordados os principais aspectos do saneamento básico relacionados à área de esgotamento sanitário, sua importância e aplicação em nossa sociedade, assim como os aspectos legais relacionados ao despejo do efluente tratado.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elencar considerações sobre sistemas urbanos de esgotamento sanitário;
- Elaborar pesquisa exploratória sobre os diferentes processos de tratamento de esgoto;
- Abordar sobre a legislação específica referente a qualidade de efluentes;
- Discorrer sobre os parâmetros de qualidade de efluente que são monitorados em uma estação de tratamento de esgotos;
- Servir de bibliografia adequada para pesquisas futuras, auxiliando o investigador a encontrar informações requeridas.

1.4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para desenvolvimento do presente trabalho foi baseada em pesquisa exploratória bibliográfica, utilizando como base referências já publicadas em livros, manuais, teses, artigos científicos, monografias, leis e sites das agências reguladoras.

Segundo Gil (2002), a principal vantagem da pesquisa bibliográfica é o fato de permitir a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente, sendo importante para quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço.

2. COLETA E TRANSPORTE DE ESGOTO SANITÁRIO

Antes de iniciar as considerações sobre a coleta do esgoto sanitário, é importante conhecer a sua formação. O conceito de efluente funciona como base para esse entendimento, e diz respeito aos resíduos provenientes de atividades poluidoras, definidas pela norma NOP INEA 45 (RIO DE JANEIRO, 2021) como atividades que, efetiva ou potencialmente, causem qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente. Como se observa na Figura 2, os efluentes podem ser considerados na forma líquida ou gasosa, e são subdivididos de acordo com a sua origem em efluentes domésticos e efluentes industriais.

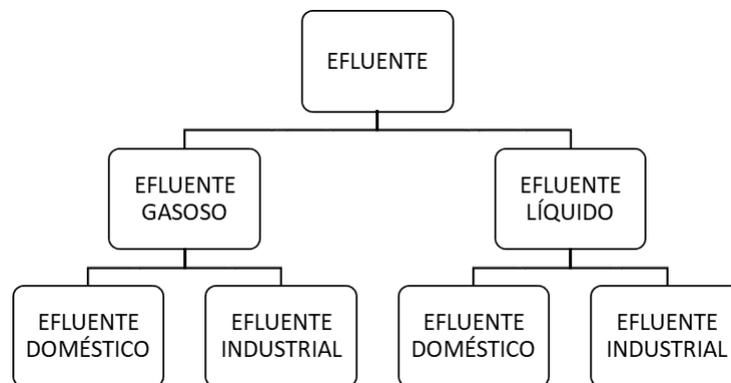


Figura 2: Tipologia dos efluentes e constituição dos esgotos.

Fonte: Autora.

Os efluentes domésticos são aqueles provenientes da utilização em ambientes como residências, comércios, instituições, hotéis, restaurantes além de outros estabelecimentos do mesmo nicho. Dentre as fontes de poluição estão as atividades domésticas em geral, como utilização para fins de higiene pessoal, limpeza de ambientes, preparação de alimentos, dentre outros. Em vista da similaridade dos despejos, apresentam características físicas, químicas e biológicas semelhantes.

Já os efluentes industriais são identificados pela disposição a partir de atividades não convencionais geradoras de rejeitos, como águas de resfriamento, águas de lavagem, desinfecção de equipamentos, ou qualquer ramo de atividade produtora que possa gerar um efluente com poluentes distintos dos usualmente encontrados nos efluentes domésticos, que irá demandar métodos de tratamento específicos. São de difícil caracterização, em vista da grande amplitude de processos praticáveis.

O termo esgoto sanitário refere-se ao líquido constituído de efluentes domésticos e/ou industriais, água de infiltração (água do subsolo que penetra nas tubulações da rede de coleta) e contribuição pluvial parasitária (água proveniente das precipitações, coletada por meio de escoamento superficial ou tubulações e drenos).

2.1. SISTEMAS DE ESGOTAMENTO

Um sistema de esgotamento sanitário constitui-se no conjunto de obras, instalações e serviços destinados a manejar os esgotos produzidos por uma comunidade. Podemos descrever um sistema como sendo formado pelas seguintes etapas: coleta, afastamento, transporte, tratamento e disposição final de resíduos.

Os sistemas de esgotamento podem receber diversas classificações, sendo a mais fundamental estabelecida de acordo com o seu nível de atendimento à população. O sistema individual é caracterizado por ser uma alternativa viável para aplicação em locais desprovidos de rede pública de esgoto sanitário, desde que executado de maneira segura e de acordo com as normas brasileiras construtivas de construção e operação, sendo caracterizado pelo completo posicionamento no interior do lote, atendendo exclusivamente a um pequeno grupo de indivíduos. O sistema coletivo é determinado por um conjunto de instalações dispostas em via pública, a fim de se fazer-se uma solução de caráter comunitário para a coleta e destinação do esgoto nas cidades e áreas urbanas.

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), os sistemas de esgotos coletivos podem ser de três tipos, determinados de acordo com as características do efluente transportado: sistema de esgotamento unitário (ou sistema combinado), sistema de esgotamento separador parcial (ou sistema misto), e o sistema separador absoluto, sendo este objeto de estudo mais aprofundado. O sistema combinado é caracterizado por receber as águas residuárias domésticas e industriais, as águas de infiltração e águas pluviais em um único sistema, enquanto o sistema misto recebe apenas uma parcela de contribuição pluvial. Tal disposição, segundo Azevedo Netto *et al* (1983), acaba por apresentar grandes dimensões dos condutos, larga ocupação dos logradouros, difícil execução de obras, e altos custos de implantação do sistema e tratamento dos efluentes. Já o sistema separador absoluto corresponde ao mais utilizado no Brasil, e é determinado pela independência entre a coleta do esgoto sanitário e das águas pluviais, conforme representado

na Figura 3. É reconhecidamente vantajoso por apresentar menores custos, diversidade de materiais e tecnologias empregados, maior facilidade de execução e eficiência no tratamento esgoto coletado.

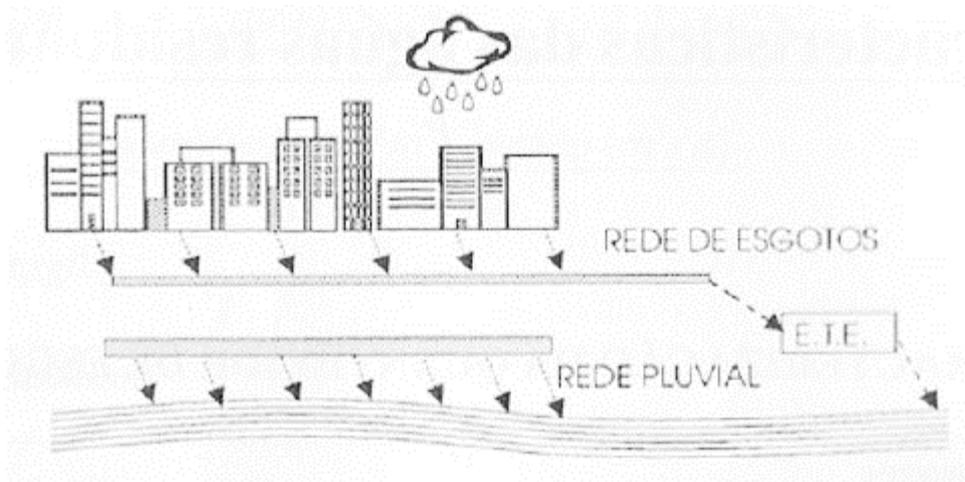


Figura 3: Sistema separador.

Fonte: Von Sperling (1996).

2.2. COMPONENTES DO SISTEMA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, uma entidade privada e sem fins lucrativos, dispõe de um acervo de normas brasileiras reconhecidas pelo governo federal, que servem como diretrizes confiáveis sobre tópicos da área técnica, inclusive o sistema de esgotamento sanitário.

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986), um sistema de esgotamento sanitário do tipo separador pode ser definido como o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar somente o esgoto sanitário a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.

Dentre esses componentes, o sistema se inicia com a ligação predial, que é o trecho da tubulação compreendido entre o coletor predial no limite do terreno e o coletor público de esgoto, como ilustra a Figura 4. Também recebe o nome de ramal de esgoto, sendo a tubulação primária que recebe os efluentes do empreendimento.

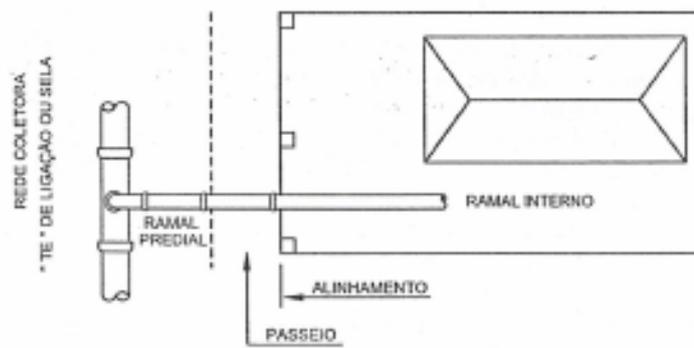


Figura 4: Ligação predial ou ramal de esgoto.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

O ramal de esgoto irá se conectar ao coletor de esgoto, que é a tubulação da rede coletora que recebe contribuição de esgotos dos ramais prediais em qualquer ponto ao longo de seu comprimento. Esse coletor pode ser alocado em diferentes pontos da via, conforme indicado na Figura 5, sendo o posicionamento mais indicado no passeio, quando o mesmo não estiver ocupado por outras estruturas.

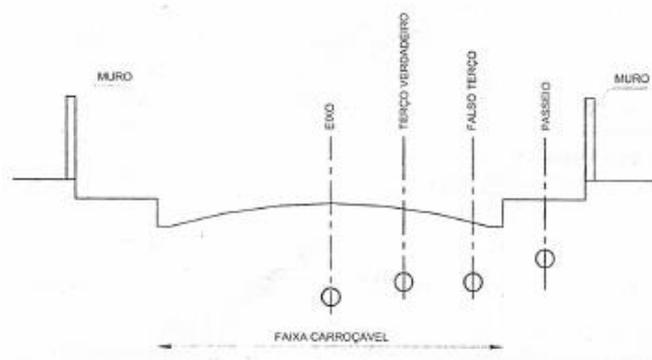


Figura 5: Posições para locação dos coletores.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

Os coletores de esgoto adquirem outras nomenclaturas de acordo com a sua função ao longo do sistema, sendo o coletor principal aquele de maior extensão dentro de uma bacia de esgotamento; o coletor tronco é a tubulação que recebe apenas contribuição de esgoto de outros coletores, assumindo diâmetros e profundidades maiores; e os interceptores são os de maior porte e geralmente estão localizados nas cotas mais baixas das bacias, recebendo as contribuições diretamente do coletor tronco. Estes constituem um dos últimos trechos do sistema de coleta de esgoto sanitário, como ilustra a Figura 6. O emissário configura um tipo especial de coletor que recebe esgoto exclusivamente na extremidade de montante e pode

trabalhar em regime de conduto livre ou forçado. Recebe a denominação de terrestre ou submarino de acordo com o local de assentamento da tubulação, sendo de comum aplicação no trecho final de interceptores, nos lançamentos finais de estações de tratamento e nos recalques das estações elevatórias.

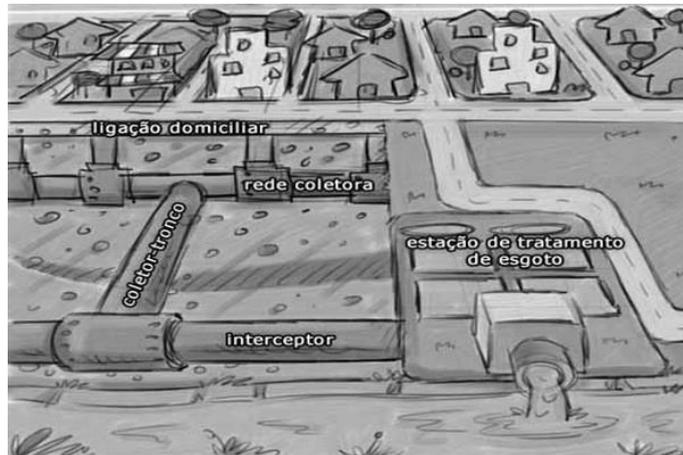


Figura 6: Coletores de esgoto.

Fonte: Sabesp (2022).

Os órgãos acessórios são dispositivos fixos que possuem funções específicas e essenciais para o bom funcionamento das redes coletoras. O poço de visita trata-se de uma câmara visitável que permite o acesso de pessoas e equipamentos para realizar atividades de desobstrução e manutenção, como pode ser observado na Figura 7. São instalados nos pontos de singularidades de rede coletora, tais como mudanças de direção, declividade, diâmetro e material, reunião de coletores e presença de degraus e tubos de queda. A distância máxima entre dois PVs adotada é de 100 m, limitada pelo alcance dos instrumentos utilizados de desobstrução, e o diâmetro mínimo do tampão deve ser de 0,60 m, com 0,80 m de diâmetro da câmara definido por norma. Apesar de existirem dispositivos similares, segundo Tsutiya e Sobrinho (2000) os poços de visitas não podem ser substituídos nos casos da reunião de coletores com mais de três entradas, quando há necessidade de tubo de queda, nas extremidades de sifões invertidos e passagens forçadas, em profundidades maiores que 3,0 m e quando o diâmetro das tubulações for igual ou superior a 400 mm.

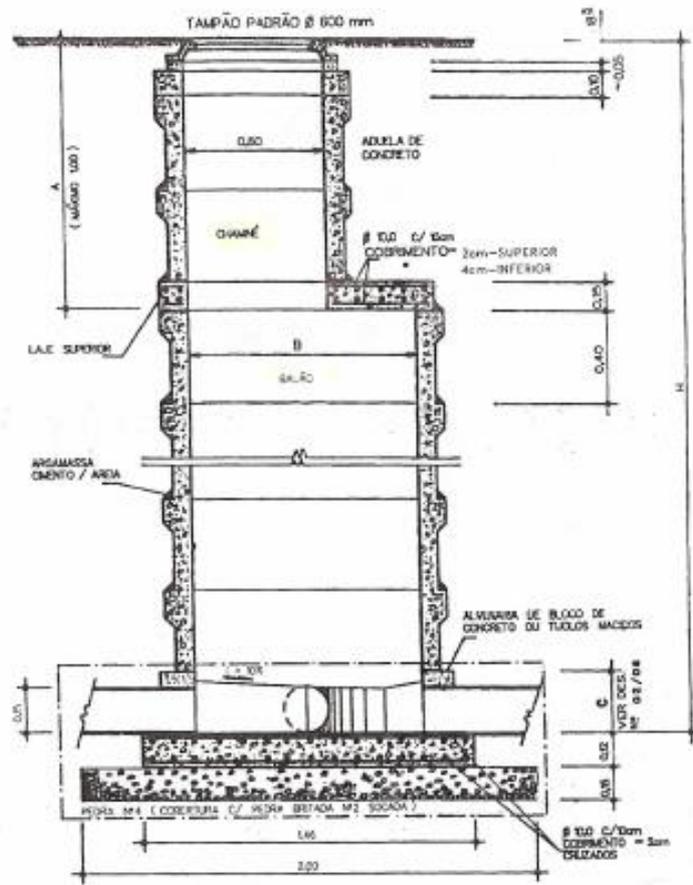


Figura 7: PV em aduelas de concreto armado pré-moldado.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

A caixa de passagem, possui aplicação e sistemática semelhantes ao poço de visita, porém não permite a visitação e é utilizada em condições de menores diâmetros e profundidades. O terminal de inspeção e limpeza é um dispositivo não visitável que permite a inspeção visual e introdução de equipamentos de limpeza, sua sistemática pode ser observada na Figura 8. Já o terminal de limpeza é utilizado apenas na cabeceira do coletor, ou seja, fica localizado no início da rede e tem como única função permitir a introdução de equipamentos de limpeza. Sua geometria está explicitada na Figura 9. Ambos são órgãos utilizados na substituição de poços de visita.

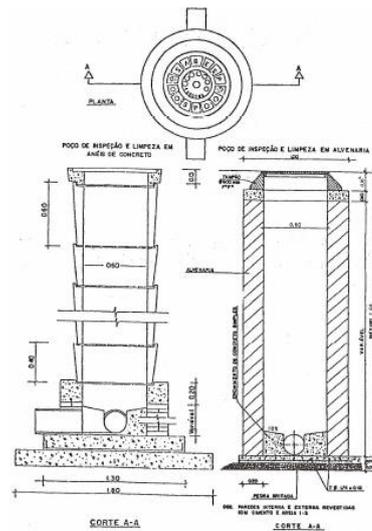


Figura 8: TIL em alvenaria e em aduelas pré-moldadas de concreto.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

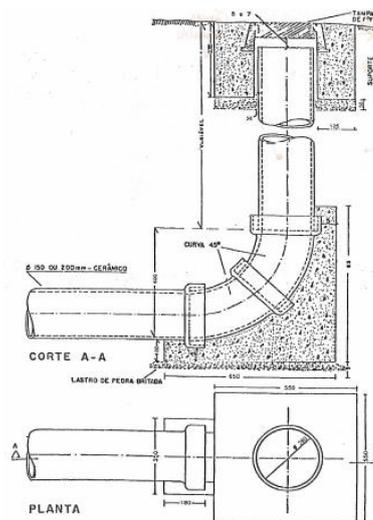


Figura 9: Terminal de Limpeza (TL).

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

Degrau é o nome do desnível dado nos casos em que o coletor chega ao PV com diferença de cota inferior a 0,60 m. Nos casos em que o desnível for inferior a 0,20 m, recomenda-se o aprofundamento do tubo de modo que a chegada seja nivelada ao fundo do PV. O dispositivo tubo de queda é instalado apenas no PV, conforme ilustrado na Figura 10, com a função de evitar respingos de efluente que prejudiquem o trabalho no poço quando a profundidade do degrau apresentar altura maior ou igual a 0,50 m, determinada na NBR 9649 (ABNT, 1986).

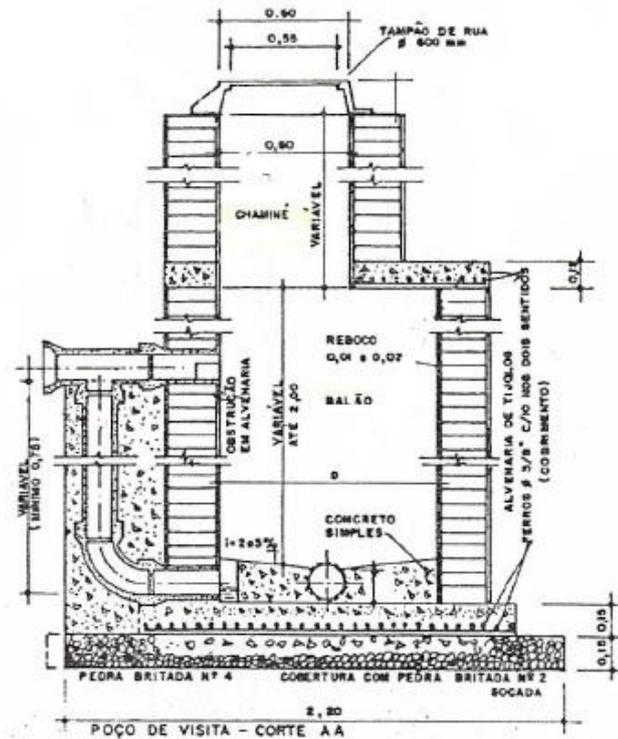


Figura 10: PV em alvenaria, com tubo de queda.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

O extravasor é um dispositivo técnico de segurança, especificado e padronizado pelas NBRs 12207 e 12208 da ABNT, que deve ser licenciado pelos órgãos ambientais e acionado de forma pontual em situações de emergências, como por exemplo em períodos de chuvas intensas ou na queda de energia, para evitar que o esgoto em excesso retorne pela ligação predial causando transtornos aos usuários do sistema.

No traçado da rede coletora é frequente a necessidade de transposição de interferências como córregos, galerias pluviais, dentre outros. O sifão invertido é um dispositivo utilizado para transpor esses obstáculos por baixo, e consiste no aprofundamento da rede seguido por uma elevação de cota, como apresentado na Figura 11, e as configurações hidráulicas singulares irão conferir ao trecho características de conduto forçado, de modo que a tubulação passa a operar com a seção cheia, ou seja, com a lâmina d'água preenchendo completamente o tubo. Essa alternativa apresenta dificuldades de limpeza e execução, de modo que a sua implantação deve ser avaliada especificamente para cada caso.

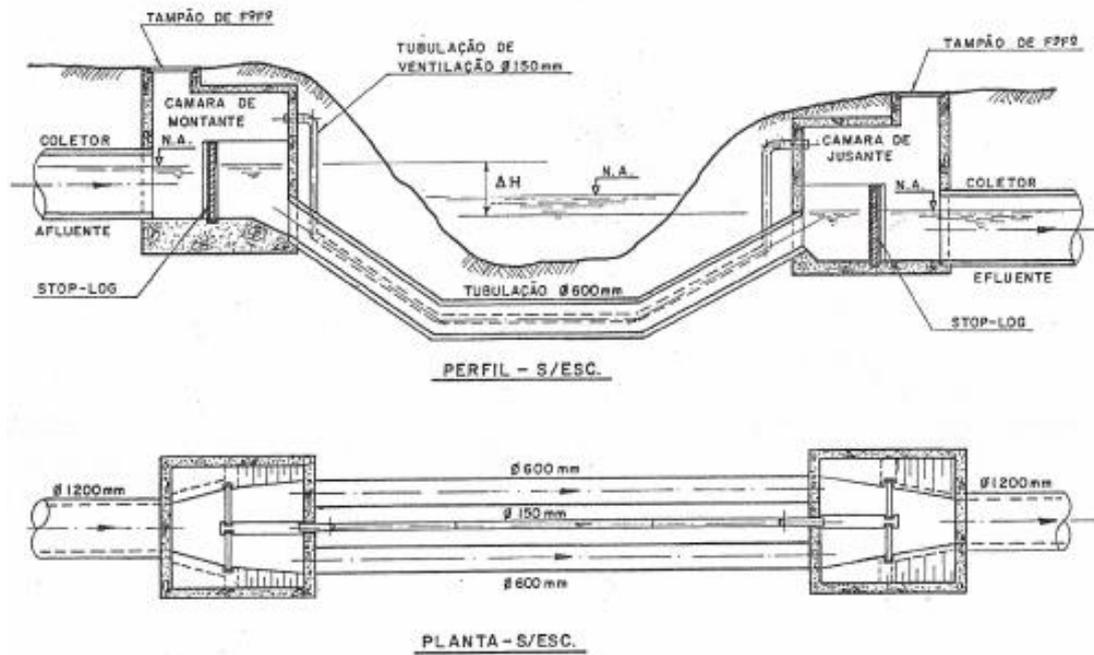


Figura 11: Sifão invertido. Planta e Corte.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

A estação elevatória de esgoto se apresenta como outra solução para a transposição de obstáculos da rede coletora, toda vez que não for possível o escoamento apenas pela ação da gravidade. O conceito se dá a partir da utilização de equipamentos para realizar o bombeamento do efluente até a cota desejada, normalmente mais elevada. Devem ser projetadas especificamente para cada caso, a fim de garantir uma boa eficiência do sistema e a atenuação dos custos de implantação e operação. As elevatórias tradicionais são caracterizadas pela utilização de bombas centrífugas, e podem ser de poço seco ou poço úmido, a exemplo da Figura 12. Suas instalações são definidas usualmente por gradeamento, poço de sucção, barrilete e linha de recalque (emissário pressurizado).

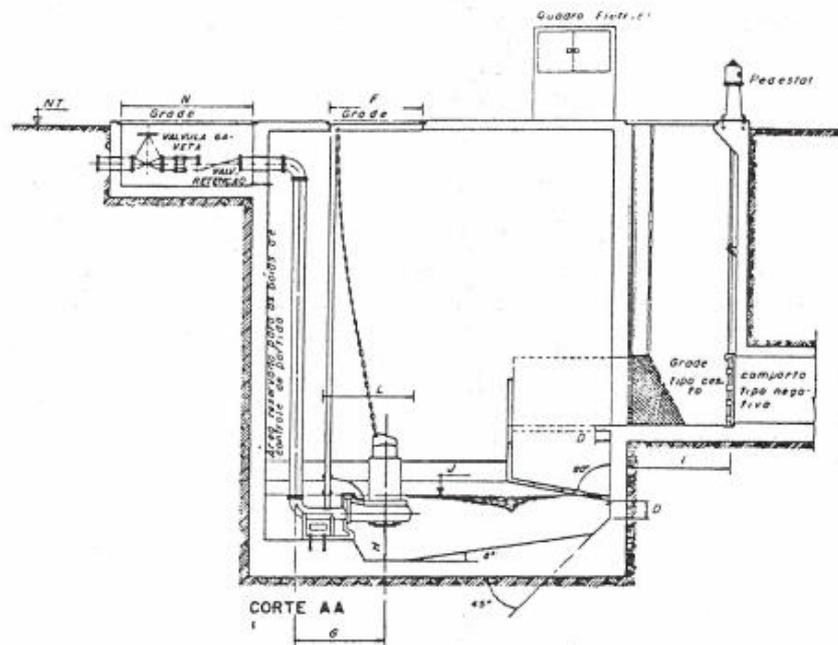


Figura 12: Elevatória convencional de poço úmido - conjunto motor-bomba submerso. Corte.

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

2.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O caminho para um bom dimensionamento de uma rede coletora de esgotos decorre da combinação do atendimento às normas técnicas elaboradas, em particular a NBR 9649 (ABNT,1986), e da aplicação dos avanços alcançados sobre o tema. Tais conhecimentos podem ser sintetizados por uma série de passos, dispostos a seguir.

2.3.1. Estudos preliminares

Deve ser realizado o levantamento dos dados referentes à localidade do projeto, como existência de Plano Diretor, análise do sistema de esgoto existente quando for aplicável, estudos demográficos e de uso e ocupação do solo, investigações geotécnicas, plantas e análises topográficas, dentre outros. Esses estudos servirão como base para tomadas de decisão nos próximos passos.

2.3.2. Traçado dos coletores

Levando-se em consideração as informações obtidas nos estudos preliminares, deve-se realizar a definição do sentido de escoamento e a locação das tubulações, podendo ser feita do

tipo perpendicular, leque ou radial (distrital) dependendo da geografia do local. Tais estudos também servirão para determinar a escolha da posição da rede na via pública, de modo que irá depender da largura das ruas, galerias pluviais existentes, redes de água, tubulações de gás, dentre outras interferências. As redes também poderão ser simples ou duplas conforme a disponibilidade de espaço na via.

A numeração dos trechos deve ser realizada em ordem crescente, de montante para jusante, considerando ramificações e tipos de coletores.

Os acessórios de rede devem ser sinalizados de acordo com as singularidades encontradas no traçado, e respeitando-se os critérios estabelecidos na NBR 9649 (ABNT, 1986), como dimensões, distâncias e aplicações permitidas.

2.3.3. Definição da vazão de projeto esgotos

O método da população contribuinte é um procedimento amplamente difundido para estimativa das vazões, e utiliza o consumo *per capita* como base para cálculo. Esse consumo é um parâmetro variável de acordo com a localidade, conforme ilustrado na Tabela 1, sendo suscetível à diversos fatores como hábito higiênicos, clima e abundância do recurso, por exemplo. Deve ser realizada uma coleta de dados sobre a região de dimensionamento do sistema a fim de obter representatividade no indicador.

Tabela 1: Valores do consumo médio per capita de água (IN022).

Estado/ Macrorregião	IN022 (l/hab/dia)			Variação entre 2017 e 2019 (%)
	Ano 2017	Ano 2018	Ano 2019	
Espírito Santo	156,5	160,6	173,2	10,7%
Minas Gerais	154,1	155,2	159,0	3,2%
Rio de Janeiro	249,7	254,9	207,0	-17,1%
São Paulo	167,8	169,3	174,4	4,0%
Sudeste	180,3	182,6	177,4	-1,6%

Fonte: SNIS (2019).

O coeficiente de retorno é definido pela relação entre o volume de esgotos recebido na rede coletora e o volume de água efetivamente fornecido à população. Os valores variam de 0,5 a 0,9, dependendo das condições locais (TSUTIYA E SOBRINHO, 2000). Já a norma NBR 9649 (ABNT, 1986) assume o valor de 0,8 para o coeficiente.

Os coeficientes de variação de vazão mais utilizados são o de máxima vazão diária e máxima vazão horária. É um ajuste realizado devido a não uniformidade da distribuição de vazão ao longo dos dias. A norma NBR 9649 (ABNT, 1986) assume os valores de K_1 e K_2 como sendo 1,2 e 1,5 respectivamente.

As contribuições indevidas nas redes de esgoto provêm de infiltrações do subsolo ou despejos acidentais e clandestinos de águas pluviais. Podem penetrar os sistemas pelas juntas e paredes das tubulações, ou através dos órgãos acessórios de rede (TSUTIYA E SOBRINHO, 2000). Convém, de acordo com a norma NBR 9649 (ABNT, 1986), adotar apenas as infiltrações provenientes do subsolo para fins de cálculo, e o valor da taxa (T_{inf}) a ser praticado deve variar de 0,05 a 1,0 l/s.km, de acordo com condições locais como NA do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, devendo o valor adotado ser justificado.

A vazão de esgoto sanitário é constituída conforme demonstra a Equação (1).

$$Q = Q_d + Q_{inf} + Q_c \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão de esgoto sanitário, em l/s;

Q_d = vazão doméstica, em l/s;

Q_{inf} = vazão de infiltração, em l/s;

Q_c = vazão concentrada ou singular, em l/s.

A população de início e final de plano é um parâmetro que pode ser calculado de diversos modelos matemáticos, como o método de componentes demográficos, população flutuante, dentre outros. A literatura preconiza que seja adotado um dos métodos indicados ou realizadas pesquisas exploratórias e coleta de informações a respeito da região de dimensionamento do sistema a fim de obter tais informações.

Segundo a NBR 9649 (ABNT, 1986), para todos os trechos da rede devem ser calculadas as vazões para início e final de plano, de acordo com as Equações (2) e (3).

$$Q_{di} = \frac{C \times P_i \times q_i}{86400} \quad (2)$$

$$Q_{df} = \frac{C \times P_f \times q_f}{86400} \quad (3)$$

Onde:

Q_{di} = vazão de início de plano, em l/s;

Q_{df} = vazão de final de plano, em l/s;

C = coeficiente de retorno;

P_i = população inicial, em hab;

P_f = população final, em hab;

q_i = consumo de água efetivo percapita inicial, em l/hab.dia;

q_f = consumo de água efetivo percapita final, em l/hab.dia;

A determinação das vazões para cada trecho é feita considerando-se os dados de vazão inicial e final calculados previamente e o comprimento do trecho, a partir da determinação da taxa de contribuição linear representada pelas Equações (4) e (5).

$$T_{xi} = \frac{K_2 Q_{di}}{L_i} + T_{inf} \quad (4)$$

$$T_{xf} = \frac{K_1 K_2 Q_{df}}{L_f} + T_{inf} \quad (5)$$

Onde:

T_{xi} = taxa de contribuição linear para início de plano, em l/s.km;

T_{xf} = taxa de infiltração para final de plano, em l/s.km;

K_1 = coeficiente de máxima vazão diária;

K_2 = coeficiente de máxima vazão horária;

Q_{di} = vazão de início de plano, em l/s;

Q_{df} = vazão de final de plano, em l/s;

L_i = extensão de rede coletora inicial, em km;

L_f = extensão de rede coletora final, em km;

T_{inf} = taxa de infiltração, em l/s.km.

No caso de existirem hidrogramas utilizáveis no projeto, o processo do cálculo de vazões pode ser feito através de simples adaptações nas equações já apresentadas, considerando alguns parâmetros da bacia como área esgotada e densidade populacional.

O método das áreas edificadas surge com a premissa de solucionar o problema de precisão do método da população contribuinte, desconsiderando os parâmetros de consumo *per capita* e coeficientes de pico, uma vez que utiliza em seu cálculo unicamente a área edificada contribuinte multiplicada por uma constante, conforme expresso na Equação (6,) que teve sua constante de coeficiente angular atualizado de acordo com publicação feita pela ABES (2017).

$$Q = A_e \times 148 \times 10^{-6} \quad (6)$$

Onde:

Q = vazão, em l/s;

A_e = área edificada virtual, em m².

2.3.4. Hidráulica dos coletores de esgoto

A vazão mínima de dimensionamento é definida pela NBR 9649 (ABNT, 1986) como sendo 1,5 l/s, que segundo Tsutiya e Sobrinho (2000) corresponde ao pico instantâneo de vazão decorrente da descarga de vaso sanitário.

A NBR 9649 (ABNT, 1986) estabelece o diâmetro mínimo para tubulações coletoras de esgoto como sendo 100 mm, porém usualmente adota-se o diâmetro 150 mm como mínimo de projeto, a fim de minimizar a ocorrência de obstruções na rede.

A tensão trativa, também denominada tensão de arraste, é uma tensão tangencial exercida sobre a parede do conduto líquido em escoamento (TSUTIYA E SOBRINHO, 2000). Considerando que materiais sólidos como areia, argila e partículas orgânicas são encontrados no esgoto, essa tensão se torna essencial para a autolimpeza dos coletores e foi instituído na NBR 9649 (ABNT, 1986) o valor de 1,0 Pa como o mínimo admissível. Já a NBR 14486 (ABNT, 2000) preconiza que para tubos de PVC esse critério da tensão trativa passa a ser 0,6 Pa.

A declividade mínima é aquela que satisfaz a condição de proporcionar pelo menos uma vez ao dia a tração trativa mínima, e é obtida pelas equações contidas na Tabela 2, que relacionam o coeficiente de Manning explicitado na Tabela 3 às diferentes equações obtidas. Quando a declividade do terreno for maior que a declividade mínima, recomenda-se adotar a declividade do terreno. Já a declividade máxima admissível é aquela que gera uma velocidade na tubulação máxima de 5,0 m/s para a vazão final de plano, cálculo que será detalhado mais adiante.

Tabela 2: Valores dos coeficientes *n* de Manning.

Material dos condutos	<i>n</i> de Manning
Cerâmico	0,013
Concreto	0,013
PVC	0,010
Ferro fundido com revestimento	0,012
Ferro fundido sem revestimento	0,013
Cimento amianto	0,011
Aço soldado	0,011
Poliéster, polietileno	0,011

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

Tabela 3: Equações obtidas para a declividade de modo a garantir tensão trativa maior ou igual a 1,0 Pa.

Coeficiente de Manning	Declividade mínima (m/m)*
0,009	$I=0,0065 Q^{-0,49}$
0,010	$I=0,0061 Q^{-0,49}$
0,011	$I=0,0058 Q^{-0,49}$
0,012	$I=0,0056 Q^{-0,48}$
0,013	$I=0,0055 Q^{-0,47}$
0,014	$I=0,0051 Q^{-0,47}$
0,015	$I=0,0049 Q^{-0,47}$
0,016	$I=0,0048 Q^{-0,47}$

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

Onde:

I_{min} = declividade mínima, em m/m;

Q = vazão, em l/s.

A altura da lâmina d'água é limitada apenas pela máxima admitida em redes de esgoto, sendo equivalente à 75% do diâmetro do tubo, e demonstrada na Equação (7).

$$\frac{Y}{D} = 0,75 \quad (7)$$

Onde:

Y = altura da lâmina d'água;

D = diâmetro do coletor.

Considerando n de Manning = 0,013, podemos calcular o diâmetro que atende à condição de lâmina d'água máxima através da Equação (8).

$$D = \left(0,0463 \times \frac{Q_f}{\sqrt{I}}\right)^{0,375} \quad (8)$$

Onde:

D = diâmetro, em m;

Q_f = vazão final, em m³/s;

I = declividade, em m/m.

O cálculo da tensão trativa é determinado através da Equação (9).

$$\sigma = \gamma R_h I \quad (9)$$

Onde:

σ = tensão trativa média, em Pa;

γ = peso específico do líquido, sendo 10^4 para esgoto, em N/m³;

R_h = raio hidráulico, em m;

I = declividade da tubulação, em m/m.

Em relação à velocidade, a máxima admitida no coletor é de 5,0 m/s, descrita pela Equação (10) tanto para o cálculo inicial como final. Quando essa velocidade for superior à velocidade crítica calculada na Equação (11), a maior lâmina d'água admissível deve ser 50% do diâmetro do coletor.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (10)$$

Onde:

V = velocidade, em m/s;

Q = vazão, em m³/s;

A = área da seção transversal do tubo, em m².

$$V_c = 6\sqrt{gR_h} \quad (11)$$

Onde:

V_c = velocidade crítica, em m/s;

g = aceleração da gravidade, em m/s²;

R_h = raio hidráulico para a vazão final, em m.

A profundidade mínima é considerada aquela que viabiliza a execução de ligações prediais no coletor, e deve respeitar os recobrimentos mínimos estabelecidos na NBR 9649 (ABNT, 1986) de 0,60 m no passeio e 0,90 m no leito da via de tráfego. A norma destaca ainda que a rede coletora não deve ser aprofundada para atendimento de economia com cota de soleira abaixo do nível da rua.

2.3.5. Memorial Descritivo

Para compor a documentação do projeto, deve ser elaborada a descrição do sistema, com todos os levantamentos produzidos e critérios adotados para o seu dimensionamento. Além disso, o preenchimento da planilha com as memórias de cálculo e justificativas é de grande importância para a verificação dos valores adotados, e é um passo fundamental no dimensionamento de um sistema coletor.

3. TRATAMENTO DE EFLUENTES

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), os objetivos do tratamento de esgotos podem ser resumidos em remoção de sólidos suspensos flotáveis, tratamento de orgânicos biodegradáveis e eliminação de organismos patogênicos. Além disso, deve-se destacar a definição e a remoção de constituintes que podem causar efeitos de longo prazo sobre a saúde e impactos ambientais.

3.1. CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS

As características dos esgotos variam quantitativamente e qualitativamente de acordo com sua utilização. Nos esgotos domésticos, que são o foco desse trabalho, pode-se caracterizar os esgotos de comunidades providas de costumes semelhantes, em vista da similaridade dos despejos. As principais características dos esgotos domésticos podem ser subdivididas em:

- Físicas: teor de matéria sólida, temperatura, odor, cor, turbidez, variação da vazão;
- Químicas: subdividem-se em orgânicas (proteínas, carboidratos, gorduras, óleos e outros em menor quantidade) e inorgânicas (areia e substâncias minerais dissolvidas).
- Biológicas: microrganismos, tais como bactérias, fungos, protozoários, vírus, algas e outros.

3.2. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Os processos de tratamento de esgoto são formados por uma série de operações unitárias, que são empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis ou para a transformação em outras de forma aceitável. Podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos.

3.2.1. Processos físicos

São caracterizados pela predominância dos fenômenos físicos adotados no tratamento de esgotos. Resumem-se principalmente em processos de remoção de sólidos grosseiros, sólidos decantáveis e sólidos flutuantes, mas qualquer outro processo em que há predominância dos fenômenos físicos constitui um processo físico de tratamento.

3.2.2. Processos químicos

São caracterizados pela utilização de produtos químicos e são raramente adotados isoladamente, por isso são pouco aplicados, apenas em casos que o emprego de processos físicos ou biológicos não atendem ou não atuam eficientemente nos parâmetros em que deseja atuar.

3.2.3. Processos biológicos

Segundo Jordão e Pessoa (1995) são os processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos; os fenômenos inerentes à respiração e à alimentação são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como sais minerais, gás carbônico entre outros. Esses processos procuram reproduzir, em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos biológicos encontrados na natureza, condicionando-os em área e tempo economicamente justificáveis.

3.2.4. Tratamento avançado

Além dos processos convencionais, o avanço da tecnologia tem impulsionado o setor do saneamento para o surgimento de técnicas mais avançadas de tratamento, ainda pouco aplicadas, a exemplo da osmose reversa e desinfecção UV.

3.3. NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O nível de tratamento é um aspecto definido por legislações específicas, e segundo a Resolução Conama nº 430, (BRASIL, 2011), deve-se levar em consideração a capacidade de

suporte do corpo receptor. O tratamento dos esgotos é usualmente classificado através de três níveis, citados por Von Sperling (1996), ilustrados na Tabela 4 e explicitados a seguir.

Tabela 4: Níveis do tratamento dos esgotos e seus objetivos de remoção.

Nível	Remoção
Preliminar	- Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	- Sólidos em suspensão sedimentáveis - DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	- DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário) - DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos)
Terciário	- Nutrientes - Patogênicos - Compostos não biodegradáveis - Metais pesados - Sólidos inorgânicos dissolvidos - Sólidos em suspensão remanescentes

Fonte: Von Sperling (1996).

3.3.1. Preliminar

Objetiva a remoção dos sólidos grosseiros (materiais de maiores dimensões, lixo e areia) e consiste na preparação do efluente para o tratamento posterior, evitando obstruções e danos em equipamentos da planta de tratamento.

Os mecanismos básicos de remoção são de ordem física, tais como gradeamento e sedimentação; além dessas unidades, inclui-se também, uma unidade para a medição da vazão, como a calha Parshall, medidores ultrassônicos ou medidores eletromagnéticos. O fluxograma típico desse nível de tratamento pode ser observado na Figura 12.

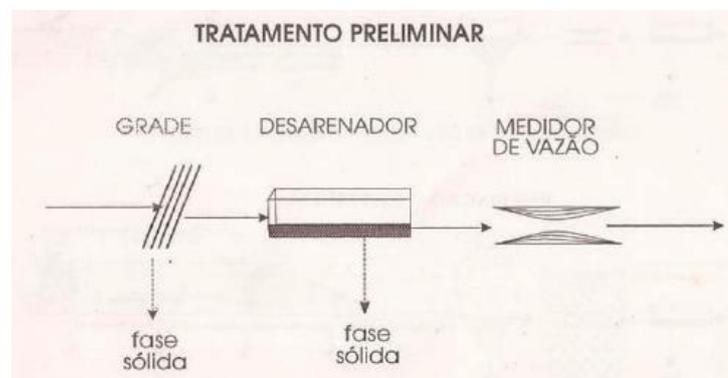


Figura 13: Fluxograma típico do tratamento preliminar.

Fonte: Von Sperling (1996).

A remoção dos sólidos grosseiros é feita, frequentemente, por meio de grades, onde o material de dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras é retido e podem ser classificadas de acordo com o espaçamento entre as barras como grossas, médias e finas. A remoção dos resíduos acumulados pode ser manual ou mecanizada.

A remoção da areia contida no esgoto é feita através de unidades especiais denominadas desarenadores, que são caixas de retenção de areia cujo mecanismo de remoção é simplesmente o de sedimentação, onde os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, sendo de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades de jusante. O uso dos desarenadores protege as bombas contra abrasão e evita danos e avarias em equipamentos.

Atualmente existem tecnologias mais sofisticadas para o tratamento preliminar, a exemplo dos equipamentos compactos de sistema de pré-tratamento, que combinam sistemas de filtragem de sedimentos; lavagem, desidratação e compactação de resíduos; remoção e descarte de areia; e separação e remoção de gordura.

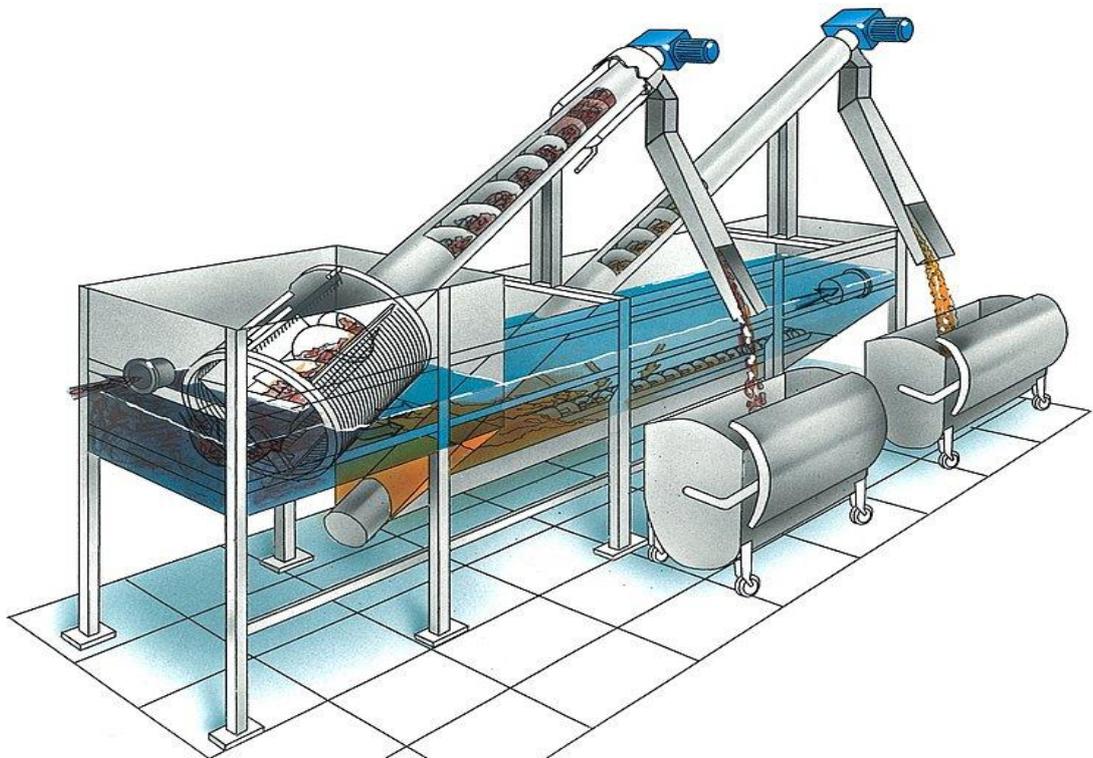


Figura 14: Modelo de equipamento de pré-tratamento compacto.

Fonte: HUBER do Brasil (2022).

3.3.2. Primário

Segundo Von Sperling (1996), destina-se ao tratamento dos sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, os quais podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação; os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares, onde os esgotos fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, possuindo uma densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto.

A Figura 14 ilustra um esquema de um decantador primário circular, indicando a entrada do efluente pelo centro em um fluxo ascendente, e a saída do efluente clarificado representado pelas setas laterais.



Figura 15: Esquema de um decantador primário circular.

Fonte: Von Sperling (1996).

3.3.3. Secundário

O objetivo principal desse tratamento é a remoção matéria orgânica que não foi removida no tratamento primário. Os processos são concebidos de forma a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores; assim, a decomposição dos poluentes orgânicos degradáveis é alcançada, em condições controladas, em intervalos de tempo menores do que nos sistemas naturais; sua essência é a inclusão de uma etapa biológica, onde a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microrganismos (VON SPERLING, 1996).

3.3.4. Terciário

Segundo Von Sperling (1996), visa a remoção de poluentes específicos ou, ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. São eles: nutrientes, patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescente.

3.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Antes de se iniciar o dimensionamento de um sistema de tratamento de esgoto, deve-se definir com clareza qual o objetivo do tratamento, e a que nível deve ser processado (VON SPERLING, 1996). Após o entendimento dos diferentes tipos e níveis de processos, serão apresentados a seguir os principais sistemas de tratamento utilizados no Brasil.

3.4.1. Fossa séptica e filtro anaeróbio

De acordo com Von Sperling (1996), as fossas sépticas são um sistema de tratamento de nível primário, que funciona basicamente como um decantador onde os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo.

É um sistema muito utilizado como opção de tratamento individual, em locais que não dispõem de sistema de esgotamento sanitário, no arranjo “fossa-filtro” ilustrado na Figura 15. Esse sistema é composto por fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro, que atua a partir da ação de micro-organismos na fossa promovendo a decomposição dos materiais; da separação da parte líquida no filtro; e do afastamento do efluente tratado por meio de infiltração no solo ou despejo em redes pluviais. É de suma importância a devida manutenção do sistema, de modo que o lodo gerado seja removido periodicamente da fossa e filtro, garantindo a eficiência contínua do arranjo.

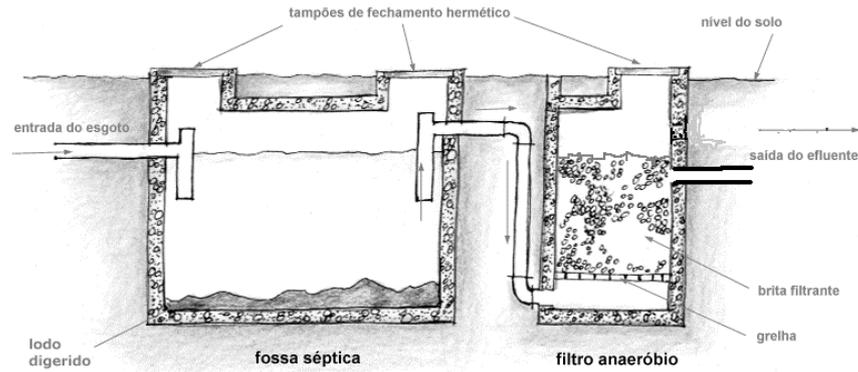


Figura 16: Sistema fossa-filtro.

Fonte: Edifique (1999).

3.4.2. Lagoas de estabilização

O sistema é baseado em grandes escavações taludadas que propiciam tempos de detenção hidráulica elevados, ou seja, o tempo que o efluente permanece na unidade de tratamento. Essa será a base do processo de autodepuração (ou estabilização) utilizado para tratar o efluente.

As lagoas de estabilização apresentam características ligeiramente distintas entre si, assumindo nomenclaturas de acordo com o modelo do sistema, como exemplo da lagoa facultativa representada na Figura 16, que depende exclusivamente de fenômenos naturais como a respiração de bactérias e a fotossíntese de algas; e da lagoa aerada que introduz aeradores mecânicos no sistema (VON SPERLING, 1996).

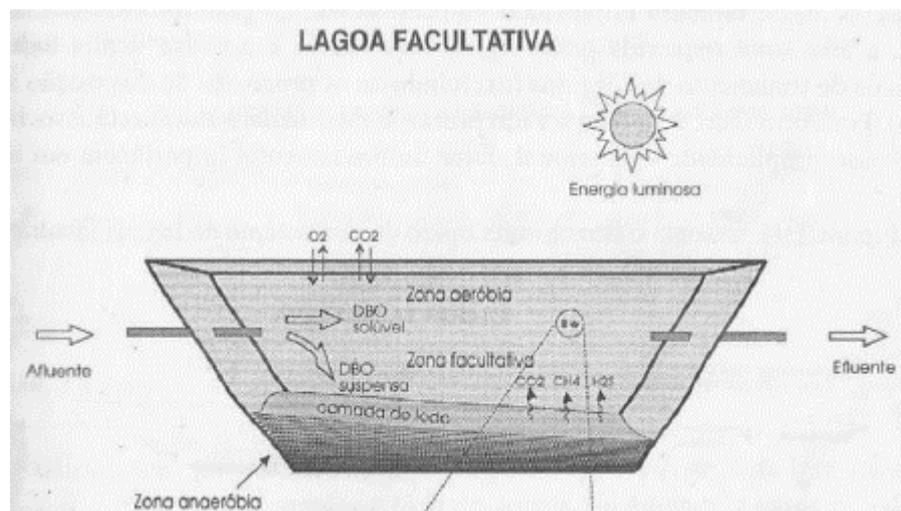


Figura 17: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa.

Fonte: Von Sperling (1996).

Apesar de encontrarem clima favorável no Brasil, e de sua eficiência econômica válida para pequenas vazões e locais com terrenos disponíveis, a presença de algas no efluente e a necessidade de uma lagoa de sedimentação após o processo de lagoa aerada constitui uma tendência de substituição das lagoas por sistemas clássicos de ETEs (JORDÃO, 2015).

3.4.3. Tratamento Primário Quimicamente Assistido - CEPT

O sistema CEPT (*Chemically Enhanced Primary Treatment*) é traduzido como tratamento primário quimicamente assistido, o que significa que tem como objetivo a retirada de sólidos em suspensão orgânicos por meios físicos, com o auxílio de algum coagulante para auxiliar na formação dos flocos, a exemplo do cloreto férrico.

Conta basicamente com tratamento preliminar, ilustrado na Figura 17, seguido de decantador primário, onde ocorre a sedimentação de partículas de forma floculenta, na qual as partículas se aglomeram, formando flocos, que tendem a aumentar de tamanho à medida que sedimentam. A sedimentação é uma operação física de separação de partículas sólidas com densidade superior à do líquido circundante. Em um tanque em que a velocidade de fluxo da água é baixa, as partículas tendem a ir para o fundo sob a influência da gravidade. O líquido sobrenadante, se torna em consequência clarificado, enquanto as partículas no fundo formam a camada de lodo. Por sua vez, este lodo deve ser removido periodicamente, tratado e destinado de maneira adequada (FONSECA, 2019).

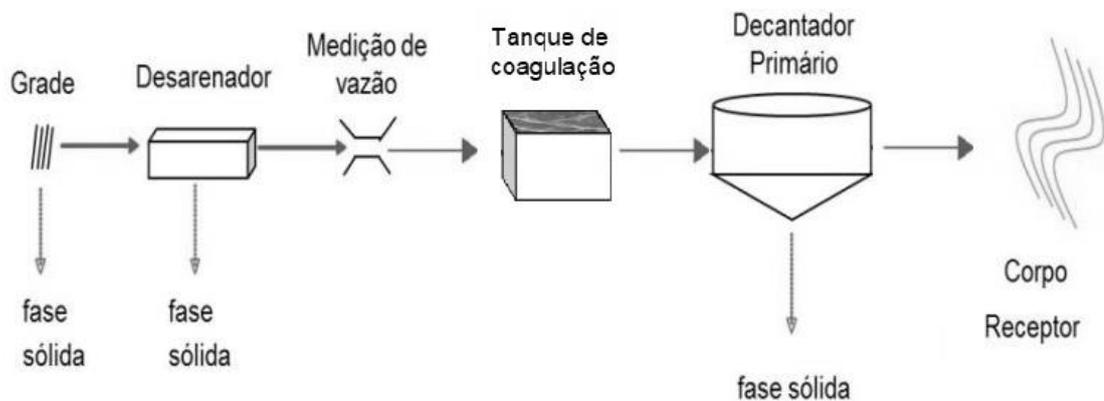


Figura 18: Fluxograma típico do sistema CEPT.

Fonte: Autora (2022).

3.4.4. Filtros biológicos

Iniciando a lista dos tratamentos secundários, temos os filtros biológicos, que foram a primeira modalidade desse nível de tratamento a ser implementada no Brasil. (JORDÃO, 2015). São unidades de tratamento que permitem uma distribuição uniforme dos esgotos, sobre um material inerte, de tal forma que se desenvolva nesse meio filtrante uma cultura de microrganismos dando origem a uma camada que irá oxidar a matéria orgânica presente nos esgotos (FONSECA, 2019).

O sistema compreende basicamente um leito de material grosseiro (pedras, ripas, ou material plástico), sobre o qual os esgotos são aplicados. Após a aplicação, os esgotos percolam em direção aos drenos de fundo, conforme ilustrado na Figura 18, o que permite o crescimento bacteriano na superfície do material de enchimento, na forma de película fixa. O esgoto passa sobre a população microbiana aderida, promovendo o contato entre os microrganismos e o material orgânico. São sistemas aeróbios pois o ar circula nos espaços entre o material, fornecendo oxigênio para a respiração dos microrganismos (VON SPERLING, 1996).

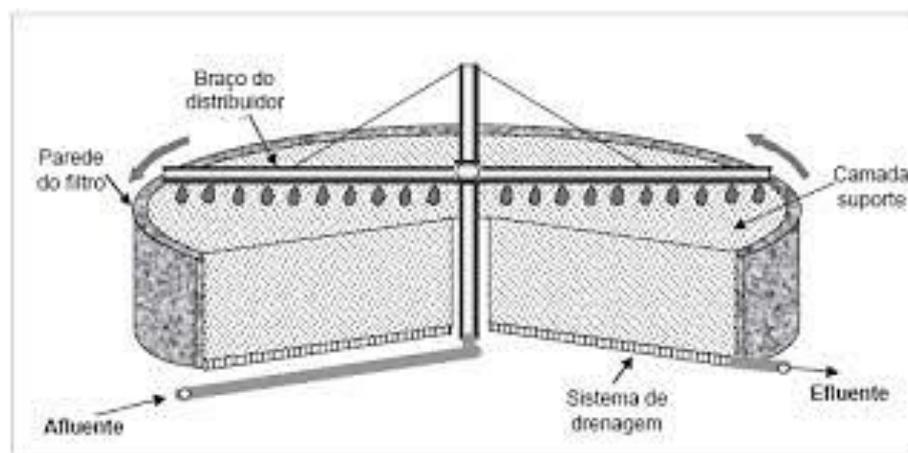


Figura 19: Seção típica de um filtro biológico percolador e seus componentes.

Fonte: Nascimento (2001).

É um processo de tratamento secundário, e pode ser caracterizado como de baixa ou alta taxa, dependendo da característica de carga orgânica do efluente que irão receber, o que poderá modificar ligeiramente o dimensionamento do sistema.

3.4.5. Lodos ativados

Lodo ativado é o floco que é gerado no tratamento de esgoto bruto ou decantado, pelo crescimento de bactérias e diferentes organismos em meio aeróbio (JORDÃO & PESSÔA, 2011).

O conceito desse método é baseado no aumento da concentração da biomassa em suspensão no meio do líquido. Tal resultado é obtido a partir da recirculação dos sólidos do fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração. A concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração nos sistemas de lodos ativados é mais de 10 vezes superior à de uma lagoa aerada (VON SPERLING, 1996).

O sistema é caracterizado pela sua etapa biológica, que é composta de 3 unidades essenciais, ilustradas na Figura 19: o reator de aeração, tanque de decantação (decantador secundário) e elevatória de recirculação de lodo. Devido à alta taxa de sólidos em suspensão no reator, o tempo de detenção hidráulica do líquido no sistema se torna bem mais baixo que em outros métodos, cerca de 6 a 8 horas no sistema convencional. Já o lodo permanece mais tempo no sistema por causa do processo de recirculação, e promove o conceito de idade do lodo, que é o tempo de retenção dessa matéria no sistema.



Figura 20: Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional.

Fonte: Von Sperling (1996).

O processo de lodos ativados se estabeleceu bem no Brasil e no mundo todo, por sua elevada eficiência e pela variedade de opções que apresenta (JORDÃO, 2015). Algumas modificações no sistema convencional acabaram por formar outros sistemas de lodos ativados que também são amplamente difundidos, como o sistema de aeração prolongada, e o Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR), que serão expostos a seguir.

O sistema de lodos ativados com aeração prolongada é caracterizado pela permanência da biomassa no processo por um período mais longo, passando do intervalo convencional de 4 a 10 dias, para a ordem de 20 a 30 dias. Nesse método a estabilização do lodo ocorre no próprio reator, de modo que usualmente se elimina o uso do decantador primário para simplificação do sistema, conforme ilustrado na Figura 20. Essa assimilação praticamente total da carga orgânica faz com que este processo seja o mais eficiente na remoção de DBO (VON SPERLING, 1996).

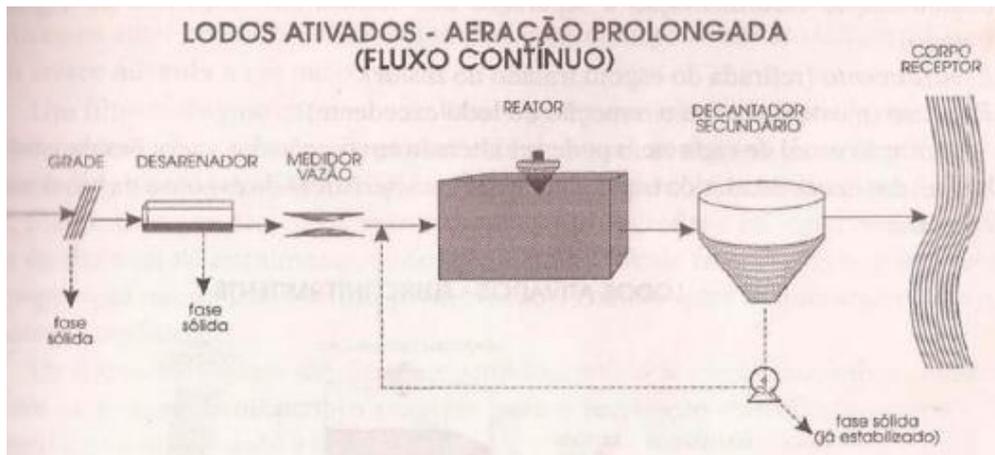


Figura 21: Fluxograma de um sistema de aeração prolongada.

Fonte: Von Sperling (1996).

Já a tecnologia MBBR utiliza suportes para imobilização de biomassa de baixa densidade, conforme mostrado na Figura 21, como forma de propiciar uma melhor movimentação no meio líquido. Estes suportes buscam propiciar um maior desenvolvimento de microrganismos aderidos neste sistema. Segundo Oliveira (2008), o incremento do material favorece a eficiência do tratamento gerado pelos processos biológicos além de fornecer um maior aproveitamento do volume útil do reator.



Figura 22: Biobob®, exemplo de suporte para imobilização de biomassa.

Fonte: BIOPROJ (2019).

3.4.6. Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente - RAFA

O sistema UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), traduzido como reator anaeróbio de fluxo ascendente, é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido, conforme ilustrado na Figura 22. O esgoto aflui ao reator e após ser distribuído pelo seu fundo, segue uma trajetória ascendente, desde a sua parte mais baixa, até encontrar a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico, tendo como subproduto a geração de gases metano, carbônico e sulfídrico. Ainda em escoamento ascendente, e através de passagens definidas pela estrutura dos dispositivos de coleta de gases e de sedimentação, o esgoto alcança a zona de sedimentação. A manutenção de um leito de sólidos em suspensão constitui a manta de lodo, e em função do fluxo contínuo e ascendente de esgotos, permite a decomposição do substrato orgânico pela ação de organismos anaeróbios. (FONSECA, 2019).

É um processo amplamente utilizado no Brasil, uma vez que como país tropical apresenta um nicho privilegiado para o uso dessa tecnologia por conta das altas temperaturas que favorecem o processo de degradação anaeróbia, de acordo com FORESTI *et al.* (2006).

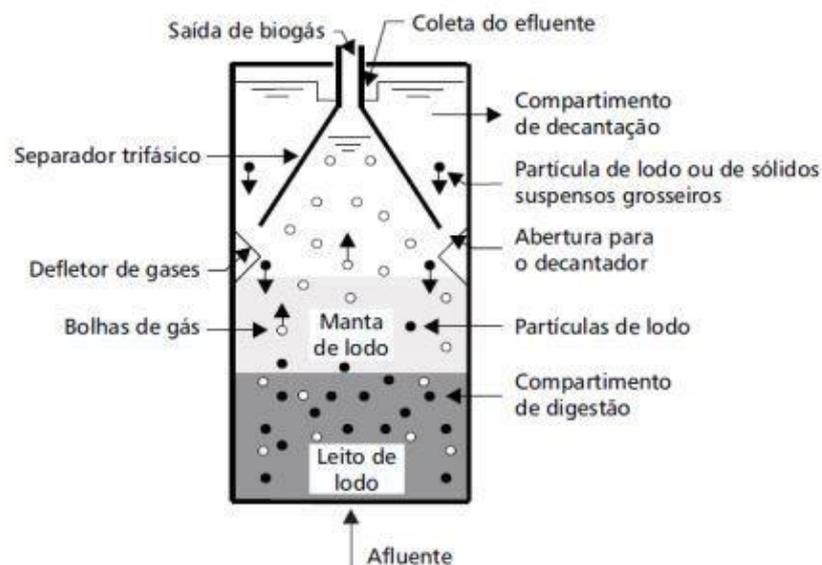


Figura 23: Esquema ilustrativo de um Reator UASB.

Fonte: Campos (1999).

3.5. EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

A escolha do sistema ideal para cada cenário irá depender de muitos fatores, porém a eficiência do método será um dos decisivos, de acordo com as exigências das legislações vigentes.

Configurada a necessidade do tratamento, deve-se investigar diferentes alternativas de níveis e eficiências. O tratamento primário por exemplo oferece eficiência de 35% na remoção de matéria orgânica, enquanto o tratamento secundário atinge 65%, mesmo aqueles mais simplificados (VON SPERLING, 1996).

3.6. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Segundo a NBR 12209 (ABNT,2011), uma ETE pode ser definida como o conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades, cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento. Essa estação será classificada de acordo com o nível de tratamento que opera em suas instalações.

A Figura 23 ilustra uma ETE primária, com destaque para os decantadores primários característicos do sistema.



Figura 24: ETE Barra da Tijuca, Rio de Janeiro – RJ.

Fonte: CEDAE (2009).

A Figura 24 apresenta uma ETE secundária, com seu sistema biológico de lodos ativados e decantadores secundários.



Figura 25: ETE Arrudas, Belo Horizonte – MG.

Fonte: COPASA (2018).

A Figura 25 exemplifica uma ETE terciária, composta por reator anaeróbico, reator anóxico, decantador de alta taxa e flotador por ar dissolvido.



Figura 26: ETE Itaipu, Niterói – RJ.

Fonte: BIOPROJ (2019).

4. MONITORAMENTO DE EFLUENTES

O monitoramento de efluentes pode ser descrito como o conjunto de processos de coleta de amostras e análises laboratoriais a fim de analisar e acompanhar os parâmetros de determinado efluente, servindo como premissa para o atendimento às legislações, e suporte para a tomada de decisões operacionais no sistema.

As amostras e análises devem ser coletadas a partir de um plano de amostragem bem definido, e realizadas dentro do prazo de validade, ou seja, atendendo ao *holding time* respectivo de cada parâmetro a ser analisado, seguindo normas nacionais e internacionais, a exemplo do livro “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*”, amplamente reconhecido no meio científico brasileiro.

Cada parâmetro terá diretrizes específicas para amostragem, como o exemplo das análises de temperatura e pH que devem ser realizadas *in situ*, ou seja, avaliadas diretamente no local de coleta a fim de garantir a precisão e exatidão dos resultados.

4.1. PARÂMETROS

As características dos esgotos domésticos são usualmente descritas entre físico-químicas e biológicas, e as principais delas serão tratadas a seguir, destacando-se em sua maioria aquelas que contribuem para a eutrofização dos corpos hídricos. Esse fenômeno trata-se do aumento da concentração de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, que altera as características do meio, resultando em um desequilíbrio ambiental com o crescimento de certas algas e bactérias em detrimento de outros organismos.

4.1.1. Temperatura

Possui influência na atividade microbiana, na solubilidade dos gases e na viscosidade do líquido, variando também de acordo com as estações do ano (VON SPERLING, 1996). É um parâmetro importante pois acaba acelerando ou retardando a proliferação de microrganismos e algas, e afeta a coagulação, floculação e sedimentação das partículas do efluente.

4.1.2. pH

A medida do pH indica a acidez ou basicidade de uma solução. A escala de pH é de 0 a 14, assim as soluções com pH abaixo de 7 são ditas ácidas e soluções com pH acima de 7 são ditas básicas. O controle do pH no tratamento de esgoto é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência do processo, e o campo de variação da concentração dos íons hidrogênio, medidos no parâmetro, adequada para a existência da maioria da vida aquáticas é bastante estreito e crítico (METCALF & EDDY, 2016).

4.1.3. Oxigênio dissolvido (OD)

Representa a quantidade de oxigênio dissolvido na massa líquida em mg/L. É um parâmetro importante para operação dos métodos de tratamento aeróbio de esgoto e influencia na capacidade de autodepuração do corpo receptor.

4.1.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A matéria orgânica presente nos esgotos é responsável por grande parte do problema de poluição das águas, por meio do decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido. A DBO representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea, ou seja, infere sobre o potencial poluidor do efluente e é expressa em $mg O_2/L$.

O teste da DBO é longo e para se ter uma resposta mais rápida convencionou-se realizá-lo em cinco dias, subestimando-se a demanda de oxigênio. O resultado é denominado de DBO_5 . Caso o teste fosse conduzido por um tempo maior, seria atingido um valor estável, correspondente à oxidação completa dos poluentes biodegradáveis presentes na amostra. Esse valor é denominado DBO última (DBO_U) e leva cerca de 20 dias para esgotos domésticos. A relação DBO_5/DBO_U fica na faixa de 0,5 a 0,8 para muitos efluentes, podendo ser também analisada na Tabela 5, e seu valor depende das características dos poluentes presentes, se os testes são realizados a temperatura de $20^\circ C$.

Tabela 5: Eficiências típicas de diversos sistemas na remoção da DBO.

Sistema de tratamento	Eficiência na remoção de DBO (%)
Tratamento primário	35 - 40
Lagoa facultativa	70 - 85
Lagoa anaeróbia-lagoa facultativa	70 - 90
Lagoa aerada facultativa	70 - 90
Lagoa aerada de mistura completa-lagoa de decantação	70 - 90
Lodos ativados convencional	85 - 93
Aeração prolongada	93 - 98
Filtro biológico (baixa carga)	85 - 93
Filtro biológico (alta carga)	80 - 90
Biodisco	85 - 93
Reator anaeróbio de manta de lodo	60 - 80
Fossa séptica-filtro anaeróbio	70 - 90

Fonte: Von Sperling adaptado (1996).

4.1.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea, e utiliza fortes agentes oxidantes em condições ácidas, sendo expressa em $mg O_2/L$ (VON SPERLING, 1996).

Usualmente é utilizado o dicromato de potássio como oxidante forte e a análise leva cerca de 2 a 3 horas para estabilizar toda a matéria orgânica carbonácea. Como muitos compostos orgânicos que são oxidados pelo agente oxidante não são bioquimicamente oxidáveis, e até mesmo certos íons inorgânicos também são oxidados quimicamente, o valor da DQO é maior que o da DBO.

Se tratando de estabilização da matéria orgânica carbonácea, podemos estabelecer uma relação entre a DBO e a DQO. Para esgotos domésticos, o quociente dos parâmetros DBO/DQO varia em torno de 0,4 a 0,6, indicando um excelente potencial para tratamento biológico.

4.1.6. Óleos e graxas (O&G)

Representam substâncias de origem vegetal ou animal, caracterizadas por sua baixa solubilidade e densidade. Isso inclui compostos de enxofre, certos corantes orgânicos e clorofila, que apenas são dissolvidos por meio da utilização de solventes, e por isso são considerados de difícil degradação por via biológica.

4.1.7. Sólidos Totais

Define-se o parâmetro sólidos totais como sendo o resíduo que permanece após a evaporação da amostra bem homogeneizada e secagem a uma temperatura definida de 103 a 105°C.

São separados em categorias distintas, começando pela classificação de acordo com seu tamanho e estado em sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos; de acordo com as características químicas em sólidos voláteis e sólidos fixos; e de acordo com sua decantabilidade em sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos em suspensão não sedimentáveis (VON SPERLING, 1996).

4.1.8. Substâncias Tensoativas que Reagem ao Azul de Metileno (MBAS)

Os surfactantes são substâncias que estão presentes na formulação de produtos de higiene e cosméticos e que se acumulam nos esgotos domésticos, podendo exercer efeitos potencialmente tóxicos nos ecossistemas de corpos hídricos.

4.1.9. Nitrogênio Total

O nitrogênio é um elemento conhecido como nutriente ou bioestimulante, por ser essencial ao crescimento de microrganismos, plantas e animais. A química do nitrogênio é complexa devido aos diversos estados de oxidação que pode assumir, e o nitrogênio total engloba as formas de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. (METCALF & EDDY, 2016).

Os compostos nitrogenados em efluentes domésticos resultam principalmente da decomposição biológica de proteínas e da uréia, sendo denominados de nitrogênio orgânico, que pode ser removido por método químico ou biológico. Na remoção biológica temos as etapas de nitrificação, com a transformação da amônia em nitrito e nitrato em condições aeróbias; e a etapa de desnitrificação, com a transformação do nitrato em nitrogênio molecular, gás carbônico e água, em condições anóxicas; ambas as etapas funcionam por meio da ação de bactérias distintas. O método químico consiste no aumento do pH transformando o íon amônio em amônia que pode ser removida através da água.

4.1.10. Fósforo

Também é um elemento essencial para o crescimento de algas e outros organismos biológicos. Devido aos processos de eutrofização, há um grande interesse em controlar a quantidade de compostos de fósforo que adentram águas superficiais por meio de efluentes. O fósforo no esgoto pode ser classificado nas formas reativo e não reativo, essa última não é facilmente removida utilizando processos biológicos e químicos atualmente disponíveis (METCALF & EDDY, 2016).

Uma opção utilizada para a remoção do composto é a precipitação química, de modo que o fósforo se acumula na biomassa e é removido na forma de lodo ativado residual.

4.2. LEGISLAÇÃO

As legislações ambientais correspondem ao conjunto de normas, diretrizes e padrões responsáveis pela manutenção da qualidade dos ecossistemas, principalmente quando se trata de uma atividade poluidora como o lançamento de efluentes.

A fim de diminuir o risco de contaminação das águas devido aos seus vários usos pela população bem como para permitir a proteção do meio ambiente, o efluente sanitário deve

possuir determinada qualidade mínima antes de ser disposto no corpo receptor (TONETTI et al., 2018).

Existem variados órgãos responsáveis pela legislação ambiental, e normas tanto federais quanto estaduais que regulamentam o despejo de efluentes. No caso de normas conflitantes, deve valer aquela que possuir os valores mais restritivos.

No âmbito federal, existem 3 resoluções a serem destacadas: a CONAMA 357, CONAMA 430 e Lei nº 14.026/2020. Já no âmbito estadual do Rio de Janeiro, destacam-se a DZ-942.R-7, a NT.202.R10, a DZ-215.R04, e a NOP-INEA-45. Todas as citadas serão desenvolvidas a seguir.

Vale ressaltar que as normas norteiam o monitoramento, porém órgão ambiental competente pode acrescentar ou alterar as condições e padrões para lançamento, tendo em vista cada caso em específico.

4.2.1. CONAMA nº 357

Resolução de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

Atualmente tem a principal função de classificação e enquadramento dos diferentes tipos de corpos hídricos, bem como a definição dos parâmetros adequados a cada classe a partir dos usos preponderantes que são feitos destas águas. No quesito condições e padrões de lançamento de efluentes, foi atualizada pela CONAMA 430 (BRASIL, 2011) que passou a assumir essas definições.

4.2.2. CONAMA nº 430

Resolução de 13 de maio 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional

do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2011). Esta resolução é atualmente a legislação mais utilizada no país, e estabelece padrões de faixas e valores definidos a saber:

- Faixa admitida de pH entre 5 e 9;
- Temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder 3°C no limite da zona de mistura;
- Sólidos sedimentáveis até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhof, sendo que para o lançamento em lagos e lagoas os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- Ausência de materiais flutuantes;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 5 dias e 20°C até máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- Óleos & graxas até 100 mg/L;
- Nitrogênio amoniacal presente no efluente final até 20 mgN/L, mas exime a exigência deste padrão os efluentes que são provenientes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

4.2.3. Lei nº 14.026/2020

A lei publicada em 15 de julho de 2020 ficou conhecida como “Marco Legal do Saneamento”, e discorre sobre as diretrizes nacionais para o saneamento, atualizando trechos da antiga Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, no que tange principalmente a titularidade dos serviços públicos de saneamento. Desse modo, abre-se um novo caminho para a concessão dos serviços, e a regulamentação de privatizações no setor.

4.2.4. DZ-942.R-7

Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos – PROCON-ÁGUA que tem como objetivo estabelecer as diretrizes do monitoramento realizado pelo órgão ambiental para com os responsáveis pelas atividades poluidoras por intermédio do Relatório de Acompanhamento de

Efluentes Líquidos (RAE), e determina as características qualitativas e quantitativas de seus efluentes líquidos (RIO DE JANEIRO, 1991).

4.2.5. NT.202.R10

Diretriz de Lançamento de Efluentes Líquidos que se aplica aos lançamentos diretos ou indiretos de efluentes líquidos provenientes de atividades poluidoras no Estado, através de quaisquer meios de lançamento (RIO DE JANEIRO, 1986). Estabelece padrões de faixas e valores definidos a saber:

- Temperatura, pH, Sólidos Sedimentáveis observados em “Cone Imhoff” e materiais flutuantes são os mesmos estabelecidos na legislação federal CONAMA n^o430;
- Cor virtualmente ausente;
- Óleos minerais até 20 mg/L;
- Óleos vegetais e gorduras animais até 30 mg/L;
- Nitrogênio amoniacal até 5 mg/L;
- Fósforo total até 1 mg/L (para lançamentos em lagoas);
- Nitrogênio total até 1 mg/L (para lançamentos em lagoas).

4.2.6. DZ-215.R04

Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária que tem por objetivo estabelecer exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária (RIO DE JANEIRO, 2007). Estabelece níveis de eficiência para remoção de DBO, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Eficiência de remoção para dimensionamento da unidade de tratamento.

CARGA ORGÂNICA BRUTA (C) (kg DBO/dia) ⁽¹⁾	EFICIENCIA MÍNIMA DE REMOÇÃO de DBO (%) ⁽²⁾
$C \leq 5$	30 ⁽³⁾
$5 < C \leq 25$	65
$25 < C \leq 80$	80
$C > 80$	85

Fonte: INEA (2007).

4.2.7. NOP-INEA-45

Norma Operacional Padrão que estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário (RIO DE JANEIRO, 2021). O documento substitui integralmente as legislações DZ-215-

R4 e a NT.202.R10, sendo a principal alteração no que tange o esgotamento sanitário a mudança do limite do parâmetro Nitrogênio Amoniacal para 20 mg/L, em substituição ao valor de 5,0 mg/L que preconizava a NT-202.R10.

4.3. RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE EFLUENTES – RAE

No Estado do Rio de Janeiro, em 04 de outubro de 2007, foi criado o Instituto Estadual do Ambiente - INEA, órgão criado pela Lei nº 5101 com a missão de proteger, conservar e recuperar o meio ambiente, promovendo o desenvolvimento sustentável.

O Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos (PROCON Água) é a ferramenta com a qual os responsáveis pelas atividades poluidoras informam regularmente ao INEA, através do Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos (RAE), as características quali-quantitativas de seus efluentes líquidos, como parte que integra o Sistema de Licenciamento Ambiental.

O RAE poderá ser exigido em qualquer fase do licenciamento ambiental. Logo, devem ser vinculadas ao programa as empresas que realizam atividade efetiva ou potencialmente poluidora, licenciadas tanto pelo Estado quanto as empresas licenciadas pelos municípios do Estado do Rio de Janeiro.

A coleta de amostras dos efluentes líquidos, tanto das atividades industriais quanto das não industriais, deverá ser efetuada por laboratórios credenciados pelo INEA e preferencialmente acreditados pelo INMETRO, de acordo com o preconizado no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB e ANA, 2011). Outros métodos poderão ser adotados desde que previamente aprovados pelo INEA. Os resultados obtidos deverão ser preenchidos nos respectivos relatórios e entregues mensalmente, através da plataforma online, até o dia 20 do mês subsequente ao das análises.

A plataforma online do INEA, é acessada por meio de usuário e senha, caracterizados pelo CNPJ da empresa licenciada e a senha disponibilizada diretamente pelo órgão ambiental. Após o login, o usuário (representante da empresa) deve entrar no Portal “NOVO Procon Água”, para que possa ser realizado o lançamento dos dados.

Dentro do sistema, deverá ser escolhida a opção “Criar um novo RAE” no caso do lançamento dos resultados referentes ao mês anterior. E conforme ilustra a Figura 28, deve ser selecionado o período de referência dos resultados que serão lançados, e em seguida

controle, de acordo com os padrões definidos pelo órgão ambiental no ato do licenciamento, em função do tipo de efluente e do corpo hídrico receptor.

Figura 29: Confirmação dos dados iniciais.

Fonte: INEA (2016).

Figura 30: Preenchimento dos parâmetros do efluente.

Fonte: INEA (2016).

Após o lançamento dos parâmetros apresenta-se uma área destinada ao preenchimento das informações dos laboratórios responsáveis pelos respectivos resultados das análises, como é mostrado na Figura 32. Essa é uma forma de fiscalizar a legitimidade dos resultados, verificando-se as credenciais dos laboratórios indicados. A etapa final é destinada ao

preenchimento de informações adicionais e observações, conforme ilustrado na Figura 33. Após isso já é possível salvar o documento.

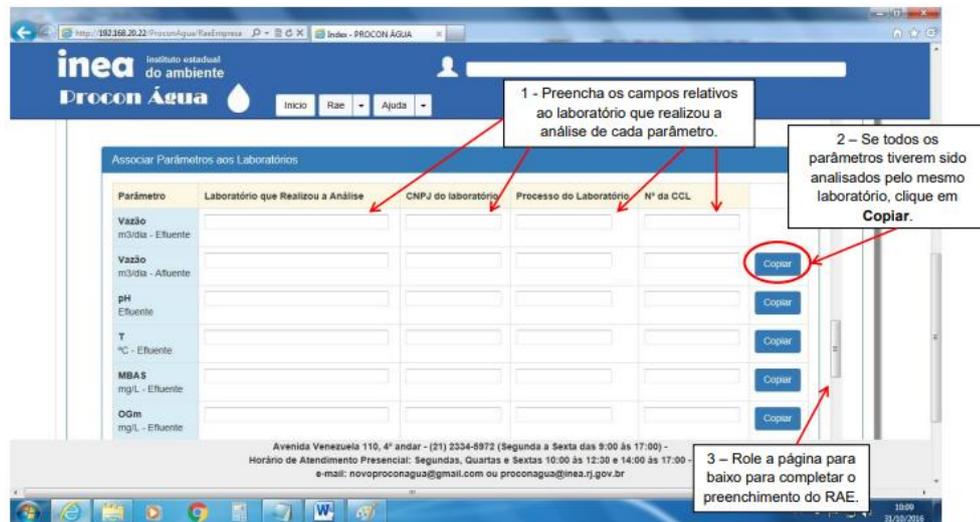


Figura 31: Preenchimento das informações referentes aos laboratórios.

Fonte: INEA (2016).

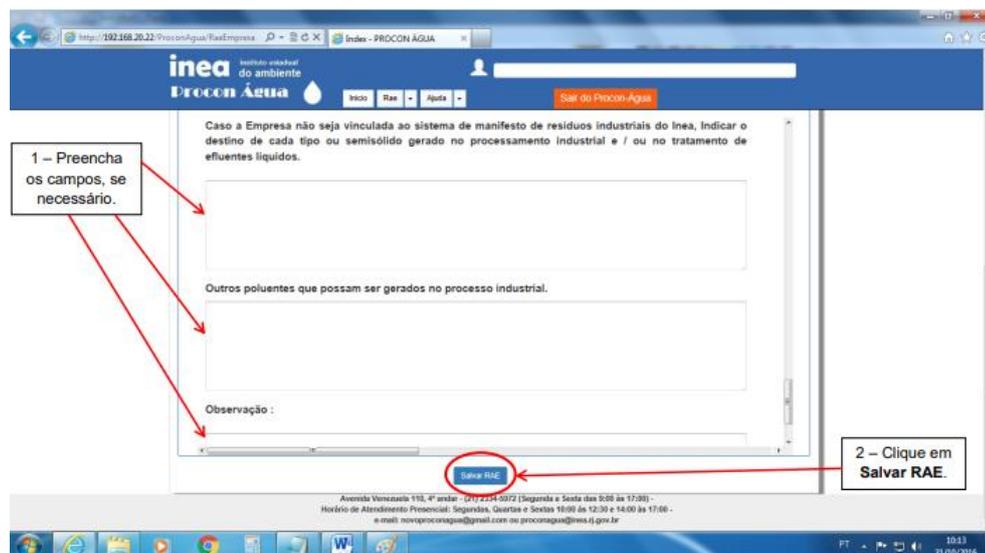


Figura 32: Preenchimento das informações finais.

Fonte: INEA (2016).

O Portal ainda dispõe de outros recursos, como a consulta de relatórios anteriores, solicitações de alteração e geração de arquivos como o comprovante de entrega do RAE, em formato PDF.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro passo para um sistema de saneamento eficaz é a coleta dos efluentes, tanto domésticos como industriais. Um sistema eficiente e bem dimensionado proporciona qualidade de vida para a população, e dispõe de recursos como acessórios de rede, estações elevatórias, sifões invertidos, dentre outros conceitos relacionados à coleta de esgoto que estão bem consolidados para se ajustarem aos diferentes cenários que podem ser encontrados.

O tratamento dos efluentes é uma área em constante aprimoramento, e diversos são os métodos e possibilidades de operação, desde sistemas mais simples como lagoas facultativas até mesmo os mais sofisticados como reatores de aeração prolongada. O importante é escolher aquele que melhor se adapta às especificidades da situação, atendendo aos requisitos estabelecidos pelo órgão ambiental no ato do credenciamento e com a melhor eficiência operacional e econômica.

Este trabalho fornece apoio ao desenvolvimento de estudos na área de saneamento e serve como literatura adequada para a iniciação na temática do tratamento de esgotos domésticos. Recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados no que diz respeito às particularidades das tecnologias de tratamento e seu uso combinado, muito frequente na atualidade.

Os parâmetros determinados representam a essência do monitoramento dos efluentes tratados em estações de esgoto. Características como temperatura, pH, níveis de oxigênio e matéria orgânica nos introduzem o conceito de eficiência de tratamento, e o controle desses fatores é fundamental para o despejo apropriado no corpo receptor final, ou seja, sem ocasionar prejuízos ao ecossistema.

As legislações referentes ao saneamento são atualizadas com certa frequência, e buscam adequar as necessidades ambientais à realidade da sociedade. Apesar do valor de seu aperfeiçoamento, é fundamental a evolução no quesito fiscalização, de modo a garantir com que a legislação se cumpra. De nada adiantam normas apropriadas se não fazem parte do dia a dia operacional.

A problemática do saneamento brasileiro ainda representa um grande desafio para a sociedade em sua totalidade. Faltam recursos, investimentos, conscientização e principalmente anseio do poder público para alterar o cenário atual de subdesenvolvimento, que afeta

gravemente o meio ambiente e a saúde da população. Contudo, a nova Lei nº 14.026 publicada no ano de 2020, conhecida como “Marco Legal do Saneamento”, representa a promessa de que este cenário está prestes a mudar, tendo como objetivo a universalização do saneamento básico no Brasil. Tal propósito apresenta-se fundamentando em metas agressivas como a garantia de se obter 90% da população brasileira atendida com serviços de coleta e tratamento de esgoto até a data de 31 de dezembro de 2033.

Mais do que nunca se faz necessário o fortalecimento das agências reguladoras e órgãos fiscalizadores. Faltam recursos para a fiscalização das concessões atuais dos serviços públicos, e com o Marco Legal, serão abundantes os novos contratos e leilões a serem concretizados. Recomenda-se o planejamento de ações bem estruturadas a fim garantir o cumprimento dos indicadores definidos pela Lei.

O presente trabalho iniciou o debate de temas pertinentes na área de saneamento, e serve de bibliografia inicial para diversos estudos mais aprofundados a serem elaborados. Desse modo, indicam-se os seguintes temas para pesquisas futuras: inovações tecnológicas em métodos de tratamento, como osmose reversa e reatores combinado; reúso do efluente tratado; e utilização de emissários submarinos para disposição final.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília: ANA, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11486** – Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário – Projeto de redes coletoras com tubos de PVC. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12207** – Projeto de interceptores de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12208** - Projeto de estação elevatória de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209** – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648** – Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649** – Projetos de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

AZEVEDO NETTO, J.M. et al. **Manual de Hidráulica**, 6ª ed. São Paulo: Blücher, 1983.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026. Brasília: Diário Oficial da União, 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**. Brasília: Diário Oficial da União, 2005.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**. Brasília: Diário Oficial da União, 2011.

FONSECA, P.L. **Notas de Aula – Saneamento Básico I: Sistemas urbanos de esgoto**. Niterói: Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, 2019.

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. **Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges**. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**: 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 1ª ed. Rio de Janeiro. ABES. 1995

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª ed. Rio de Janeiro. ABES. 2011

JORDÃO, Eduardo Pacheco. **O tratamento de esgotos e a crise hídrica no Brasil**. São Paulo: ABES, 2015.

MACEDO, Eugenio Eduardo Q. **II-281 – Atualização da constante da fórmula que determina a vazão de esgotos pelo método da área edificadas no sistema separador absoluto**. São Paulo: ABES, 2017.

METCALF & EDDY, INC. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**: 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

OLIVEIRA, D. V. M. DE. **Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR)**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008.

OMS. **Guidelines on sanitation and health**. Switzerland: World Health Organization, 2018.

RIO DE JANEIRO. **DZ-215 R-4** - Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária. Rio de Janeiro: Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

RIO DE JANEIRO. **DZ-942 R-7** - Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos - PROCON ÁGUA. Rio de Janeiro: Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 1991.

RIO DE JANEIRO. **NOP-INEA-45** - Critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: CONEMA, 2021.

RIO DE JANEIRO. **NT-202 R-10** - Critérios e Padrões Para Lançamento de Efluentes Líquidos. Rio de Janeiro: Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 1986.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019.

TONETTI, Adriano Luiz et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para a escolha de soluções**. Campinas: Unicamp, 2018.

TSUTIYA, M. T; ALÉM SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**: 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de São Paulo, 2000.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: 2 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996,