

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA TROJAN

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA
O CAMPUS UTFPR-LD**

LONDRINA

2024

ANA CAROLINA TROJAN

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA
O CAMPUS UTFPR-LD**

PRE-SIZING OF SEWAGE TREATMENT PLANT FOR THE UTFPR-LD CAMPUS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

LONDRINA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANA CAROLINA TROJAN

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA
O CAMPUS UTFPR-LD**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 02/Fevereiro/2024

Rafael Montanhini Soares de Oliveira

Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Joseane Debora Peruço Theodoro

Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ajadir Fazolo

Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2024

Dedico este trabalho a todas as mulheres da minha
Família. Meu exemplo de força e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata a Deus por toda perseverança e bênçãos que tenho recebido. Mesmo nos momentos em que desistir parecia a opção mais fácil, Ele sempre me concedeu uma luz de esperança para continuar.

A minha família por terem sido meu pilar de apoio, mesmo diante da minha persistência por tanto tempo, mesmo sem entenderem completamente meus motivos. À minha mãe Claudia, em especial, sou imensamente grata por ter me matriculado na UTFPR e por todo apoio incansável, mesmo nos momentos mais difíceis. Ao meu pai, Adão, e a meus irmãos, Rodrigo e Camila, agradeço pelo amor, assistência e compreensão diante de minha ausência. Agradeço também ao meu avô Vitoldo por nunca negar sua ajuda, e à minha tia Josana, por me explicar as maravilhas do mundo desde nova, isso me inspirou a seguir esta graduação. À minha avó Cecília, sinto suas bênçãos a cada passo do meu caminho. Em especial a minha toda família Trojan e tanto me orgulha e me transborda de amor, gosto e tenho orgulho desse sobrenome.

Ao 303A e a todos que por ele passaram, expresso minha gratidão profunda. Vocês foram minha família e meu alicerce ao longo dos anos. Obrigada pelas risadas, conselhos, apoio e momentos especiais compartilhados. Sou grata a Deus por ter colocado tantas pessoas especiais em minha vida. Reconheço que sozinha não teria alcançado tudo isso.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, agradeço por todo o conhecimento adquirido. Ao meu orientador, minha gratidão pela paciência e apoios constantes. E à minha banca, meus professores favoritos, agradeço por estarem ao meu lado.

RESUMO

O termo 'tratamento descentralizado' refere-se à localização do tratamento da água ou efluente próximo ao local de geração. A opção por um sistema de tratamento descentralizado instalado na instituição de ensino promove um ambiente para pesquisa e exemplifica uma boa prática. Apesar da população que ocupa o UTFPR Campus de Londrina ter uma permanência sazonal, a geração de efluentes é consideravelmente baixa, e o pré-dimensionamento da estação de tratamento para uma universidade de porte pequeno satisfaz a demanda gerada. O presente projeto de pré-dimensionamento compreende três fases de tratamento: uma preliminar, que remove os resíduos grosseiros; um tratamento primário, responsável pela remoção de sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão; e um tratamento secundário, que realiza a remoção da matéria orgânica por digestão anaeróbica. A comissão de saneamento da universidade forneceu dados da vazão gerada pelos blocos A, B, K, L e RU, e esses dados foram tratados para gerar valores de vazão mínima, média e máxima durante os meses de agosto a dezembro. Devido ao número baixo de vazão, foram obtidos valores pequenos para as dimensões da ETE. As contas foram realizadas manualmente, e os resultados foram confirmados utilizando o programa Excel para garantir precisão nos valores obtidos. Atualmente, o efluente gerado na universidade é encaminhado para a companhia de saneamento da cidade. Portanto, a terceira fase do tratamento, que visa a remoção de organismos patogênicos, pode ser dispensável.

Palavras-chave: tratamento; efluente; instituição; dimensionamento.

ABSTRACT

The term 'decentralized treatment' refers to the location of water or effluent treatment near the point of generation. Opting for a decentralized treatment system installed at the educational institution promotes a research environment and exemplifies good practice. Despite the population occupying the UTFPR Campus in Londrina having seasonal presence, effluent generation is considerably low, and the pre-dimensioning of the treatment station for a small-sized university satisfies the generated demand. The present pre-dimensioning project comprises three treatment phases: a preliminary one, which removes coarse residues; a primary treatment, responsible for removing sedimentable solids and suspended solids; and a secondary treatment, which performs organic matter removal through anaerobic digestion. The university's sanitation committee provided data on the flow generated by blocks A, B, K, L, and RU, and this data was processed to generate minimum, average, and maximum flow values for the months of August through December. Due to the low flow rate, small values were obtained for the dimensions of the ETE. The calculations were done manually, and the results were confirmed using the Excel program to ensure precision in the obtained values. Currently, the effluent generated at the university is sent to the city's sanitation company. Therefore, the third phase of treatment, which aims at removing pathogenic organisms, may be dispensable.

Keywords words: treatment; effluent; institution; sizing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esgotamento sanitário, 2017	20
Figura 2 - Descrição dos níveis de tratamento	22
Figura 3 - Fase do tratamento preliminar	23
Figura 4 - Modelo de caixa de areia	25
Figura 5 - Decantador primário circular	29
Figura 7 - UTFPR Campus Londrina.....	35
Figura 8 - Curva de nível 5 metros do terreno	36
Figura 9 - Dados da vazão do Campus Londrina	36
Figura 10 - Caixa de areia	39
Figura 12 - Localização sugerida para a ETE.....	47
Figura 13 - Escolha da calha Parshall	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica físico-químicas dos esgotos	17
Tabela 2 - Classificação das grades para o gradeamento	23
Tabela 3 - Quantidade de material retido nas grades	24
Tabela 4 - Dimensões para escolha da Calha Parhsall	40

Equação 1 - Cálculo da perda de carga nas grades	37
Equação 2 - Área da secção transversal do canal	37
Equação 3 - Área útil da grade	38
Equação 4 - Cálculo da velocidade 1.....	39
Equação 5 - Cálculo da velocidade 2.....	39
Equação 6 - Cálculo da altura do líquido	40
Equação 7 - Cálculo da altura do líquido	40
Equação 8 - Eficiência da grade.....	41
Equação 9 - Área útil da grade	41
Equação 10 - Cálculo da área da secção do canal	41
Equação 11 - Largura do canal da grade.....	41
Equação 12 - Perda de carga na grade limpa	42
Equação 13 - Perda de carga na grade limpa 50% obstruída	42
Equação 14 - Cálculo da área da secção transversal	42
Equação 15 - Cálculo da largura da caixa de areia	42
Equação 16 - Cálculo do comprimento da caixa	43
Equação 17 - Cálculo da taxa de escoamento superficial	43
Equação 18 - Área superficial do decantador.....	43
Equação 19 - Vazão máxima horária de esgoto.....	45
Equação 20 - Volume útil do reator	45
Equação 21 - Velocidade ascensional na zona de manto de lodo	45
Equação 22 - Velocidade de passagem para a zona de decantação	46
Equação 23 - Velocidade de escoamento à superfície da zona de decantação	46
Equação 24 - Perda de carga na grade limpa 50% obstruída	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	DESENVOLVIMENTO	16
3.1	ESGOTO SANITÁRIO	16
3.1.1	Característica do Esgoto	17
3.1.2	Características físicas	17
3.1.3	Características químicas	18
3.1.4	Características Biológicas	19
3.2	ESTATÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL	19
3.3	SANEAMENTO BÁSICO	21
3.4	ETAPAS DO TRATAMENTO DE ESGOTO	21
3.4.1	Tratamento Preliminar	22
<u>3.4.1.1</u>	<u>Gradeamento</u>	<u>23</u>
<u>3.4.1.2</u>	<u>Desanador</u>	<u>25</u>
<u>3.4.1.3</u>	<u>Calha Parshal</u>	<u>26</u>
3.4.2	Tratamento Primário	26
<u>3.4.2.1</u>	<u>Decantador primário</u>	<u>26</u>
3.4.3	Tratamento Secundário	29
<u>3.4.3.1</u>	<u>Reator UASB</u>	<u>29</u>
<u>3.4.3.2</u>	<u>Leito de secagem</u>	<u>31</u>
3.5	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	32
4	MATERIAS E MÉTODOS	33

4.1	A UTFPR CAMPUS LONDRINA	34
4.2	ESTUDOS PRELIMINARES PARA LOCALIZAÇÃO DA ETE	35
4.3	ESTIMATIVAS DAS VAZÕES	36
4.4	TRATAMENTO PREMILINAR	37
4.4.1	Gradeamento	37
4.4.2	Desarenação	38
4.4.3	Perda de Carga na Grade	41
4.4.4	Cálculo da caixa de areia	42
4.5	TRATAMENTO PRIMÁRIO	43
4.5.1	Decantador	43
4.6	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	44
4.6.1	Reator UASB	44
5	RESULTADOS	46
5.1	LOCALIZAÇÃO SUGERIDA PARA A ETE NO CAMPUS	46
5.2	DADOS PRELIMINARES	47
5.3	TRATAMENTO PRELIMINAR	47
5.4	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	52
6	CONCLUSÃO	53
7	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Esgoto refere-se à água proveniente de atividades como banho, limpeza e descarga do vaso sanitário, com diferentes denominações para resíduos domésticos e industriais, e águas pluviais. O esgoto não tratado contém agentes patogênicos, microrganismos e resíduos tóxicos, representando riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Portanto, sistemas de coleta e tratamento são cruciais para evitar contaminação e doenças, contribuindo para o controle da poluição da água (SAAE, 2021). Um sistema de esgoto sanitário é um conjunto de obras e instalações planejadas e construídas com o propósito de coletar, afastar, tratar e dispor de forma contínua e higienicamente segura o esgoto sanitário de uma comunidade (Azevedo Netto; Fernandez; Araújo; Ito, 1998).

De acordo com Imhoff (1996), existem vários processos disponíveis para o tratamento de esgoto, podendo ser aplicados de forma individual ou combinada. A decisão sobre qual processo adotar deve ser baseada, principalmente, na consideração do curso d'água receptor (por meio de estudos de autodepuração e conformidade com os limites estabelecidos pela legislação ambiental) e nas características do esgoto bruto gerado. Nesse contexto, é essencial observar cuidadosamente os métodos a serem utilizados, levando em conta a eficiência, o custo e a disponibilidade de área para implementação e construção.

Jordão e Pessôa (2011) classificam as etapas do tratamento da seguinte maneira: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário, cada uma com funções específicas e resultados particulares.

Na etapa inicial do tratamento, conhecida como tratamento preliminar, ocorre a separação de sólidos grosseiros e areias, esse processo envolve o uso de gradeamento ou peneiras rotativas. Para separar a água residual da areia, são empregados canais de desarenação, nos quais a separação ocorre por sedimentação. O tratamento primário é uma fase que se concentra em processos físico-químicos para remover objetos flutuantes da superfície do efluente. Isso é realizado por meio da sedimentação e floculação, levando esses materiais a um processo químico de tratamento da matéria orgânica (COPASA, 2016). O tratamento secundário visa principalmente remover a matéria orgânica que se encontra dissolvida. Von Sperling explica que a matéria orgânica dissolvida (Demanda

Bioquímica de Oxigênio -DBO solúvel) não pode ser removida apenas por métodos físicos, como ocorrido nas fases anteriores do tratamento então o tratamento secundário destaca-se ao empregar tecnologias, que utilizam princípios biológicos, para a degradação dessa matéria orgânica, sendo esse o diferencial dessa etapa (VON SPERLING, 2005).

Conforme a CAERN – Companhia de Água de Esgoto do Rio Grande no Norte (2016), antes do descarte final no corpo receptor, é comum realizar a desinfecção das águas residuárias tratadas para eliminar microrganismos, ou, em casos especiais, remover nutrientes como nitrogênio e fósforo que podem degradar corpos d'água. Essa etapa é conhecida como tratamento terciário, envolvendo a remoção de microrganismos e nutrientes do esgoto. Métodos comuns incluem a desnitrificação em condições anóxicas, a remoção de fósforo por processos químicos, e a desinfecção por meio de cloração, ozonização ou radiação ultravioleta.

Com o propósito de explorar os benefícios decorrentes da implementação de um sistema de tratamento descentralizado, além da criação de um ambiente propício para pesquisa científica e a demonstração de boas práticas à sociedade, este projeto tem como objetivo calcular um pré-dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto com fases preliminar, primária e secundária para o Campus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um projeto preliminar de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) para a Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cálculo do dimensionamento na fase preliminar
- Cálculo do dimensionamento da fase primária
- Cálculo do dimensionamento na fase secundária

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ESGOTO SANITÁRIO

Segundo CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) esgoto, efluente e águas servidas referem-se a líquidos residuais provenientes de atividades domésticas e industriais que precisam passar por um tratamento adequado para a remoção de impurezas, de modo a permitir seu retorno seguro ao meio ambiente, sem prejudicar a saúde humana ou causar danos ambientais (CAESB, 2023). O esgoto não tratado abriga diversos microrganismos, agentes patogênicos, resíduos tóxicos e nutrientes que estimulam a proliferação de bactérias, vírus e fungos menos abundantes (SAAEC, 2023)

Os esgotos sanitários podem ser subdivididos em rurais e urbanos, e são resultantes do descarte das águas de abastecimento. A utilização da água é empregada em diversas atividades, incluindo aquelas de natureza comercial, doméstica, pública, agrícola e industrial, cada uma acrescentando à água uma variedade de componentes com diferentes características químicas, físicas e biológicas, dando origem ao esgoto sanitário (JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009).

Existem duas classificações principais de esgotos: os esgotos sanitários e os esgotos industriais. Os esgotos sanitários são caracterizados por uma composição bem definida, sendo constituída por esgotos domésticos, uma pequena parcela de águas pluviais, infiltrações, e ocasionalmente uma proporção de efluentes industriais. Por sua vez, os esgotos industriais são originados a partir de diversas atividades industriais que fazem o uso de água, adquirindo características distintas de acordo com os processos industriais específicos utilizados (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Devido à sua ligação com o uso de água, a geração de esgoto pode variar conforme as estações do ano, dias da semana e horários do dia. Essas flutuações tendem a ser mais significativas em comunidades menores do que em comunidades maiores e mais acentuadas em intervalos curtos do que em períodos prolongados (MACKENZIE, 2010)

3.1.1 Característica do Esgoto

Os esgotos sanitários variam no espaço, em função de diversas variáveis desde clima até hábitos culturais, podendo variar também ao longo do tempo tornando sua caracterização mais complexa. A Tabela 1 apresenta as características físico-químicas do esgoto, classificando em esgoto forte, médio e fraco.

Tabela 1 - Característica físico-químicas dos esgotos

Característica	Forte	Médio	Fraco
Carbono Org. Total (mg/L)	290	160	80
Cloreto (mg/L)	100	50	30
DBO 5,20 (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
Fósforo Inorgânico (mg/L)	10	05	03
Fósforo Orgânico (mg/L)	05	03	01
Fósforo Total (mg/L)	15	08	04
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	08
Nitrogênio Orgânico Total (mg/L)	290	160	80
Nitrogênio Total – NTL (mg/L)	85	40	20
Óleos e Graxas (mg/L)	150	100	50
Sulfato (mg/L)	50	30	20

Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

De acordo com o manual de saneamento, feito pela FUNASA (Fundação Nacional da Saúde), as características físicas, químicas e biológicas tem os seguintes aspectos:

3.1.2 Características físicas

As principais características físicas associadas aos esgotos domésticos abrangem:

- **Matéria sólida:** Os esgotos domésticos consistem majoritariamente em água, com cerca de 99,9% de sua composição, contendo apenas 0,1% de

sólidos. Este pequeno percentual de sólidos é a principal fonte de poluição das águas, tornando o tratamento de esgoto essencial

- Temperatura: A temperatura dos esgotos geralmente é ligeiramente superior à da água de abastecimento, afetando a velocidade de decomposição, aumentando a temperatura.
- Cor e turbidez: A cor e a turbidez servem como indicadores imediatos do grau de decomposição do esgoto. Uma tonalidade acinzentada com alguma turbidez é característica de esgoto fresco, enquanto a cor preta é típica do esgoto mais envelhecido
- Variação de Vazão: A vazão do efluente varia de acordo com os hábitos dos moradores. A vazão doméstica é calculada com base no consumo médio diário de água por pessoa, com cerca de 80% do volume de água consumido é transformado em esgoto lançado na rede.

3.1.3 Características químicas

As principais características químicas dos esgotos podem ser divididas em matéria orgânica e matéria inorgânica.

- Matéria Orgânica: Cerca de 70% dos sólidos presentes nos esgotos são de origem orgânica. Esses compostos orgânicos são predominantemente compostos por carbono, hidrogênio, oxigênio e, ocasionalmente, nitrogênio.
- Matéria Inorgânica: A matéria inorgânica nos esgotos é composta principalmente por areia e substâncias minerais dissolvidas

Os grupos de substâncias orgânicas nos esgotos incluem:

- Proteínas (40 a 60%): São fontes de nitrogênio e contêm carbono, hidrogênio, oxigênio, e às vezes fósforo, enxofre e ferro. As proteínas são o principal componente de organismos animais, mas também estão presentes em plantas. O gás sulfídrico nos esgotos provém do enxofre fornecido pelas proteínas.
- Carboidratos (25 a 50%): Contém carbono, hidrogênio e oxigênio. São as principais substâncias degradadas por bactérias, resultando na produção de ácidos orgânicos (por isso, esgotos mais antigos tendem a ser mais ácidos)

- Gorduras: São equivalentes a matéria graxa e óleos, frequentemente originados de resíduos domésticos, como manteiga, óleos vegetais e gordura animal.
- Sulfatantes: São compostos orgânicos com a capacidade de formar espuma em corpos receptores ou estações de tratamento de esgoto
- Fenóis: São compostos orgânicos derivados de despejos industriais.

3.1.4 Características Biológicas

As principais características biológicas do esgoto incluem:

- Microorganismos de Águas Residuais: Os esgotos contêm diversos tipos de microorganismos, como bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas. Entre esses microorganismos, as bactérias desempenham um papel fundamental, sendo responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto no ambiente natural como nas estações de tratamento de esgoto
- Indicadores de Poluição: Existem vários organismos cuja presença em corpos d'água indica a ocorrência de poluição de alguma forma. Para avaliar a poluição de origem humana, são usados os organismos do grupo coliforme como indicadores. As bactérias coliformes são típicas do intestino humano e de outros animais de sangue quente (mamíferos). Devido à sua presença nas fezes humanas e a facilidade de detecção, elas são adotadas como referência para indicar e medir o grau de poluição. A presença de coliformes é usada como um indicador seguro da possível presença de patógenos.

3.2 ESTATÍSTICAS DO ESGOTO SANIÁRIO NO BRASIL

Segundo os dados do Trata Brasil 2015, 7 em cada 10 pessoas vivem sem saneamento adequado no mundo, mais de 1 bilhão de pessoas ainda não têm acesso a um banheiro, o que significa que um em cada 4 pessoas continua fazendo suas necessidades sanitárias ao ar livre. No Brasil, 44,2% dos brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto, o que equivale a aproximadamente 100 milhões de habitantes. Quase metade do esgoto produzido no Brasil, 48,8% não passa por

tratamento adequado. Em 2020, o percentual de esgoto não tratado representava 5,3 milhões de piscinas olímpicas.

A Figura 1 representa o esgotamento sanitário em 2017, divulgado pelo IBGE.

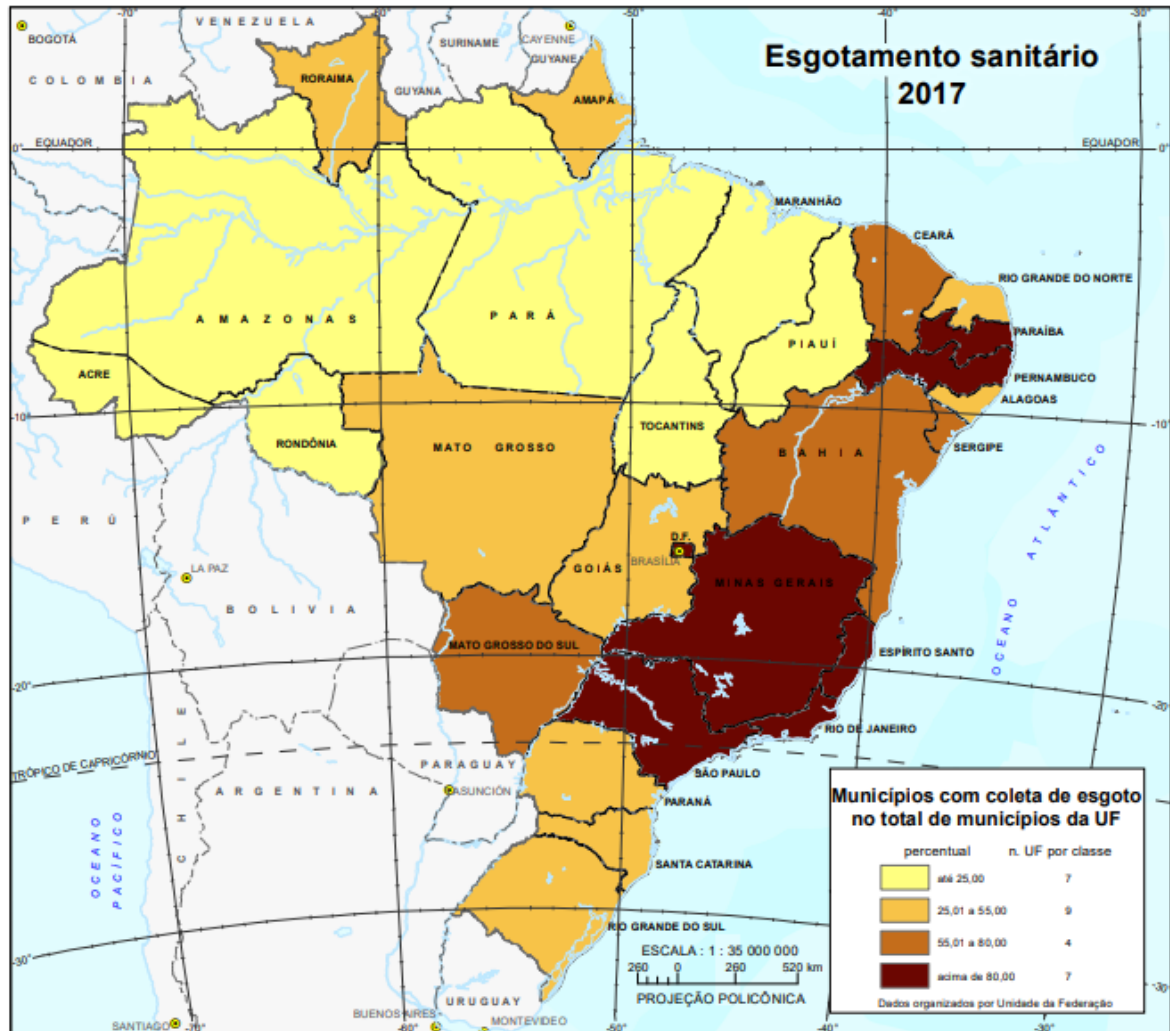


Figura 1 - Esgotamento sanitário, 2017

Fonte: Atlas Saneamento – IBGE

Diariamente, cerca de 5,5 mil toneladas de esgoto não tratado é despejada, em sua maioria, nos rios, mas também atingem reservatórios de água, mananciais e lagos em todo o país. De acordo com os dados, 43% de população urbana brasileira é servida por sistemas coletivos, incluindo rede coletora e estação de tratamento, enquanto 12% dependem de soluções individuais, como fossas sépticas. Além disso, 18% encontram-se na situação em que os esgotos são coletados, mas não passam por tratamento, e 27% estão completamente desprovidos de serviços de esgotos, o que significa a ausência tanto de coleta quanto de tratamento (GLOBO, 2017).

As Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) foram responsáveis por cerca de 0,9% dos óbitos registrados no Brasil durante o período de 2008 a 2019. Dentro das mortes decorrentes exclusivamente de doenças infecciosas e parasitárias no país, as DRSAI foram responsáveis por 21,7 % do total de óbitos nesse período. Durante esse intervalo de tempo, o Brasil registrou um total de 11.881.430 casos de DRSAI, resultando 4.877.618 internações no Sistema Único de Saúde (SUS). As principais causas de óbitos relacionadas a essas doenças incluíram a doença de Chagas, diarreia e disenteria, que juntas representam aproximadamente 81,5% das mortes ocorridas nesse período (AGENCIA BRASIL, 2021).

3.3 SANEAMENTO BÁSICO

O serviço público de saneamento básico assume um papel de extrema relevância quando se trata da intersecção entre saúde e meio ambiente. Ele engloba um conjunto de ações voltado para a preservação e adaptação do ambiente com o propósito de prevenir doenças, promover o bem-estar da população, aprimorar a qualidade de vida, aumentar a produtividade individual e facilitar o desenvolvimento econômico (TRATA BRASIL, 2021).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) representa um abrangente projeto de planejamento que contempla os quatro pilares essenciais do saneamento básico: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Com uma visão de longo prazo, estendendo-se de 2014 a 2033, o PLANSAB foi oficializado por meio do Decreto nº 8.141 de novembro de 2013 e pela Portaria Interministerial nº 571 de dezembro de 2013, em conformidade com a Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, regulamentada pelo Decreto nº 7.217. Este plano é submetido a avaliações anuais e revisões a cada quatro anos, evidenciando o compromisso com o aprimoramento contínuo das políticas de saneamento básico no Brasil.

3.4 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de esgoto tem como objetivo principal eliminar poluentes da água utilizada pela população, tornando-a adequada para retorno aos corpos d'água

de acordo com as normas ambientais. Isso é realizado por meio das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), onde o esgoto é submetido a uma série de processos, abrangendo aspectos químicos, físicos e biológicos, a fim de assegurar uma remoção eficaz dos poluentes (BRK, 2019).

Os procedimentos de tratamento de esgoto podem ser categorizados de acordo com a sua natureza, que engloba os aspectos físicos, químicos e biológicos envolvidos no processo. Além disso, podem ser classificados conforme sua capacidade de remover ou modificar características específicas dos resíduos. Outra abordagem de classificação é baseada na eficiência alcançada por diferentes dispositivos de tratamento, mensurada em termos de redução de matéria orgânica ou de sólidos em suspensão (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

A Figura 2 apresenta as etapas do tratamento de esgoto em uma Estação de Tratamento de Esgoto seguindo um processo seqüencial de quatro etapas. Na etapa preliminar, ocorre a remoção de sólidos maiores, como sólidos grosseiros e areia, seguida pelo tratamento primário, onde ocorre a separação de sólidos mais densos e matéria orgânica por sedimentação. A etapa secundária envolve o tratamento biológico, onde os microorganismos decompõem a matéria orgânica restante. Por fim, o tratamento terciário é aplicado para a remoção de organismos patogênicos e a remoção de nutrientes.

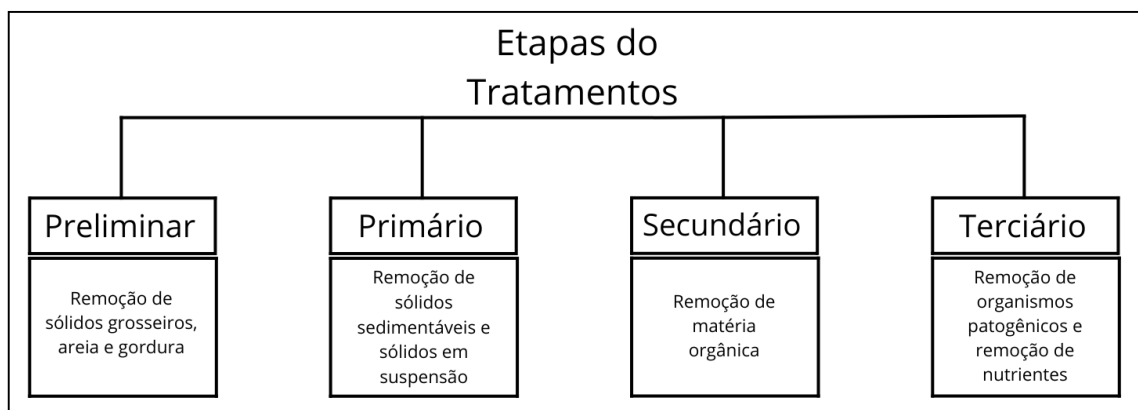


Figura 2 - Descrição dos níveis de tratamento

Fonte: Adaptado de Andrade, 2016

3.4.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar compreende a fase inicial do tratamento de efluentes sanitários, cujo propósito principal é a remoção de sólidos grosseiros e areia, por

meio de processos de remoção física. Essa etapa é encarregada de retirar materiais passíveis de serem inadequadamente descartados e que possam entrar na rede coletora de esgoto, como plásticos, madeira, papel, folhas e entre outros (ANDRADE, 2016).

Nesta etapa, além das unidades de remoção de sólidos maiores, existe uma unidade específica para a medição da vazão de esgoto. Em muitos casos, essa unidade é construída em conformidade com as dimensões padronizadas da Calha Parshall, na qual, através do nível de líquido medido e a utilização de uma curva-chave corresponde, é possível estimar a vazão. Além disso, para a medição da vazão, pode-se também empregar vertedores e dispositivos projetados para operar em tubulações fechadas, embora essas abordagens sejam menos comuns no contexto do tratamento de esgoto bruto (VON SPERLING, 2005)

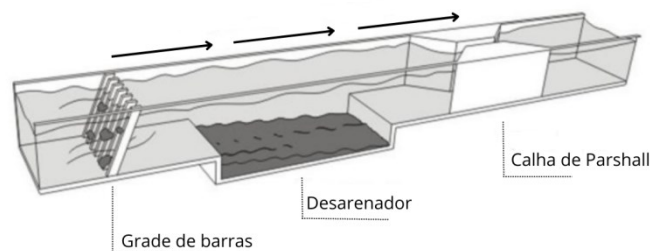


Figura 3 - Fase do tratamento preliminar
Fonte: Adaptado JORDÃO E VOLSCHAN, 2009

3.4.1.1 Gradeamento

O gradeamento é a etapa inicial no processo de tratamento de esgoto, sendo projetado com a finalidade de reter sólidos grosseiros. Os dispositivos utilizados para eliminar os sólidos grosseiros, conhecidos como grade, são compostos por barras paralelas de ferro ou aço, colocadas no canal de entrada dos esgotos na estação de tratamento. Essas barras podem ser dispostas de forma perpendicular ou inclinadas. As grades devem permitir o fluxo contínuo dos esgotos sem causar perdas significativas na carga hidráulica.

As grades podem ser classificadas de acordo com o espaçamento entre as barras, conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação das grades para o gradeamento

Tipo	Espaçamento (cm)
Grade Grossa	4 – 10

Grade média	2 – 4
Grade Fina	1 – 2

Fonte: Jordão e Pessoa (1995)

As grades compostas por barras podem ser mantidas por limpeza manual ou mecanizada. De acordo com a Norma Brasileira - NBR - 12209:2011, a utilização de limpeza mecanizada é apropriada quando a vazão máxima de entrada é igual ou superior a 100 L/s, ou quando o volume de material a ser retido justifica o emprego de equipamento mecanizado, exceto no caso das grades mais robustas. Esse método também leva em consideração as dificuldades operacionais associados à localização e à profundidade do canal de entrada. Quando a limpeza for mecanizada, é recomendável a instalação de pelo menos duas unidades, ambas com capacidade para a vazão da entrada total, sendo uma delas disponível como reserva e podendo ainda ser utilizada para limpeza manual. Em situações em que há risco de danos ao equipamento de limpeza mecanizada, é aconselhável a instalação de uma grade robusta destinada à limpeza manual do montante.

Pela NBR 12209:2011, o dimensionamento das grades deve observar os seguintes critérios:

- (...) a) A velocidade máxima através da grade para vazão final é de 1,20 m/s;
- b) A inclinação das barras em relação à horizontal dever ser:
 - de 45 a 60° para grades de limpeza manual
 - de 60 a 90° para grades de limpeza mecanizada
- c) Perda de carga mínima a ser considerada no cálculo para estudo das condições de escoamento de montante:
 - para grades de limpeza manual: 0,15m
 - para grades de limpeza mecanizada: 0,10m
- d) No caso de grade de limpeza manual, a perda de carga deve ser calculada para 50% de obstrução. (...)

A quantidade de material retido nas grades chega a atingir na prática cerca de 0,04 L/m³ de esgoto. A Tabela 3 relaciona a quantidade de material retido com o espaçamento entre as grades:

Tabela 3 - Quantidade de material retido nas grades

Espaçamento (cm)	2,0	2,5	3,0	4,0
Quantidade (l/m³)	0,038	0,023	0,012	0,009

Fonte: Jordão e Pessoa (1995)

As grades são dimensionadas de modo a permitir uma velocidade de fluxo de 0,6 a 1,0 m/s, levando em consideração a velocidade máxima de esgotos sanitários

por hora. Elas são projetadas para suportar uma obstrução máxima de até 50% de sua área, e as perdas de carga mínimas recomendadas são de 0,15 metros para grades de limpeza manual e 0,10 metros para grades com limpeza mecanizada (PIVELI, 2007)

3.4.1.2 Desanador

A areia encontrada no esgoto sanitário pode ser retirada de maneira eficaz por meio do uso de caixas de areia ou desanadores. Von Sperling explica que o mecanismo para a remoção da areia é a sedimentação, onde os grãos de areia se depositam no fundo do tanque devido à sua densidade e dimensões, enquanto a matéria orgânica permanece em suspensão e é tratada nas etapas subseqüentes (VON SPERLING, 2005). A Figura 4 demonstra um modelo simplificado de caixa de areia.



Figura 4 - Modelo de caixa de areia
Fonte: Jordão e Pessôa (2009).

De acordo com a NBR 12209:2011, o desarenador deve ser projetado para remoção mínima de 95% em massa das partículas com diâmetro igual ou superior a 0,2 mm e densidades de 2,65. O desarenador pode ser de limpeza manual ou mecanizada, devendo ser de limpeza mecanizada quando a vazão do dimensionamento for igual ou superior a 100 l/s.

A NBR 12209:2011 apresenta os tipos de desarenador mecanizado que são considerados:

- (...) a) de fluxo horizontal e seção retangular (tipo canal de velocidade constante), com remoção de areia retida por meio de bomba aspiradora, parafuso helicoidal, corrente e caçamba, ou clamshell;
- b) de fluxo horizontal e seção quadrada, com remoção de areia retida por meio de braços raspadores e lavador de areia;
- c) de fluxo espiral, aerado, com remoção da areia retida por meio de bomba aspiradora, parafuso helicoidal, corrente e caçamba, ou clamshell;

- d) de fluxo tangencial, com remoção de areia retida por meio de bomba aspiradora, ou air-lift;
- e) de fluxo em vórtice (tipo ciclone ou similar). (...)

As caixas de areia são projetadas para manter uma velocidade média dos esgotos de 0,30 m/s. Para garantir que a velocidade seja mantida aproximadamente constante, mesmo diante das variações de vazão, uma calha Parshall é instalada a jusante. Velocidades baixas, especialmente aquelas inferiores a 0,15 m/s, podem resultar na acumulação de matéria orgânica na caixa, indicada pelo aumento de relação SSV/SST do material retido, o que levar à emissão de odores desagradáveis devido à composição. Por outro lado, velocidades acima de 0,40 m/s podem causar o arrastamento de areia e uma redução na quantidade retida (PIVELI, 2007).

3.4.1.3 Calha Parshal

Além das unidades de remoção de sólidos grosseiros, há uma unidade específica dedicada à medição da vazão de esgoto. Geralmente, essa unidade é composta por uma calha Parshall com dimensões padronizadas. Através da medição do nível do líquido e do uso de uma curva chave associada, é possível estimar a vazão correspondente (ANDRADE, 2006). A calha Parshall é um dispositivo de medição de vazão que, através de estrangulamento e ressaltos, cria uma relação entre a vazão e a altura da lâmina d'água em uma seção vertical específica a montante. Amplamente empregado em estações de tratamento, esse medidor desempenha um papel crucial na manutenção da eficiência operacional do sistema. Geralmente, trata-se de um equipamento pré-fabricado adquirido de acordo com o projeto e instalado após o desarenador (VON SPERLING, 2017)

3.4.2 Tratamento Primário

3.4.2.1 Decantador primário

Após passarem pelas etapas de tratamento preliminar, os esgotos ainda carregam sólidos em suspensão não grosseiros, que podem parcialmente ser removidos em unidades de sedimentação. Uma parte parcela considerável desses sólidos em suspensão consistem em matéria orgânica em suspensão. (VON SPERLING, 1996). Nos decantadores primários, sob as condições de escoamento consideradas em seus projetos, é possível alcançar a remoção de 40 a 60% dos

sólidos em suspensão presentes nos esgotos sanitários, equivalendo a aproximadamente 30 a 40% de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) (PIVELI, 2007).

A clarificação do esgoto é função principal do decantador primário, promovendo a remoção de sólidos, sejam eles isolados ou sedimentados em flocos devido ao seu próprio peso. A acumulação desses sólidos no fundo do decantador resulta na formação do lodo primário. Além disso, neste estágio, ocorre a remoção de elementos flutuantes, como óleos, graxas e espumas (NUVOLARI, 2011).

A sedimentação é primeiramente controlada pela concentração de partículas em suspensão, com uma resistência maior à sedimentação em meios mais concentrados. Em suspensões diluídas, ocorre a sedimentação do tipo I, onde as partículas se depositam individualmente com uma velocidade constante. À medida que a concentração de sólidos aumenta, prevalece a sedimentação do tipo II, floculante, formando flocos de maior velocidade de sedimentação. Com concentrações ainda maiores, ocorre a sedimentação do tipo III, com dificuldade de saída de água em contra-corrente. O tipo IV, por compressão, ocorre em suspensões altamente concentradas, como nos decantadores secundários e adensadores de lodo, onde a “sedimentação” ocorre pelo peso das partículas sobre as outras, liberando água intersticial. Cada tipo requer considerações específicas para o projeto de unidades (PIVELI, 2007).

Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares. O fluxo dos esgotos ocorre de maneira lenta através desses decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, com densidade maior que a do líquido circundante, se depositem gradualmente no fundo. Essa acumulação de sólidos é conhecida como lodo primário bruto. Nas estações de tratamento de esgotos, a remoção desse lodo pode ser feita por meio de uma tubulação única em tanques de maior porte. Materiais flutuantes, como graxas e óleos, de densidade inferior à do líquido circundante, emergem para a superfície dos decantadores, onde serão coletados e posteriormente removidos para tratamento adicional (VON SPERLING, 1996).

De acordo com a NBR 12209:2011, os decantadores primários devem ser dimensionados com base na vazão máxima horária de esgotos sanitários e para vazões de dimensionamento superiores a 250 L/s deve-se empregar mais de um decantador. Para a determinação da área de decantação deve-se utilizar como parâmetro a taxa de escoamento superficial.

A NBR 12209:2011 dispõe que a taxa de escoamento superficial deve ser compatível com a eficiência de remoção desejada, e ainda igual ou inferior a:

- (...) a) $60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ quando preceder processo de filtração biológica;
- b) $90 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ quando preceder processo de lodo ativado;
- c) $90 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ quando o processo for de decantação primária quimicamente assistida(...)

Segundo Piveli, é comum utilizar uma taxa de aproximadamente $60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ para decantadores primários em sistemas de filtros biológicos, enquanto em sistemas de lodos ativados, essa taxa pode chegar a até $90 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Determina-se a área de decantação através da taxa de escoamento superficial e o volume do decantador através do tempo de detenção. Sabendo a área e volume, pode-se obter a profundidade útil dos decantadores. A NBR 12209:2011 sugere que o tempo de detenção para a vazão média deve ser inferior a 3 horas e, para vazão máxima, superior a 1 hora

A NBR 12209:2011 impõe que a tubulação de remoção de lodo deve ter diâmetro mínimo de 150 mm, a tubulação de transporte de lodo no escoamento por condutos livres deve ter declividade mínima de 3% e a remoção de lodo no fundo deve ser preferencialmente, ser feita de maneira a permitir a observação e controle do lodo removido. O poço de acumulação de lodo no fundo do decantador deve ter paredes com inclinação igual ou superior a 1,5 metro na vertical para 1 metro na horizontal, terminando na base inferior com dimensão horizontal mínima de 50 centímetros.

De acordo com a NBR 12209:2011, para decantadores retangulares a relação comprimento/profundidade mínima de água deve ser igual ou superior a 4:1, para relação largura/profundidade deve ser igual ou superior a 2:1 e para a relação comprimento/largura deve ser igual ou superior a 2:1 e preferencialmente igual ou superior a 4:1. Para decantador circular, a declividade do tanque deve ser igual ou superior a 1:12. Para decantadores retangulares, a velocidade de escoamento horizontal deve ser igual ou inferior a 50 mm/s, quando recebe excesso de lodo ativado, a velocidade deve ser igual ou inferior a 20 mm/s.

A Figura 5 apresenta o esquema de um decantador primário circular:

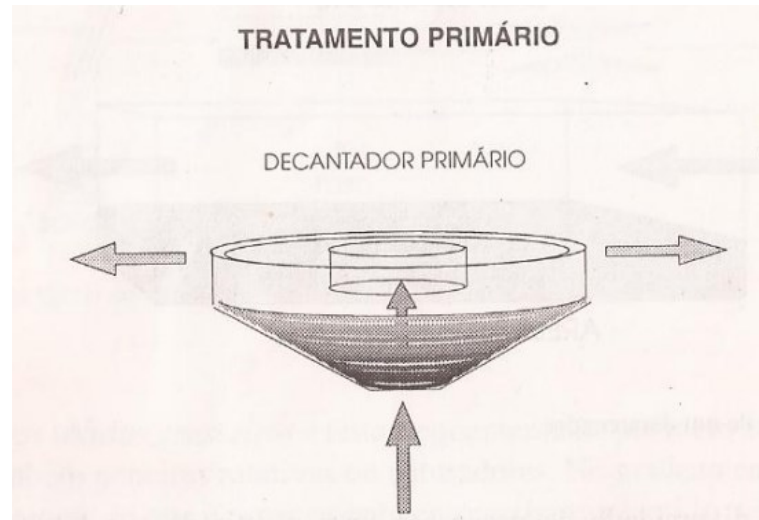


Figura 5 - Decantador primário circular

3.4.3 Tratamento Secundário

3.4.3.1 Reator UASB

O Reator UASB, sigla para "Upflow Anaerobic Sludge Blanket" em inglês, ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manto de Lodo, em português, é uma tecnologia de tratamento biológico de esgoto que se baseia na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Essa tecnologia consiste em uma coluna de fluxo ascendente composta por uma zona de digestão, uma zona de sedimentação e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido UTE. O processo de digestão anaeróbia facilita a decomposição da matéria orgânica, impedindo que esse material contamine rios e lagos e, assim, contribuindo para evitar a poluição ambiental. Além disso, esse processo gera subprodutos valiosos, como dióxido de carbono e metano, conhecido como biogás, que pode ser aproveitado para a geração de energia, como fonte de calor ou combustível veicular (AFONSO, NADALETI, ANDREAZZA, et al., 2016)

O reator UASB é um processo no qual o esgoto flui de forma ascendente através de um leito de lodo denso e altamente ativo (Figura 6). O perfil de sólidos no reator varia desde uma densidade elevada, com partículas granulares de rápida sedimentação próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve próximo ao topo do reator (manta de lodo). A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do

sistema promovida pelo fluxo ascendente do esgoto e pelas bolhas de gás (CHERINCHARO, 2007).

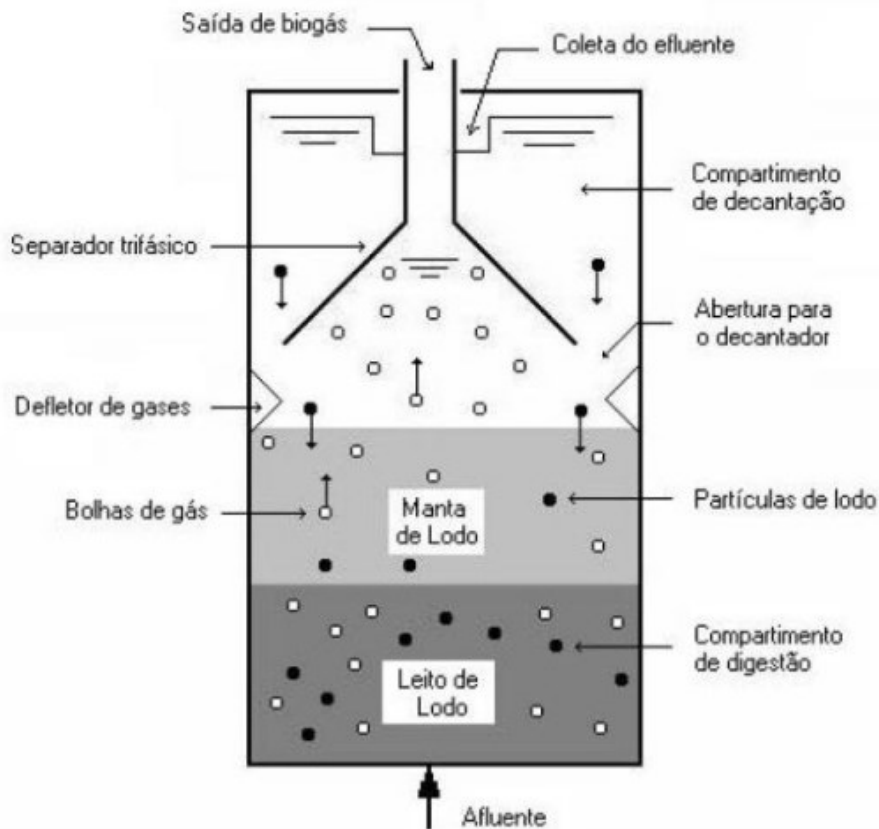


Figura 6 - Representação esquemática de um reator UASB
Fonte: Chernicharo (1997))

Um dos princípios fundamentais do processo é a capacidade de desenvolver uma biomassa altamente ativa, podendo apresentar-se na forma de flocos ou grânulos (com tamanho entre 1 e 5 mm). Os reatores UASB possuem um tempo de resistência hidráulica elevado, caracterizando-se como sistemas de alta taxa. Além disso, é crucial que o sistema inclua um separador trifásico bem projetado, capaz de realizar a separação eficiente do biogás, do líquido e dos sólidos, permitindo a liberação dos dois primeiros e retendo o último de maneira adequada (CAPASSI et al, 2013).

Segundo a NBR 12209:2011, o tratamento biológico anaeróbico deve ser precedido de remoção de sólidos grosseiros e areia, sendo imprescindível a utilização de dispositivo de remoção de sólidos com aberturas igual ou inferiores a 12 mm para vazão máxima até 100 L/s, e a 6 mm para vazão máxima acima de 100 L/s. Pela NBR 12209:2011,

(...) o tempo de detenção hidráulica para vazão média, considerando a temperatura média do esgoto no mês mais frio do ano e o volume total do UASB, deve ser igual ou superior:

6 horas para temperatura esgoto superior a 25°C;

7 horas para temperatura do esgoto entre 22 °C e 25°C;

8 horas para temperaturas do esgoto entre 18°C e 21°C;

10 horas temperatura do esgoto entre 15°C e 17°C.

A NBR 12209:2011 ainda dispõe da profundidade útil dos reatores do tipo UASB, devendo estar entre 4 m e 6m. a profundidade mínima do compartimento de digestão (do fundo de reator à entrada do compartimento de decantação) deve ser de 2,5 m.

3.4.3.2 Leito de secagem

A utilização de leito de secagem para retirar a água do lodo de esgoto é amplamente adotada devido à sua simplicidade, eficiência energética reduzida e custos acessíveis (SILVA, 2016). Os leitos de secagem de lodo consistem em estruturas compostas por tijolos dispostos em pares, com juntas preenchidas com areia grossa. Abaixo dos tijolos, são organizadas camadas de areia grossa e brita, com granulometrias crescentes em direção ao fundo. Uma laje impermeável localizada sob os tijolos permite a drenagem do líquido resultante da infiltração, direcionando-o de volta à entrada da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). O lodo é posicionado sobre os tijolos, passando pelo processo de secagem por meio da infiltração de água no leito e pela evaporação causada pela exposição ao sol. (PIVELI, 2007).

De acordo com as especificações da NBR 12209:2011, a área total do leito de secagem deve ser subdividida em pelo menos duas câmaras. A distância máxima de transporte manual do lodo seco no interior do leito de secagem não pode superar 10 m.

A NBR 12209:2011 estabelece que a área de leito de secagem deva ser calculada a partir da produção de lodo, do teor de sólidos no lodo aplicado, do ciclo de processo de secagem para a obtenção do teor de sólidos desejado, da altura do lodo sobre o leito de secagem e das condições climáticas locais.

A NBR 12209:2011 impõe também que a descarga de lodo no leito de secagem não pode exceder a carga de sólidos em suspensão total de 15 kg SS/m² de área de secagem, em cada ciclo de operação.

3.5 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A Norma Brasileira NBR 12209:92, padroniza as condições para a elaboração de projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário. Os requisitos iniciais que devem ser apresentados para o dimensionamento são citados no item 4.1 da NBR, sendo eles:

- Relatório do estudo de concepção do sistema de esgoto sanitário, elaborado conforme a NBR 9648:86
- População atendida e atendível pela ETE nas diversas etapas do plano
- Vazões e demais características de esgotos domésticos e industrial afluentes à ETE nas diversas etapas do plano
- Características requeridas para o efluente tratado nas diversas etapas do plano
- Corpo receptor e ponto de lançamento definidos na concepção básica
- Área selecionada para construção da ETE com levantamento planialtimétrico em escala de 1:1000
- Sondagens preliminares de reconhecimento do subsolo na área selecionada
- Cota máxima de enchente na área selecionada
- Padrões de lançamento de efluentes industriais na rede coletora, ver a NBR 9800:87

O quinto item da NBR 12209:92 estabelece os critérios e disposições para ETE e para tal o dimensionamento das unidades de tratamento e órgãos auxiliares, devem ser avaliadas as vazões afluentes máximas e média, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ou demanda química de oxigênio (DQO) e os sólidos em suspensão (SS). Os valores precisam ser identificados por meio de um levantamento no local, na falta dessa informação podem ser considerados os valores de 54 g de DBO 5/hab.dia e 50 de SS/hab.dia. Para a vazão máxima, é necessário dimensionar as estações elevatórias de esgoto bruto, as canalizações, os medidores e os dispositivos de entrada e saída. As unidades e canalizações antecidas por tanques de acumulação com descarga de vazão constante devem ser projetadas para a vazão média. Recomenda-se dimensionar uma canalização de desvio (bypass) para isolar a ETE, e é aconselhável que as unidades de tratamento possuam mecanismos que permitam seu isolamento. Além disso, é essencial ter um dispositivo de medição da vazão afluente à ETE, como calhas Parshall. O acesso às

unidades deve ser fácil e adequado às condições de segurança e comodidade operacional, incluindo previsão de dispositivos de segurança para evitar a concentração de gases que possam causar explosão, intoxicação ou desconforto.

Em relação à vazão, pode-se afirmar que os esgotos estão sujeitos às mesmas flutuações associadas ao consumo de água, variando de acordo com a região e dependendo, principalmente, do poder aquisitivo da população. Segundo Metcalf & Eddy (1991), os esgotos sanitários podem experimentar variações como a sazonalidade na vazão e flutuações de curto prazo (horárias, diárias e semanais). Para uma mesma população, a vazão do esgoto doméstico oscila ao longo das horas do dia (variações horárias), dos dias (variações diárias) e dos meses. Assim, são considerados os seguintes coeficientes para determinar as vazões máximas e mínimas de contribuição:

- Coeficiente do dia de maior consumo (K1), sendo a relação entre o valor do consumo máximo diário de água ocorrido em um ano e o consumo médio diário da água relativo ao ano;

- Coeficiente da hora de maior consumo (K2), coeficiente de máxima vazão horária;

- Coeficiente de mínima vazão horária (K3).

Segundo Azevedo Netto et al. (1998), os valores usuais de K1 e K2 para projetos de sistemas públicos de abastecimento d'água são K1 variando de 1,1 a 1,4 e K2 de 1,5 a 2,3. Já a NBR 9.649:1996 menciona que, na falta de valores obtidos por meio de medições, é recomendado o uso de $K1 = 1,2$, $K2 = 1,5$ e $K3 = 0,5$ para projeto de sistemas de esgotamento sanitário.

Para NBR o projeto hidráulico-sanitário deve incluir o tratamento e o destino final do lodo além de apresentar também o projeto hidráulico-sanitário da ETE contendo o memorial descritivo e justificativo com informações a respeito do destino a ser dado aos materiais residuais retirados da ETE, explicitando os meios que devem ser adotados para o transporte e disposição, projetando-os quando for o caso.

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 A UTFPR CAMPUS LONDRINA

Em fevereiro de 2007, o Campus Londrina foi estabelecido, inicialmente operando temporariamente no edifício da Fundação Ensino Técnico Londrina (FUNTEL) e oferecendo o curso superior de Tecnologia em Alimentos. A partir de 2009, uma parte das operações foi transferida para as instalações permanentes na Gleba Lindóia, localizada na continuação da Estrada dos Pioneiros, na região leste da cidade. O terreno para a construção do campus foi generosamente doado pela Prefeitura de Londrina. Em 2010, todas as atividades foram consolidadas nas instalações permanentes.

Atualmente, oferta sete cursos de graduação, cinco cursos de mestrados, curso de formação pedagógica, cursos de qualificação profissional destinados aos alunos e à comunidade e cursos de especialização.

Conforme dados disponíveis no site da instituição, o Campus Londrina atualmente abrange uma extensão total de 109.561,46 m², atendendo aproximadamente 2.670 alunos e contando com uma equipe de 225 servidores efetivos, entre docentes e técnicos-administrativos. A infraestrutura do campus compreende 12 blocos, distribuídos em 36 salas de aula, 58 laboratórios, uma biblioteca e um auditório com capacidade para acomodar 110 pessoas. Esses números refletem a abrangência e a diversidade de recursos disponíveis no Campus Londrina da instituição.

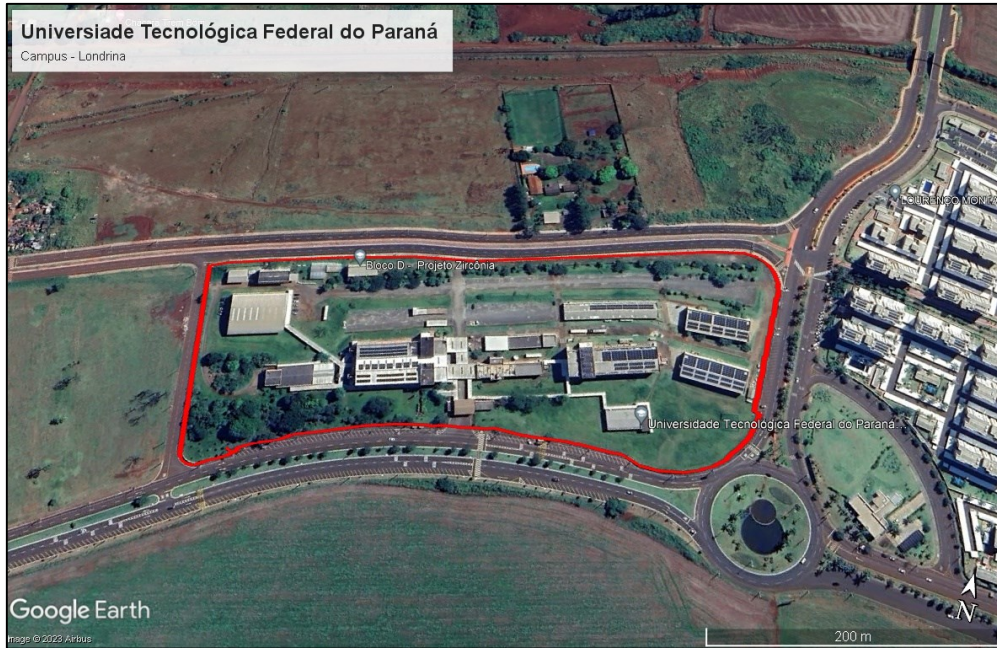


Figura 6 - UTFPR Campus Londrina.

Fonte: Google Earth.

4.2 ESTUDOS PRELIMINARES PARA LOCALIZAÇÃO DA ETE

Para a escolha da localização da ETE dentro do campus será considerada a altimetria do terreno, juntamente com a análise da área livre disponível. Pelo site SIGLON - Sistema de Informação Geográfica de Londrina foi obtido curvas de níveis de 5 metros, apresentadas em linhas amarelas na Figura 8.

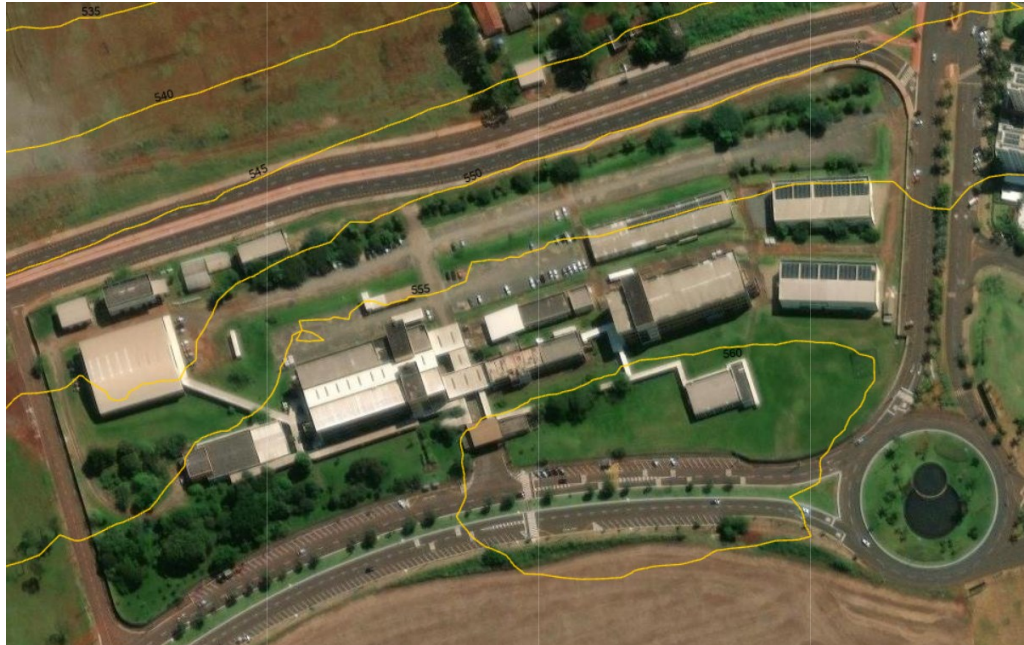


Figura 7 - Curva de nível 5 metros do terreno

Fonte: SIGLON - Sistema de Informação Geográfica de Londrina

4.3 ESTIMATIVAS DAS VAZÕES

A ComSan (Comissão de Saneamento UTPR LD) disponibilizou para o presente estudo a vazão mensal do campus Londrina com dados de leitura no bloco A, bloco B, bloco K, Restaurante Universitário e Biblioteca.

Foram realizadas as leituras no mês de Agosto, Setembro, Outubro e Novembro do ano 2022 e a partir disso calculada a vazão mínima, média e máxima. A Figura 9 apresenta os dados da vazão em metros cúbicos dos respectivos meses sendo o mês de Novembro a vazão mínima, Setembro a vazão máxima e a vazão média foi calculada a partir da média aritmética dos quatro meses.

Mês	Vazão (m³/mês)	Vazão (m³/s)
Agosto	854	3,295 x 10 ⁻⁴
Setembro	837	3,229 x 10 ⁻⁴
Outubro	601	2,319 x 10 ⁻⁴
Novembro	531	2,049 x 10 ⁻⁴
Média	705,75	2,723 x 10 ⁻⁴

Figura 8 - Dados da vazão do Campus Londrina

Fonte: ComSan, 2022

4.4 TRATAMENTO PREMILINAR

4.4.1 Gradeamento

As grades são projetadas para que ocorra uma velocidade de passagem entre 0,6 e 1,0 m/s, considerando a velocidade máxima horária de esgotos sanitários como referência. A obstrução máxima permitida é de 50% da área da grade, sendo necessário adotar perdas de carga mínimas de 0,15 m para grades de limpeza manual e 0,10 m para grades de limpeza mecanizada (PIVELI, 2007).

Para o cálculo da perda de carga nas grades, pode-se utilizar a fórmula de Metcalf & Eddy:

Equação 1 - Cálculo da perda de carga nas grades

$$\Delta H = 1,43 * \frac{(v^2 - v_0^2)}{2g},$$

Onde:

ΔH = Perda de carga;

v = Velocidade de passagem (m/s);

v_0 = Velocidade de aproximação (m/s);

g = gravidade (m/s)

A relação entre a área da secção transversal do canal e a área útil da grade é dada por:

Equação 2 - Área da secção transversal do canal

$$S = A_u * \frac{(a + t)}{a}$$

Onde:

S = área da secção transversal do canal, até o nível de água;

A_u = área útil da grade;

a = espaçamento entre as barras;

t = espessura das barras.

A relação $\frac{a}{(a+t)}$ é chamada de eficiência (E) da grade e representa a fração de espaços vazios em relação à área total.

Fixando-se a velocidade de passagem, pode-se determinar a área útil da grade através da equação da continuidade:

Equação 3 - Área útil da grade

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{v}$$

Onde,

A_u = Área útil da grade

$Q_{m\acute{a}x}$ = Vazão máxima

v = velocidade

Obtendo-se a área da secção transversal, a largura do canal da grade pode ser determinada através do conhecimento da lâmina líquida decorrente do posicionamento da calha Parshall a jusante.

4.4.2 Desarenação

A "areia" que penetra no sistema de esgotos sanitários, causando danos aos equipamentos eletromecânicos, é composta por partículas com diâmetro variando entre 0,2 e 0,4 mm e uma massa específica de $\rho = 2,54 \text{ ton/m}^3$. Essas partículas sedimentam-se de forma individual nas caixas a uma velocidade média de 2 cm/s.

As caixas de areia são projetadas para manter uma velocidade média dos esgotos de 0,30 m/s. Essa velocidade é mantida relativamente constante, mesmo diante de flutuações na vazão, graças à implementação de uma calha Parshall montada a jusante. Velocidades baixas, especialmente aquelas inferiores a 0,15 m/s, resultam no acúmulo de matéria orgânica na caixa, evidenciado pelo aumento da relação SSV/SST do material retido, desencadeando a emissão de maus odores devido à decomposição. Por outro lado, velocidades superiores a 0,40 m/s causam o arraste de areia e a redução da quantidade retida.

O comprimento (L) da caixa de areia é determinado considerando-se a velocidade dos esgotos de 0,30 m/s e a velocidade de sedimentação da areia de 2 cm/s. Para que uma partícula que se desloque sobre a caixa na linha de corrente mais elevada alcance a câmara de estocagem de areia, é necessário que ela percorra uma distância vertical de H, simultaneamente com um deslocamento horizontal de L.

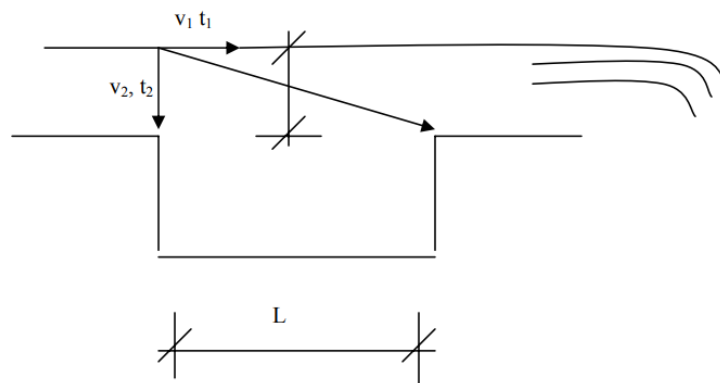


Figura 9 - Caixa de areia

As equações 4 e 5 calculam as velocidades v_1 e v_2 :

Equação 4 - Cálculo da velocidade 1

$$v_1 = \frac{L}{t_1}$$

Equação 5 - Cálculo da velocidade 2

$$v_2 = \frac{H}{t_2}$$

$$t_1 = t \rightarrow \frac{L}{v_1} = \frac{H}{v_2} \rightarrow v_1 * H = v_2 * L$$

Costuma-se introduzir um coeficiente de segurança de 1,5 devido ao efeito de turbulência e considerar-se $L = 22,5 \times H$ ou $L = 25 \times H$

A NBR 12209:2011 recomenda que a taxa de escoamento superficial com base na vazão máxima resulte na faixa de 600 a 1300 m³ /m².d.

Calha Parshall

O uso da calha Parshall permite medir a vazão de esgoto de forma precisa, facilitando o controle da velocidade na caixa de areia.

Para a escolha da Calha Parshall se faz o uso da Tabela 4 para encontrar os valores de K e N, através dos valores da vazão em litros por segundo.

Tabela 4 - Dimensões para escolha da Calha Parshall

Largura Nominal	N	K	Capacidade (L/s)	
			Mín.	Máx..
3"	1,547	0,176	0,85	53,8
6"	1,580	0,381	1,52	110,4
9"	1,530	0,535	2,55	251,9
1'	1,522	0,690	3,11	455,6
1/2'	1,538	1,054	4,25	696,2
2'	1,550	1,426	11,89	936,7

Para manter uma velocidade constante em uma caixa de areia tipo canal, controlada por uma calha Parshall, ao longo das variações de vazão Q_{min} e $Q_{máx}$, é necessário ajustar a geometria da calha para garantir que as condições de fluxo se mantenham dentro de limites desejados.

A equação 6 relaciona as vazões mínimas e máximas, as alturas mínimas e máximas do líquido (H) e o rebaixo Z em uma calha Parshall. O rebaixo é a distância vertical entre o ponto de referência na parte superior da calha e o ponto mais baixo do canal. A equação ajusta as medições da altura do líquido para garantir precisão nas estimativas de vazão em diferentes condições hidráulicas.

Equação 6 - Cálculo da altura do líquido

$$\frac{Q_{min}}{Q_{máx}} = \frac{H_{min} - Z}{H_{máx} - Z}$$

Para o cálculo do H é usado a equação 7

Equação 7 - Cálculo da altura do líquido

$$Q = 0,535 * H^{1,53}$$

O cálculo da grade em uma estação de tratamento de esgoto é essencial para determinar a eficiência do sistema de remoção de sólidos grosseiros. Ele fornece parâmetros como a área útil da grade e a largura do canal, permitindo estimar a perda de carga em diferentes condições de obstrução. Para o cálculo da grade na estação de tratamento de esgoto envolve a determinação da eficiência, a área útil e a perda de carga.

A eficiência indica a fração da área útil da grade que permanece desobstruída, sendo essencial para avaliar a capacidade de remoção de sólidos

grosseiros. Quanto maior a eficiência, melhor o desempenho na retenção desses materiais durante o tratamento preliminar do esgoto. Na equação 8 usamos dados na grade, onde a representa o espaçamento e t a espessura:

Equação 8 - Eficiência da grade

$$E = \frac{a}{a + t}$$

A Área Útil (A_u), refere-se à porção da grade que permanece desobstruída e disponível para o fluxo do esgoto. É uma medida crucial para garantir a eficiência na remoção de sólidos grosseiros, pois uma área útil adequada permite a passagem livre do esgoto. Para o cálculo da Área Útil é usado a vazão máxima e a velocidade, apresentado na equação 9.

Equação 9 - Área útil da grade

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{v}$$

A Área da Secção do Canal (S) refere-se à superfície transversal disponível para o fluxo dos efluentes no canal. É a medida usada para determinar a largura adequada do canal, impactando diretamente na eficiência do tratamento preliminar ao influenciar a remoção eficaz de sólidos suspensos. A equação da Área da secção do canal é apresentada pela equação 10.

Equação 10 - Cálculo da área da secção do canal

$$S = \frac{A_u}{E}$$

A Largura do Canal da Grade (b) em uma estação de tratamento de esgoto é a medida da largura necessária para o canal que abriga o dispositivo de gradeamento. A equação 11 expressa essa largura em termos da área e da profundidade máxima ajustada do canal.

Equação 11 - Largura do canal da grade

$$b = \frac{S}{H_{m\acute{a}x} - Z}$$

4.4.3 Perda de Carga na Grade

A Perda de Carga na Grade é a queda de pressão resultante do fluxo da água através do dispositivo de gradeamento. Essa perda de carga pode ser calculada utilizando equação 12 para grade limpa e equação 13 para grade 50% obstruída,

onde v é a velocidade da água, v_0 é a velocidade inicial, e g é a aceleração devida à gravidade.

Grade limpa:

Equação 12 - Perda de carga na grade limpa

$$\Delta H = 1,43 * \frac{(v^2 - v_0^2)}{2g}$$

Grade 50% obstruída:

Equação 13 - Perda de carga na grade limpa 50% obstruída

$$\Delta H = 1,43 * \frac{(2 * v^2 - v_0^2)}{2g}$$

4.4.4 Cálculo da caixa de areia

O esgoto, ao fluir através da caixa de areia, desacelera, permitindo que essas partículas se depositem no fundo. A velocidade controlada pela calha Parshall assegura uma eficiência consistente para diferentes taxas de vazão.

O cálculo da área da secção transversal (A) é a determinação da superfície disponível para o fluxo de esgoto. O cálculo, como apresentado na equação 14, envolve a relação entre o volume de esgoto que a caixa pode conter e a velocidade do esgoto, garantindo o desempenho adequado da estrutura. A equação 14 apresenta o cálculo da área de secção transversal

Equação 14 - Cálculo da área da secção transversal

$$A = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{v}$$

O cálculo da largura refere-se à determinação da extensão horizontal da seção transversal disponível para o escoamento do esgoto. A largura é calculada considerando a relação entre a área da seção transversal e a altura da caixa, contribuindo para o tratamento preliminar eficaz do esgoto. A equação 15 apresenta o cálculo da largura

Equação 15 - Cálculo da largura da caixa de areia

$$B = \frac{A}{H_{m\acute{a}x} - Z}$$

O cálculo comprimento é essencial para dimensionar o comprimento da caixa, ele envolve a determinação da extensão longitudinal da seção transversal disponível para o escoamento do esgoto. O comprimento da caixa é calculado considerando

fatores como a vazão máxima de esgoto e a altura da caixa, assegurando sua adequação às necessidades do sistema. Apresentado na equação 16:

Equação 16 - Cálculo do comprimento da caixa

$$L = 22,5 * (H_{m\acute{a}x} - Z)$$

A taxa de escoamento superficial é a relação entre a vazão afluyente do líquido de uma unidade de tratamento e a área horizontal na qual essa vazão é distribuída, em m³/m².d. Essa taxa é calculada dividindo a vazão máxima pelo produto do comprimento (L) e largura (B) da caixa, como apresentado pela equação 17.

Equação 17 - Cálculo da taxa de escoamento superficial

$$\frac{Q}{L * B}$$

4.5 TRATAMENTO PRIMÁRIO

4.5.1 Decantador

De acordo com a NBR 12209:2011, os decantadores primários devem ser dimensionados com base na vazão máxima horária de esgotos sanitários e para vazões de dimensionamento superiores a 250 L/s deve-se empregar mais de um decantador. Para a determinação da área de decantação deve-se utilizar como parâmetro a taxa de escoamento superficial. Na NBR 12209:2011 são recomendadas taxas na faixa de 30 a 60 m³/m².dia.

Área superficial necessária de decantadores refere-se à quantidade de superfície requerida nos decantadores para permitir a sedimentação eficiente de sólidos presentes na água ou efluente. Essa área superficial é crucial para garantir que o tempo de detenção hidráulica seja suficiente para que as partículas em suspensão sedimentem, permitindo que a água clarificada seja separada dos sólidos sedimentados. Pode ser calculada considerando a taxa de escoamento superficial adotada, a vazão máxima e a eficiência do sistema. A fórmula geral para calcular a área A_s é dada pela equação 18:

Equação 18 - Área superficial do decantador

$$q_{A_{m\acute{a}x}} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{A_s}$$

O tempo de detenção hidráulica (td) representa o tempo médio que uma partícula de água passa em um determinado componente do sistema, como um

tanque, decantador ou reator. A equação para o cálculo do tempo de detenção é apresentado na equação 19.

Equação 19 - Tempo de detenção hidráulico

$$td = \frac{Hu \times As}{Q * 3,6}$$

A profundidade útil dos decantadores é a medida da camada líquida efetivamente utilizada para a sedimentação de sólidos. O volume mínimo necessário é essencial para garantir que o decantador possa tratar a quantidade máxima de efluente durante o período determinado. A equação 20 representa o cálculo do volume útil mínimo necessário em decantadores. Essa fórmula é usada para determinar a capacidade do decantador, considerando a vazão máxima do efluente (Q) e o tempo de detenção hidráulica (td).

Volume útil mínimo necessário em decantadores

Equação 20 - Volume útil mínimo necessário em decantadores

$$V = Q * t_d$$

Equação 21 -Profundidade útil dos decantadores

$$Hu = \frac{V}{As}$$

A Taxa de escoamento nos vertedores de saída indica a quantidade de água tratada que está sendo liberada do decantador durante o processo de clarificação e sedimentação. Essa taxa é calculada dividindo-se a vazão de saída (Q) pelo volume útil (V) do decantador, como apresentado na equação 22.

Equação 22 - Taxa de escoamento nos vertedores de saída

$$\frac{Q_{m\acute{a}x}}{L}$$

4.6 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

4.6.1 Reator UASB

Para o dimensionamento de um reator UASB deve-se primeiramente adotar um tempo de detenção hidráulica considerando a temperatura média do esgoto no mês mais frio do ano. Com base no tempo de detenção hidráulica, é possível calcular o volume útil do reator, de maneira análoga ao apresentado para o decantador primário, utilizando a vazão máxima no final do plano como parâmetro.

Para o volume máximo é calculado a vazão no horário de maior produção com coeficientes k_1 e k_2 , como apresentados no 3.5. O cálculo é dado pela equação 23:

Equação 23 - Vazão máxima horária de esgoto

$$k_1 \times k_2 \times Q_{m\acute{a}x}$$

O tempo de detenção utilizado para o cálculo do volume útil será de 6 horas como sugere a NBR 12209:2011

Equação 24 - Volume útil do reator

$$vaz\grave{o}\ m\acute{a}x\ i\ m\ a\ h\ o\ r\ a\ r\ i\ o \times t\ d \times 1\ d\ i\ a$$

A partir disso é calculado a velocidade ascensional na zona de manto de lodo. A velocidade ascensional na zona de manto de lodo refere-se à taxa com que partículas sólidas se movem para cima na zona de sedimentação ou decantação de um sistema de tratamento de água ou esgoto. Se a velocidade ascensional for muito baixa, as partículas sólidas podem não se separar eficientemente do líquido, resultando em uma qualidade inferior na água tratada. Se for muito alta, pode ocorrer a arrastagem de partículas clarificadas para fora da zona de manto de lodo, prejudicando a eficácia do processo. O cálculo da velocidade ascensional na zona de manto de lodo é apresentado na equação 22

Equação 25 - Velocidade ascensional na zona de manto de lodo

$$V_{asc} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{A}$$

Onde,

V_{asc} = Velocidade ascensional na zona de manto de lodo

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima horária

A = Área do UASB

Lodos bem granulo apresentam resistência ao arraste mesmo em velocidades de passagem de até 10 m/h. No entanto, ocorrem situações em que o lodo não forma grânulos, apenas flocula, e mesmo assim o reator mantém uma eficiência satisfatória na remoção de DQO, é aconselhável restringir a velocidade ascendente a 4 m/h.

A velocidade de passagem para a zona de decantação para a zona de decantação refere-se à taxa com que a água ou o efluente se move através da zona de sedimentação. Essa velocidade garante uma eficiente separação entre partículas sólidas e líquido, permitindo a clarificação adequada no processo de decantação.

Equação 26 - Velocidade de passagem para a zona de decantação

$$V_p = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{A}$$

Onde,

V_p = velocidade de passagem para a zona de decantação

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima horária

A = Área de decantação UASB

A parte superior do reator UASB, fora do "chapéu" coletor de gás, atua como uma zona de decantação para recuperar grânulos escapados da zona de manto de lodo. Recomenda-se manter taxas de escoamento superficial abaixo de 1,25 m³/m².dia para garantir o retorno significativo do lodo à zona de manto. A inclinação das abas do chapéu deve ser superior a 55° para otimizar esse processo

A velocidade de escoamento à superfície da zona de decantação refere-se à taxa com que a água clarificada se move horizontalmente nessa área. A velocidade certa para evitar arrastamento de sólidos clarificados para fora da zona de sedimentação.

Equação 27 - Velocidade de escoamento à superfície da zona de decantação

$$V_s = \frac{Q}{W}$$

Onde: V_s = Velocidade de escoamento à superfície,

Q = Taxa de vazão de água ou efluente,

W = Largura da zona de decantação

5 RESULTADOS**5.1 LOCALIZAÇÃO SUGERIDA PARA A ETE NO CAMPUS**

Com base na análise da área disponível, nos levantamentos planialtimétricos já apresentados e na consideração da área construída no campus, foi identificado que o local mais apropriado para a implantação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) seria nas proximidades do bloco L. Esta escolha se justifica pela cota inferior em relação aos demais prédios, facilitando o escoamento gravitacional dos efluentes. Além disso, o local sugerido se encontra afastado das rotas frequentadas pelos alunos, promovendo uma integração mais harmoniosa com o ambiente do campus. A Figura 12 a seguir apresenta (em vermelho) este local.

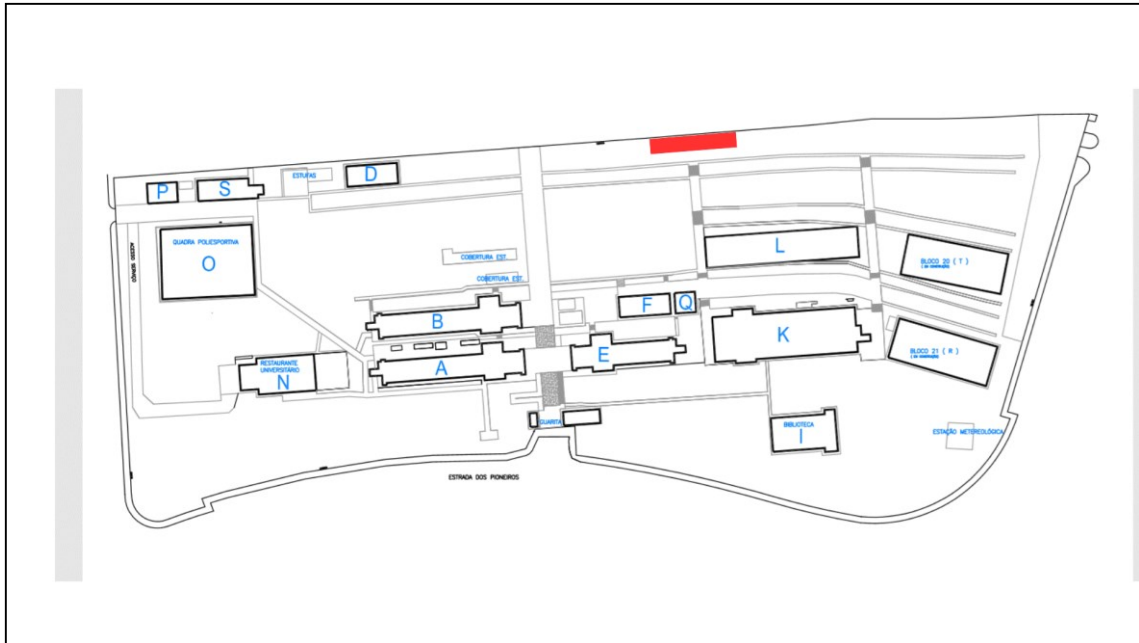


Figura 10 - Localização sugerida para a ETE

5.2 DADOS PRELIMINARES

A população utilizada nas equações será de 2895, sendo esse número soma do número de alunos com o número de servidores e técnico, informações apresentadas no item 32.312. Para a vazão máxima será a vazão de 854 m³/mês, obtida no mês de agosto e a vazão média será de 705,75m³/mês, valor obtido pela média das vazões passadas pela ConSam-UTFPR

5.3 TRATAMENTO PRELIMINAR

Para iniciar os cálculos do tratamento preliminar é feito a escolha da Calha Parshall e os valores de K e N para atender a vazão gerada na universidade utilizando a Tabela 4 - Dimensões para escolha da Calha Parshall.

Transformando a vazão máxima de 854 m³/mês para l/s temos a vazão 0,30 l/s e com isso é determinado que os valores de N e K serão 1,547 e 0,176 respectivamente e largura nominal de 3".

Largura Nominal	N	K	Capacidade (L/s)	
			Mín.	Máx..
3"	1,547	0,176	0,85	53,8

Figura 11 - Escolha da calha Parshall

Para o cálculo das alturas máximas e mínimas para a calha é utilizado a vazões como apresentado nas equações 6 e 7.

$$Q=0,533xH^{1,53}$$

Logo para altura mínima da calha é usado a vazão mínima de $2,049 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, então tem-se que:

$$H_{\text{min}}= 0,013 \text{ metros}$$

E Para a altura máxima da calha é usado a vazão de $3,295 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dia}$, então tem-se que:

$$H_{\text{máx}}= 0,017 \text{ metros}$$

Para o cálculo do rebaixo Z entrada Parshall utilizou-se a equação 6, logo temos que o valor de Z é 0,0052 metros

Para o cálculo da grade utilizaremos como parâmetros barras de aço, com espessura de 5 mm e espaçamento de 15 mm. A eficiência da grade se dá pela equação 8.

$$E = \frac{15}{15 + 5} = 75$$

Para determinar o valor da área útil (A_u) da grade é usado a equação 9 e área da secção do canal (S) a equação 10. Adota-se a velocidade de passagem igual a 0.8m/s e com isso temos que:

$$A_u = \frac{3,295 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,8 \text{ m/s}} = 4,118 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ e}$$

$$S = \frac{4,118 \times 10^{-4}}{0,75} = 5,49 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

A partir desses valores calcula-se a largura do canal da grade (b) utilizando a equação 11:

$$b = \frac{0,38}{0,572 - 0,0133} = 0,045 \text{ m}$$

Verificações para vazões intermediárias:

Vazão (l/s)	H (m)	(H-z) (m)	S=b(H-Z) (m ²)	Au=S.E (m ²)	$V = \frac{Q_{máx}}{Au}$ (m/s)	$V_o = \frac{Q_{máx}}{S}$ (m/s)
0,3295	0,0172	0,0121	0,0005	0,0004	0,800	0,600
0,3229	0,0170	0,0118	0,0005	0,0004	0,7988	0,5991
0,2319	0,0137	0,0086	0,0004	0,0003	0,7936	0,5952
0,2049	0,0127	0,0075	0,0003	0,0003	0,800	0,6000

Para determinar o cálculo perda de Carga na Grade será utilizado a equação 12 e para grade 50% obstruída a equação 13

Grade limpa:

$$\Delta H = 1,43 * \frac{(0,8^2 - 0,6^2)}{2 * 9,81} = 0,02 \text{ metros}$$

Grade 50% obstruída:

Equação 28 - Perda de carga na grade limpa 50% obstruída

$$H = 1,43 * \frac{(2 * 0,8^2 - 0,6^2)}{2 * 9,81} = 0,16 \text{ metros}$$

Para o dimensionamento da caixa de areia é realizado os cálculos para a área de secção transversal A, da largura da caixa (B), do comprimento da caixa (H) e a taxa de escoamento superficial. Para os cálculos para a área de secção transversal utilizou-se a equação 14 adotando-se a velocidade sobre a caixa como 0,2m/s, para a largura da caixa (B) a equação 15, para o comprimento (l) da caixa a equação 16 e para a taxa de escoamento superficial a equação 17.

$$A = \frac{3,295 \times 10^{-4}}{0,2} = 0,00165 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0,0016}{0,0172 - 0,00519} = 0,136 \text{ metros}$$

$$L = 22,5 * (0,1725 - 0,00519) = 0,271 \text{ metros}$$

Cálculo da taxa de escoamento superficial:

$$\frac{0,3295 * 86,4}{0,271 * 0,136} = 752,712 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia}$$

Para fazer a verificação da velocidade adotada para a secção transversal será utilizado a vazão mínima de 0,2049 l/s e altura mínima de 0,0127 metros.

$$0,0172 - 0,00519 = 0,0121 \text{ metros}$$

$$0,012 * 0,136 = 0,00165 \text{ m}^2$$

Verificação da velocidade adotada:

$$\frac{2,049 \times 10^{-4}}{0,00165} = 0,2 \frac{m}{s}$$

Cálculo do rebaixo da caixa de areia para a taxa de 30l/1000m³ e para vazão média de final de plano, Q = 0,2723 l/s, tem-se o seguinte volume diário de areia retida na caixa: V = 0,03 l/m³ x 0,2723 x 86,4 = 0,705 litros.

Para a altura diária de areia acumulada na caixa:

$$h = \frac{7,058 * 10^{-4}}{0,271 * 0,0136} = 0,0167 \text{ metros}$$

Portanto, para um rebaixo de 25 cm tem-se um intervalo de limpeza da caixa de aproximadamente 10 dias.

5.4 TRATAMENTO PRIMÁRIO

Como recomendado pela NBR 12209:2011 a taxa de escoamento superficial adotada inicialmente será de 60m³/m².dia e a partir calculado a área superficial necessária de decantadores primários utilizando a equação 18:

$$As = \frac{0,329 * 86,4}{60 \frac{m^3}{m^2} \cdot d} = 0,474 m^2$$

Devido à baixa vazão da universidade, será implementado um decantador primário de seção circular em planta, cuja área será calculada com base no diâmetro. Um removedor mecanizado de lodo será incorporado para otimizar o processo.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,474}{\Pi}} = 0,777 \text{ metros}$$

Para a profundidade útil dos decantadores será utilizado a equação 19, onde Td representa 1 hora conforme a NBR sugere:

$$V = 0,329 * 3,6 * 1,0 = 1,186 m^3$$

Profundidade útil dos decantadores

$$Hu = \frac{1,186}{0,474} = 2,5 \text{ metros}$$

Para o cálculo tempo de detenção em vazões máximas e medias a profundidade útil do decantador deve ser maior que 2,5, sendo assim para a equação 20 será utilizado uma altura de 3,0 metros:

$$td_{Qmin} = \frac{3 \times 0,474}{0,329 \times 3,6} = 1,2 \text{ horas}$$

$$td_{Qmáx} = \frac{3 \times 0,474}{0,205 \times 3,6} = 1,45 \text{ horas}$$

Para o cálculo da taxa de escoamento nos vertedores de saída será usado a equação 21.

$$\frac{0,329 \times 86,4}{4} = 2,915 \frac{m^3}{m.dia}$$

5.5 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Para começar o dimensionamento do reator calcula-se primeiro a vazão máxima produzida no horário de maior produção, com os coeficientes k_1 e k_2 como explicado no 3.5 utilizando a equação 20:

$$1,5 \times 1,2 \times 3,295 \times 10^{-4} = 5,931 \times 10^{-4}$$

O tempo de detenção utilizado para o cálculo do volume útil (Equação 22) será de 6 horas como sugere a NBR 12209:2011,

$$Td = 5,931 \times 10^{-4} \times 6 \times 3,600 = 12,81 \text{ m}^3$$

A produção de efluente gerado na universidade é pequeno, logo será sugerido apenas 1 (um) reator para a ETE. Não há cálculos para dimensionar as áreas do reator, a largura e altura do reator precisam estar de acordo com as velocidades de ascensional da zona de manto e de passagem. A área adotada para o reator será de 2,8 metros de profundidade e 1,90 de altura.

Para tempo de detenção para o reator calculou-se pela equação 19:

$$\frac{5,931 \times 10^{-4} \times 3,60}{1,90 \times 1,90 \times 2} = 0,296 \text{ m/h}$$

O cálculo da velocidade ascensional na zona de manto de lodo é apresentado na equação 22.

$$V_{asc} = \frac{5,931 \times 10^{-4}}{2 \times 1,90 \times 1,90} = 0,296 \text{ m/h}$$

Para a velocidade de passagem para a zona de decantação para a zona de decantação (Equação 23) adotou-se medidas de 0,4 m por 1,90 para as duas aberturas da parte superior do reator:

$$\frac{5,931 \times 10^{-4} \times 3600}{2 \times 0,40 \times 1,90} = 1,405 \text{ m/h}$$

Pela equação 24 calculou-se a largura considera para o reator na zona de decantação foi de 1,0 metro, logo a velocidade de escoamento à superfície na zona de decantação foi:

$$V_s = \frac{5,931 \times 10^{-4} \times 3600}{1,0 \times 1,90} = 1,124 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Para o sistema de alimentação iremos considerar uma entrada de 3m² de fundo de reator, assim:

$$\frac{1,9 \times 1,9}{3} = 1,2$$

Logo iremos adotar 2 (dois) tubos alimentadores para o sistem

Fica sugerido uma produção de lodo de 0,2 kg SS / kg DQO aplicada e para a carga de DBO 0,054kg:

$$2.600 \times 0,054 = 140,4 \text{ kg. DBO/dia}$$

Considerando uma redução de 30% de carga de DBO devido ao tratamento primário, o valor de DBO será de 98,28 kg.DBO/dia, Para valores de DQO:

$$1,85 \times 98,28 = 181,81 \text{ kg. DQO/dia}$$

A produção de lodo será considerada a produção de 0,12 N.m³ gás / kg DQO, aplicando, tem-se:

$$0,12 \times 181,81 = 21,82 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

6 CONCLUSÃO

Como resultado desta pesquisa, conclui-se que para uma população acadêmica pequena como da UTFPR-campus Londrina uma estação de pequeno porte é suficiente para atender a demanda da vazão de efluente gerado. O efluente gerado na universidade é encaminhado para a companhia de saneamento da cidade, portanto, uma estação de tratamento contemplando a fase preliminar, primária e secundária atende a demanda. O "tratamento descentralizado", local onde o efluente é gerenciado em proximidade ao local de geração, permite um maior controle sobre lançamentos inadequados e sobre as próprias unidades de tratamento.

A implantação de novas possibilidades de estudo no ambiente acadêmico é crucial para o desenvolvimento e transmissão do conhecimento. Ao embasar novos caminhos para a prática da sustentabilidade, a ação de implantação preliminar de estação de tratamento de esgoto, proposta no próprio ambiente acadêmico, dentro de condições possíveis verificadas no Campus, permitirão rever e reestruturar o

sistema de tratamento do esgoto em uma demonstração do bom uso do espaço associado à conscientização ambiental nas áreas de pesquisa do campus.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

AFOSO, W. S., NADALETI, W. C., ANDREAZZA, A., *al et.* **REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO (UASB): CARACTERÍSTICAS E FUNCIONALIDADE.** XXV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNIVERISIDADE PELOTAS. UFPEL, 2016.

AGENCIA BRASIL. **Falta de saneamento provocou 0,9% das mortes no país em uma década.** <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/>. Acesso em: setembro 2023.

ANDRADE, V. S. **SISTEMA COMPUTACIONAL PARA PRÉDIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE.** 2016. MONOGRAFIA (CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998.

CAERN - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTO. **Tratamento de esgoto**. Disponível em: novembro 2023.

COPASA - COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Esgoto Sanitário, processos de tratamento**. Acesso em: novembro 2023.

ETESCO. **ETE: Entenda como funciona uma estação de tratamento de esgoto**. Disponível em: <<https://etesco.com.br/>>. Acesso em: janeiro 2024

FOLHA DE SÃO PAULO. **Quase metade do esgoto do Brasil é jogado na natureza sem ser tratado**. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado>>. Acessado em janeiro de 2023

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2004.

IMHOFF, K. R.; IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. Editora Edgard Blucher. São Paulo, 1996.

INSTITUTO TRATA BRASIL (2021). **Saneamento: Principais Estatísticas**. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/esgoto/>>. Acessado em setembro de 2023.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimentos Habitacionais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

JORDÃO, Eduardo P. e PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 1995

MACKENZIE, L. D. **Water and wastewater engineering: Design principles and practice**. Ed. McGraw-Hill Companies. 2010

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. São Paulo, 2011.

O GLOBO – ECONOMIA. **No Brasil, esgoto de 45% da população não recebe qualquer tratamento**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/>>. Acesso em: setembro 2023.

PIVELI, R. P., **APOSTILA: TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS**. São Paulo, 2007.

SAAEC. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **O que é Esgoto?** <<https://www.saaec.com.br/esgoto/>> Acessado em: 24 de outubro de 2023.

SANEAMENTO EM PAUTA. POR BRK. **Entenda como funciona uma estação de tratamento de esgoto**. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto/>> Acesso em: novembro 2024.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – ano referência: 2005**. SEDU/PR. Brasília, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, n. I).

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária e

Ambiental, 2017a. 109 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 1).

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. 2 ed. 196 p. 1986.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. 416 p. 1997.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

