

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

AYRTON DA SILVEIRA CUNHA

**AVALIAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO SETOR NORTE
UFAM MANAUS/AM: UM ENFOQUE TÉCNICO E OPERACIONAL**

MANAUS
2021

AYRTON DA SILVEIRA CUNHA

**AVALIAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO SETOR NORTE
UFAM MANAUS/AM: UM ENFOQUE TÉCNICO E OPERACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ellem Cristiane de Sousa Contente

Coorientador: Prof. MSc. Erimar Pontes Santiago

MANAUS
2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C972a Cunha, Ayrton da Silveira
Avaliação da estação de tratamento de esgoto do setor norte
UFAM Manaus/AM : um enfoque técnico e operacional / Ayrton da
Silveira Cunha . 2021
112 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Ellem Cristiane de Sousa Contente
TCC de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Tratamento de esgoto. 2. Ete. 3. Operação. 4. Qualidade do
esgoto. 5. Ufam. I. Contente, Ellem Cristiane de Sousa. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

AYRTON DA SILVEIRA CUNHA

**AVALIAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO SETOR NORTE
UFAM MANAUS/AM: UM ENFOQUE TÉCNICO E OPERACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Manaus, _____ de _____ de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr^a. Ellem Cristiane de Sousa Contente – Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof.^a Dr^a. Maria de Nazaré Alves da Silva – Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof.^a M. Sc. Rômulo Mota Teixeira – Membro
Universidade Federal do Amazonas

Dedico esta monografia à minha mãe Núbia, à memória de meu pai Otávio e a todos que contribuíram para meu crescimento

AGRADECIMENTOS

À minha família, sobretudo à minha mãe, que arranhou todos os meios possíveis e impossíveis para que eu concluísse meus estudos na UFAM e que desde sempre me incentivou e ainda me incentiva a estudar e conquistar meus sonhos, inclusive este trabalho. Muito obrigado.

Às pessoas incríveis que conheci na faculdade e que me ajudaram a seguir em frente nos momentos cuja vontade de desistir clamava. Minhas gratidões ao Luiz Fernando, Rainara, Jaíne, Janaína, Núbia, dentre tantos outros com quem passei infinitas horas na sala do Programa Coroado compartilhando risadas, conhecimento, crescimento e também momentos de tensão.

À minha amiga de longa data Jéssica Magaly que tive o prazer de conhecer e manter em minha vida, e apesar de não me ajudar necessariamente com os problemas da engenharia, sempre me estendia a mão nos dias mais turvos e cinzentos desta longa e árdua caminhada. Muito obrigado, minha amiga.

Meus mais carinhosos agradecimentos ao meu companheiro e namorado Leonardo Santos Silva, que nos últimos dois anos acompanhou de perto toda minha trajetória de infindáveis horas de dedicação às atividades acadêmicas e teve toda a paciência do mundo para me tranquilizar e me encorajar a crer que tudo daria certo... e deu. Amo muito você!

Aos jornalistas e amigos de Leonardo, que acabaram virando meus amigos também, a “batuque reunida”, que me proporcionaram e me proporcionam momentos agradáveis de lazer e de bem estar super necessários nestes momentos de final de graduação.

Aos meus orientadores, primeiramente ao Professor Erimar que começou essa jornada comigo e acreditou no meu potencial para realizar este trabalho tão formidável, e à minha posterior orientadora Professora Ellem Contente que pegou o barco andando e levemente fora do rumo, e com toda a sabedoria, confiança e gentileza soube me guiar novamente aos eixos deste trabalho. Meu muito obrigado aos dois.

Ao corpo técnico da Prefeitura do *Campus*, sobretudo aos técnicos operadores da ETE Adriano Trindade e Joelma Andrade, com quem me aturaram por horas tirando as minuciosas dúvidas e correndo atrás de resultados junto comigo.

À UFAM, por oferecer serviços que muitas vezes substituía pelos da minha casa: café da manhã, almoço e janta no RU; salas de estudo; laboratórios, dentre outros.

A todos os colegas que cultivei desde 2014 e de que algum modo contribuíram para a construção desta monografia. Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A complexa gestão do saneamento básico nas grandes cidades tem ocupado papel extremamente relevante com o passar dos anos pelo agravamento da situação ambiental devido à ação antrópica, e a questão do esgotamento sanitário acompanha essa tendência. Neste contexto, o presente trabalho avaliou, sob o enfoque técnico e operacional, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Setor Norte do *campus* UFAM Manaus, para contribuir com aspectos ligados a eficiência do tratamento de esgotos sanitários. Para isso foram realizadas análises críticas sobre aspectos dos dados de projeto técnico, do dimensionamento das unidades constituintes do sistema, da caracterização do sistema existente e do aspecto operacional e de manutenção, tendo em vista o funcionamento e eficiência da ETE. Vale ressaltar que foram inseridas também análises de laudos laboratoriais da qualidade do esgoto bruto e efluente tratado, disponibilizados pelo setor institucional responsável pela operação da ETE. Os resultados mostraram que as unidades constituintes estão subdimensionadas ao considerar dados de 2017 e as normas técnicas sobre o tema. Além disso, o atual estado de conservação degradado da ETE revela não haver manutenções periódicas na localidade, ainda que haja um manual de manutenções preventivas, corretivas e de limpezas, o que pode comprometer a operação e a eficiência das unidades de tratamento. Em face disso, a identificação e descrição da tipologia da ETE, a caracterização do sistema por meio da elaboração dos desenhos técnicos e “*as built*” e as análises de monitoramento parcial acerca da qualidade final do efluente tratado subsidiaram elementos suficientes para proposição de possíveis melhorias no sistema de tratamento para fins de otimização da eficiência da estação e oferecer, de forma geral, informações aos gestores do sistema sobre estas possíveis tratativas.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto; ETE; Operação; Qualidade do Esgoto; UFAM.

ABSTRACT

The complex management of basic sanitation in large cities has played an extremely important role over the years due to the worsening of the environmental situation due to anthropic action, and the issue of sanitary sewage follows this trend. In this context, the present work evaluated, under a technical and operational approach, the Sewage Treatment Plants (STP) of the North Sector of the UFAM Manaus campus, in order to contribute with aspects related to the efficiency of sanitary sewage treatment. For this, critical analyzes were carried out on aspects of the technical design data, the sizing of the system's constituent units, the characterization of the existing system and the operational and maintenance aspect, in view of the functioning and efficiency of the STP. It is noteworthy that analyzes of laboratory reports on the quality of raw sewage and treated effluent, made available by the institutional sector responsible for the operation of the STP, were also included. The results showed that the constituent units are undersized when considering 2017 data and the technical standards on the subject. In addition, the current degraded state of conservation of the STP reveals that there is no periodic maintenance at the location, even though there is a manual for preventive, corrective and cleaning maintenance, which can compromise the operation and efficiency of the treatment units. In view of this, the identification and description of STP's typology, the characterization of the system through the preparation of technical drawings and "as built" and the partial monitoring analysis of the final quality of the treated effluent subsidized sufficient elements to propose possible improvements in the treatment system for the purpose of optimizing the efficiency of the plant and providing, in general, information to the system managers about these possible negotiations.

KEYWORDS: Sewage treatment; STP; Operation; Sewage Quality; UFAM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Sistema de Esgotamento Sanitário: Sistema Unitário (à esquerda) e Sistema Separador Absoluto (à direita).....	20
Figura 2: Composição dos sólidos nas águas residuais.....	22
Figura 3: Correlação dos sólidos encontrados em uma amostra de esgoto doméstico	23
Figura 4: Esboço da influência da nitrificação nos valores de DBO padrão	25
Figura 5: Comportamento da concentração de amônia e íon amônio em função do pH	27
Figura 6: Esquema geral do tratamento preliminar	31
Figura 7: Tanque Séptico de câmara única.....	32
Figura 8: Corte esquemático de FA com fluxo ascendente	36
Figura 9: Classificação das Wetlands Construídas	38
Figura 10: Bacias Hidrográficas de Manaus. Em destaque, a localização do objeto de estudo na bacia do Educandos	50
Figura 11:Localização geográfica da área de estudo.....	52
Figura 12: Implantação Geral da ETE Setor Norte-UFAM (sem escala)	56
Figura 13: Vista em planta baixa das etapas do Tratamento Preliminar	57
Figura 14: Corte A-A do Tratamento Preliminar	57
Figura 15: Vista em planta baixa de um dos Tanques Sépticos.....	58
Figura 16: Corte A-A de um dos Tanques Sépticos	58
Figura 17: Planta baixa dos filtros anaeróbios. Dimensões em metros.....	59
Figura 18: Corte A-A dos filtros anaeróbios. Dimensões em metros.....	59
Figura 19: Vista em planta baixa do Filtro Plantado	60
Figura 20: Corte A-A do Filtro Plantado	60
Figura 21: Detalhamento da seção transversal do corte A-A do Filtro Plantado	60
Figura 22: Câmara de Contato para desinfecção do efluente em planta baixa	61
Figura 23: Corte A-A da câmara de contato.....	61
Figura 24: Planta baixa as built referente ao tratamento preliminar. Dimensões em metros.	78
Figura 25: Planta de elevação as built do tratamento preliminar. Dimensões em metros.	79

Figura 26: Planta baixa as built das disposições espaciais dos tanques sépticos, filtros anaeróbios e caixas de passagem. Dimensões em metros.	80
Figura 27: Planta baixa as built dos filtros plantados. Dimensões em metros.....	81
Figura 28: Planta baixa as built da desinfecção. Dimensões em metros.	81
Figura 29: Implantação geral da ETE Setor Norte-UFAM	82
Figura 30: À esquerda, o tratamento preliminar completo e à direita, as unidades de caixas de areia e calha Parshall.....	83
Figura 31: Em destaque, ponto de entrada das águas servidas à ETE	83
Figura 32: Em destaque, ponto de saída do esgoto sanitário do tratamento preliminar	84
Figura 33: Locação das unidades de tanques sépticos e caixas de passagem	84
Figura 34: Locação das unidades de filtros anaeróbios e caixas de passagem.....	85
Figura 35: À esquerda, caixa de inspeção que conduz o esgoto dos filtros anaeróbios para o filtros plantados. À direita, o interior da caixa com o sentido de escoamento em destaque	85
Figura 36: Filtros plantados (Wetlands Construídos) da ETE Setor Norte-UFAM	86
Figura 37: Acúmulo de águas pluviais em diferentes pontos no interior dos filtros plantados.....	86
Figura 38: Localização da unidade de desinfecção do efluente por pastilhas de cloro	87
Figura 39: Ponto de entrada à unidade de desinfecção logo após o polimento pelos filtros plantados.	87
Figura 40: Componentes da unidade de desinfecção: à esquerda as chicanas que possibilitam a decloração do efluente antes de ser lançado no receptor final e à direita o compartimento onde de fato ocorre a cloração.	88
Figura 41: Ponto de lançamento final do efluente tratado na ETE. À esquerda o ponto de saída da etapa de desinfecção e o canal ao fundo coberto pela vegetação original. À direita o mesmo ponto de outro ângulo.....	88
Figura 42: Escada d'água de lançamento final do efluente em setembro de 2019 ...	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores típicos de parâmetros de esgotos brasileiros	28
Tabela 2: Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos	47
Tabela 3: Padrões de eficiência mínima de remoção.....	47
Tabela 4: Dimensões em planta de cada módulo de tratamento da ETE.	55
Tabela 5: Estimativa populacional do Setor Norte para o ano de 2017.....	62
Tabela 6: Tipos de calha Parshall em função das vazões máximas e mínimas.....	64
Tabela 7: Dimensionamento da Calha Parshall considerando a população de 201765	
Tabela 8: Seção e espaçamento típico de gradeamento a depender da disposição das barras	66
Tabela 9: Verificação da velocidade na grade devido à nova largura b	68
Tabela 10: Verificação da velocidade na grade devido ao novo valor de Z	68
Tabela 11: Verificação da velocidade nos canais das caixas de areia.....	70
Tabela 12: Comparação de dados de projeto entre os anos de 2009 e 2021 para o tratamento preliminar	71
Tabela 13: Comparação de dados de projeto entre os anos de 2009 e 2021 para os tanques sépticos	73
Tabela 14: Comparação de dados de projeto entre os anos de 2009 e 2017 para os tratamentos secundário e terciário	76
Tabela 15: Resumo dos valores de projeto do tratamento preliminar referente às plantas as built	90
Tabela 16: Breviário dos valores de projeto para os cenários realizados	90
Tabela 17: Concentração de DBO de entrada e saída da ETE Setor Norte-UFAM ..	92
Tabela 18: Concentração de DQO de entrada e saída da ETE Setor Norte-UFAM..	94
Tabela 19: Comportamento dos valores de pH de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM	94
Tabela 20: Concentração de nitrogênio amoniacal total de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM.....	95
Tabela 21: Concentração de nitrogênio total de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM	95
Tabela 22: Concentração dos valores de óleos e graxas de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM.....	96

Tabela 23: Concentração dos valores de sólidos sedimentáveis de entrada e de saída na ETE Setor Norte-UFAM.....	97
Tabela 24: Concentração dos valores de sólidos não filtráveis totais de entrada e saída	98
Tabela 25: Concentração dos valores de sólidos totais de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM.....	98
Tabela 26: Concentração dos valores de sólidos totais de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM.....	100
Tabela 27: Concentração dos valores de temperatura de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM.....	100
Tabela 28: Concentração dos valores de coliformes fecais de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de tratamento biológico	35
Quadro 2: Características dos processos de tratamento complementar aos Tanques Sépticos	39
Quadro 3: Problemas operacionais com esgoto bruto e suas possíveis soluções	42
Quadro 4: Problemas operacionais e possíveis soluções para o sistema tanque séptico-filtro anaeróbio	44
Quadro 5: Síntese do caminho metodológico utilizado no desenvolvimento do trabalho.	53
Quadro 6: Frequência de Manutenção e Limpeza das unidades de tratamento da ETE	105

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APA** – Área de Preservação Ambiental
- ART** – Anotação de Responsabilidade Técnica
- BRS** – Bactérias Redutoras de Sulfeto
- CF** – Coliformes Fecais
- COMDEMA** – Conselho Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- COT** – Carbono Orgânico Total
- CT** – Coliformes Totais
- DBO₅** – Demanda Bioquímica de Oxigênio a 5 dias
- DBON** – Demanda Bioquímica de Oxigênio Nitrogenada
- DBO_u** – Demanda Última Bioquímica de Oxigênio
- DQO** – Demanda Química de Oxigênio
- EF** – Estreptococos Fecais
- EPI** – Equipamento de Proteção Individual
- ETE** – Estação de Tratamento de Efluentes
- FA** – Filtro Anaeróbio
- FP** – Filtro Plantado
- NA** – Não Atende
- NAT** – Nitrogênio Amoniacal Total
- NBR** – Norma Brasileira
- NC** – Nada Consta
- NT** – Nitrogênio Total
- NTK** – Nitrogênio Total Kjeldahl
- OD** – Oxigênio Dissolvido
- OMS** – Organização Mundial da Saúde
- PCU** – Prefeitura do *Campus* Universitário
- pH** – Potencial Hidrogeniônico
- PROPLAN** – Pró-reitoria de Planejamento e Desenvolvimento Institucional
- RAFA** – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
- SIC** – Serviço de Informação ao Cidadão
- SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SST – Sólidos Suspensos Totais

SnFT – Sólidos Não-Filtráveis Totais

TAE – Técnico Administrativo de Educação

TAS – Taxa de Aplicação Superficial

TDC – Tempo de Detenção Celular

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

TES – Taxa de Escoamento Superficial

TS – Tanque Séptico

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

UV – Ultravioleta

WC – *Wetland* Construído

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Geral	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Esgoto Sanitário.....	19
3.2	Características dos Esgotos	20
3.3	Formas de Tratamento de Esgoto Sanitário	29
3.4	Operacionalidade de Estações de Tratamento de Esgoto	40
3.4.1	Tratamento Preliminar – Gradeamento, Desarenador e Calha Parshall ..	41
3.4.2	Sistema Tanque Séptico-Filtro Anaeróbio	43
3.4.3	Filtros Plantados – Wetlands Construídos.....	45
3.4.4	Desinfecção.....	46
3.5	Parâmetros Legais para Lançamento de Efluentes	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1	Características da área de estudo	50
4.2	Estruturação do trabalho.....	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	Características gerais das etapas da ETE – UFAM Setor Norte.....	55
5.2	Dimensionamento do projeto básico da ETE Setor Norte-UFAM	61
5.2.1	Estimativa populacional e dados de projeto	61
5.3	Dimensionamento das etapas da ETE para o ano de 2017.....	63
5.3.1	Tratamento Preliminar	63
5.3.2	Tratamento Primário – Tanques Sépticos	72
5.3.3	Tratamento Secundário e Terciário: Filtro Anaeróbio e Filtro Plantado	73
5.3.4	Unidade de Desinfecção – Cloração	77
5.4	Elaboração das Plantas <i>As Built</i> e dimensionamento.....	77
5.5	Análise da Qualidade do Efluente da ETE	91
5.6	Procedimentos de Manutenção e Limpeza das Unidades do Sistema ...	102
6	CONCLUSÕES	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

1 INTRODUÇÃO

A partir dos primeiros assentamentos humanos, quando estes deixaram suas práticas nômades, problemas de poluição sempre foram questões pertinentes ao cotidiano social, desde como lidar com os resíduos sólidos gerados até como manter uma certa potabilidade da água de consumo ao mesmo tempo em que já havia produção de esgoto. Com o desenvolvimento das sociedades, essa problemática veio adquirindo *status* cada vez mais relevante, vista a percepção direta destes com a saúde pública, até ao ponto de atingir uma magnitude internacional com a realização de diversas conferências climáticas e ambientais com então *status quo* de saneamento.

Segundo Guimarães e Silva (2007), para a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. Dentro deste amplo contexto, ainda segundo os autores, existe o saneamento básico, que se limita a promover o que é considerado o mínimo para a existência humana: abastecimento de água; coleta, tratamento e disposição adequada do esgoto gerado e resíduos sólidos e coleta de águas pluviais (GUIMARÃES e SILVA, 2007).

No Brasil, o saneamento básico é assegurado pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei nº 14.026 de 2020 – conhecida como a atualização marco legal do saneamento básico. Entretanto, a realidade nacional revela que ainda há muito o que ser feito para se ter números minimamente satisfatórios: segundo dados de 2017 da Agência Nacional de Águas (ANA) por meio do estudo intitulado Atlas Esgotos foi revelado que 43% da população brasileira é atendida por sistemas de coleta de esgoto coletivo (rede coletora e ETE), 12% é atendida por solução individual (fossas sépticas por exemplo), 18% do esgoto é coletado mas não é tratado e 27% não possui nem coleta e nem tratamento.

Por sua vez, segundo dados do Painel de Informações sobre o Saneamento do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2019, o atendimento com rede de esgoto no Brasil foi de 54,1% da população total (urbana e rural). Do esgoto gerado no país, cerca de 49,1% obteve alguma forma de tratamento antes de ser devolvido à natureza.

Ainda conforme o SNIS (2019), para o estado do Amazonas, a parcela da população total (urbana e rural) que era atendida por rede coletora de esgoto era de

15%, e do total de esgoto gerado no estado, 31% recebia alguma forma de tratamento. Por fim, a capital Manaus no mesmo estudo aparecia com cerca de 20% da população total atendida com rede coletora de esgoto e cerca de 31,8% do esgoto gerado recebia alguma forma de tratamento antes de ser lançado no meio ambiente. Os dados apresentados excluem os sistemas de tratamento alternativos como fossas e sumidouros.

Diante desse cenário tanto em âmbito nacional como regional, o adequado tratamento das águas residuárias ocupa uma posição de grande enfoque socioambiental e econômico. As diversas formas de tratamento geralmente ocorrem em escala micro – quando do uso de fossas sépticas e sumidouros por exemplo – ou em escala macro – quando do uso de ETEs. A ETE em estudo fica localizada nas dependências da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) que está inserida em uma Área de Preservação Permanente (APP), fatores que elevam a importância da qualidade final do efluente tratado – conforme as normas e resoluções sobre o tema – tendo em vista o potencial impacto caso essa situação não seja atendida, já que a disposição final desse efluente é em corpos d’água que percorrem a cidade de Manaus (PCU, 2009).

Perante o exposto, considerando a precária realidade sanitária da cidade de Manaus e suas particularidades e o contexto local onde a ETE está inserida e a relevância no contexto regional no que tange à saúde pública e ambiental na cidade, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência da ETE por parâmetros especificados em normas e resoluções sobretudo referente à qualidade final do efluente e quais fatores mais relevantes contribuem para isso – questões construtivas e executivas, de manutenção – para assim propor melhorias no sistema que potencializem a qualidade final do efluente final.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar os aspectos técnicos e operacionais da Estação de Tratamento de Esgoto do Setor Norte do *campus* UFAM na cidade de Manaus para fins da otimização da eficiência do sistema.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e descrever a tipologia da ETE e seus componentes de funcionamento;
- Caracterizar aspectos do projeto técnico, da execução, operação e manutenção da ETE;
- Analisar os dados de monitoramento da ETE sob responsabilidade da Prefeitura do *Campus* Universitário;
- Propor possíveis melhorias à ETE no quesito técnico, operacional e de manutenção sob a perspectiva da eficiência do sistema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Esgoto Sanitário

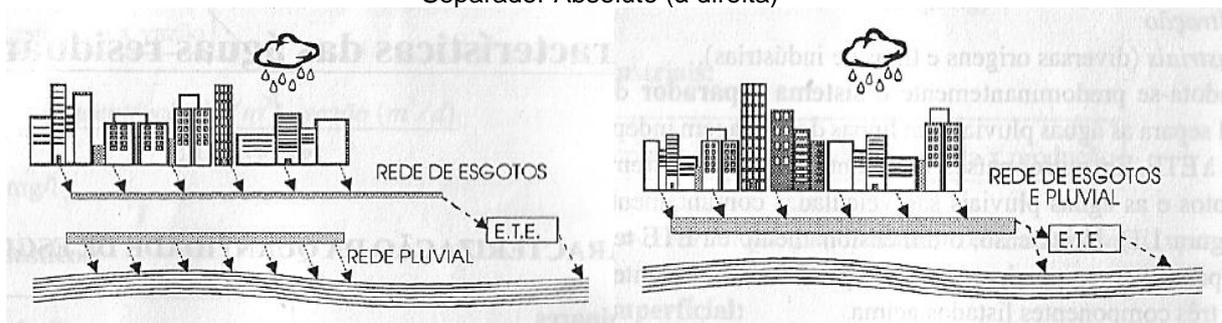
Esgoto sanitário, de acordo com a NBR 9648 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986), também chamado de águas residuais ou residuárias, é todo efluente líquido que é composto por: esgoto proveniente de uso doméstico, higienização e necessidades fisiológicas; pelas atividades de processos industriais que porventura estejam adequadas nos padrões de lançamentos na rede pública de coleta de esgoto; pelas águas de infiltração provenientes de lençóis freáticos ou da umidade do meio onde as tubulações estão enterradas e que adentram no sistema por essas canalizações e por uma pequena parcela de águas pluviais absorvidas superficialmente pelo esgoto sanitário.

O sistema de esgotamento sanitário pode ser, de modo geral, de três tipos (TSUTIYA, 2005, p. 3):

- Sistema Unitário ou Combinado: onde as águas residuais, águas de infiltração e águas pluviais veiculam pelo mesmo sistema/canalização. Em geral é mais adequado para baixas vazões com poucos contribuintes e baixas precipitações, como locais de clima temperado e também seu custo inicial é muito elevado;
- Sistema Separador Parcial: onde uma parcela de águas pluviais provindas das edificações adentra no sistema de esgoto juntamente com as águas residuais;
- Sistema Separador Absoluto: usado em larga escala pelo país, é o mais vantajoso, do ponto de vista econômico e funcional, onde as águas residuais e de infiltração constituem de um sistema independente do das águas pluviais (sistemas de drenagem).

A figura 01 ilustra os dois tipos mais comuns de tipos de tratamento de esgoto.

Figura 1: Tipos de Sistema de Esgotamento Sanitário: Sistema Unitário (à esquerda) e Sistema Separador Absoluto (à direita)



Fonte: VON SPERLING (2014)

3.2 Características dos Esgotos

Como já mencionado em itens anteriores nesta pesquisa, as águas residuárias – ou esgoto sanitário – são compostas das contribuições domésticas, industriais, águas de infiltração e contribuição pluvial parasitária. Devido a essa diversificação de usuário, de pontos de contribuição é comum que o afluente da ETE contenha variações significativas tanto no aspecto quantitativo – vazões – quanto no qualitativo – carga orgânica, temperatura, turbidez. E isso também varia a depender da localidade, visto que clima, renda *per capita* dos contribuintes e atividades industriais influenciam diretamente nas características e composições do esgoto sanitário.

De acordo com Von Sperling (2014), os esgotos sanitários predominantemente domésticos possuem cerca de 99,9% de água e 0,1% de impurezas, de naturezas diversas como sólidos suspensos ou dissolvidos, de matéria orgânica ou inorgânica e

até de microrganismos. Portanto é devido a esta porcentagem que se demanda todo o esforço da engenharia nos procedimentos de tratar o esgoto.

A diversidade e singularidade do que é composto esse 0,1% de impureza dos esgotos sanitários é, como já dito, dependente de diversas características sociais, econômicas e ambientais. Portanto se torna inviável que sejam determinados cada componente dessa porcentagem, devido à complexidade de análises laboratoriais que isso demandaria. E mesmo se isso fosse feito seria de pouco efeito prático no sentido operacional das ETEs, pois seria necessário que, para cada composição fixa de esgoto, fosse feito um projeto diferente, nada viável do ponto de vista da engenharia.

Visto isso, tornou-se preferível a utilização de parâmetros indiretos que traduzam o potencial poluidor de determinado efluente em questão (VON SPERLING, 2014). Esses parâmetros, portanto, se dividem em: físicos, químicos e biológicos. É importante frisar que apesar dessa divisão, todos são inter-relacionados. Por exemplo, a temperatura, que é um parâmetro físico, influencia diretamente a atividade microbiológica no consumo da matéria orgânica.

As principais características físicas atreladas aos esgotos domésticos são os sólidos, discutidas afincado mais adiante; temperatura que é ligeiramente superior às das águas de abastecimento pelo uso; odores que são provenientes dos processos de decomposição e possui cheiro característico quando o esgoto é fresco e de “ovo podre” quando ele é velho devido ao desprendimento de gases inerentes do processo; e cor e turbidez que indicam visualmente de imediato o grau de decomposição do esgoto.

Já as características químicas são basicamente dois grandes grupos: as matérias orgânicas, que compõe cerca de 70% dos sólidos encontrados no esgoto e são basicamente compostos de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), óleos e gorduras (8 a 12%) e fenóis ou surfactantes (JORDÃO e PESSOA, 2011, p. 51). Estes últimos inclusive são os maiores poluidores de águas residuais de origem industrial química e farmacêutica; e as matérias inorgânicas que advém de areias que adentram no sistema e de substâncias minerais dissolvidas basicamente.

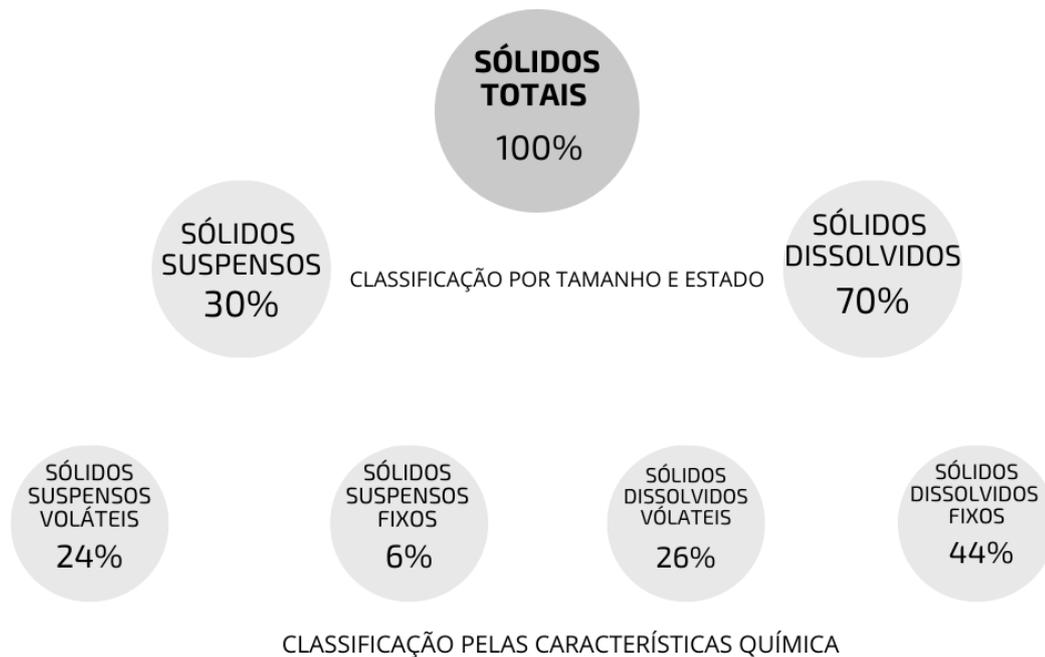
Por fim as características biológicas são basicamente os microrganismos comuns encontrados em águas residuais, como bactérias, fungos, protozoários, vírus. Destes, as bactérias são as mais importantes pois são responsáveis pela estabilização da matéria orgânica ao longo do curso do efluente tanto na natureza quanto nas ETEs.

Contudo, para Von Sperling (2014) não é necessário a quantificação dessa gama de parâmetros para avaliar a qualidade de esgotos sanitários, podendo, então, se ater a esses: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal.

I. Sólidos

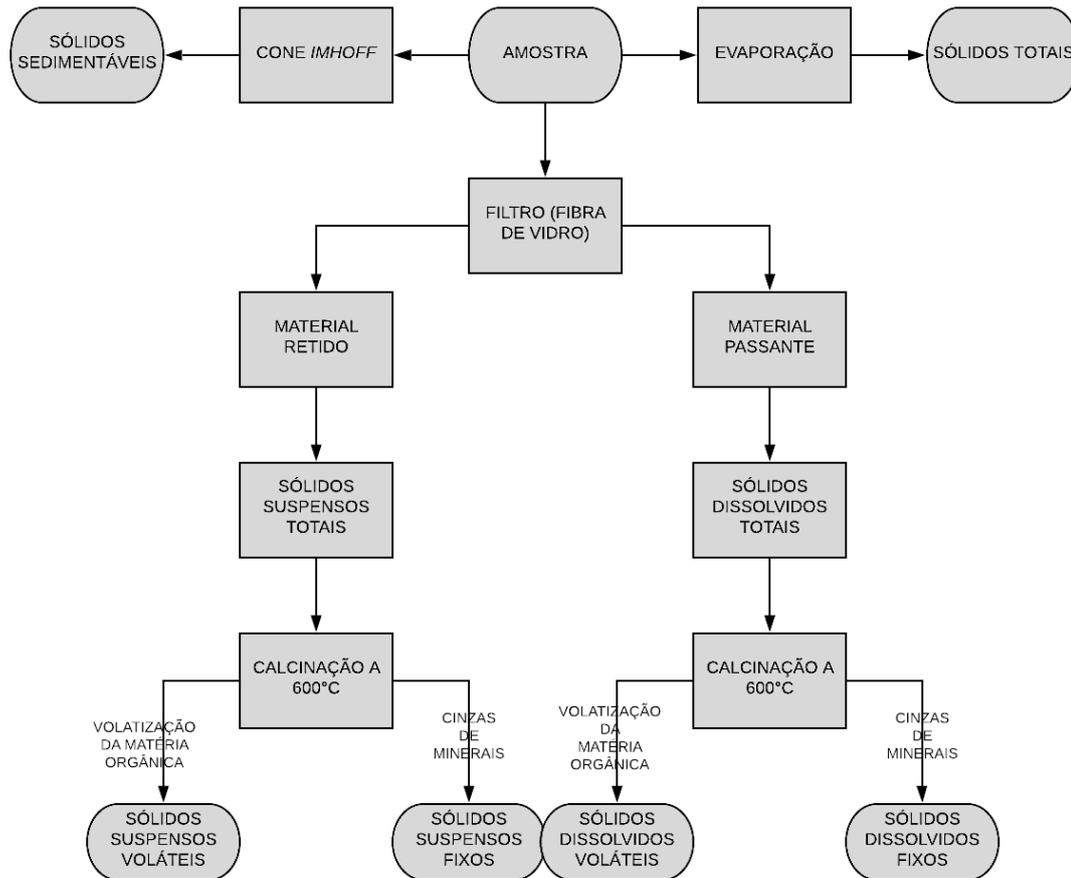
A matéria sólida contida nos esgotos é classificada por tamanho e estado, por experimentos utilizando filtros e analisando o material retido e passante; características químicas com ensaios a alta temperatura onde as substâncias orgânicas volatizam e os resíduos de matéria inorgânica reduzem-se a cinzas; e pela decantabilidade utilizando cones *Imhoff* ao analisar o quanto de matéria sedimenta após 1h numa dada amostra (ver figuras 2 e 3). Os valores mostram a proporcionalidade usual duma amostra de esgoto doméstico bruto.

Figura 2: Composição dos sólidos nas águas residuais



Fonte: adaptado de VON SPERLING (2014) e JORDÃO E PESSOA (2011)

Figura 3: Correlação dos sólidos encontrados em uma amostra de esgoto doméstico



Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY (2016) e JORDÃO E PESSOA (2011)

II. Indicadores de matéria orgânica

Determinar teores de matéria orgânica é primordial em avaliações de qualidade de amostras de águas residuárias, visto que se há matéria orgânica no meio, há atividade microbiológica para consumi-la com a utilização de oxigênio dissolvido no meio, o que influencia diretamente no dimensionamento de ETEs ou na avaliação de eficiência do sistema (VON SPERLING, 2014).

As matérias orgânicas carbonáceas são diversas nos esgotos domésticos e industriais – proteínas, gorduras, surfactantes, etc. Porém, pela extrema diversidade encontrada no meio e pelas dificuldades laboratoriais de se obter esse teor, adotam-se métodos que informam diretamente o teor de carbono orgânico dissolvido na água ou os que informam por outros dados esse mesmo teor (VON SPERLING, 2014):

- Métodos indiretos: medição do consumo de oxigênio dissolvido
 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

- Métodos diretos: medição do carbono orgânico
 - Carbono Orgânico Total (COT)

a) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

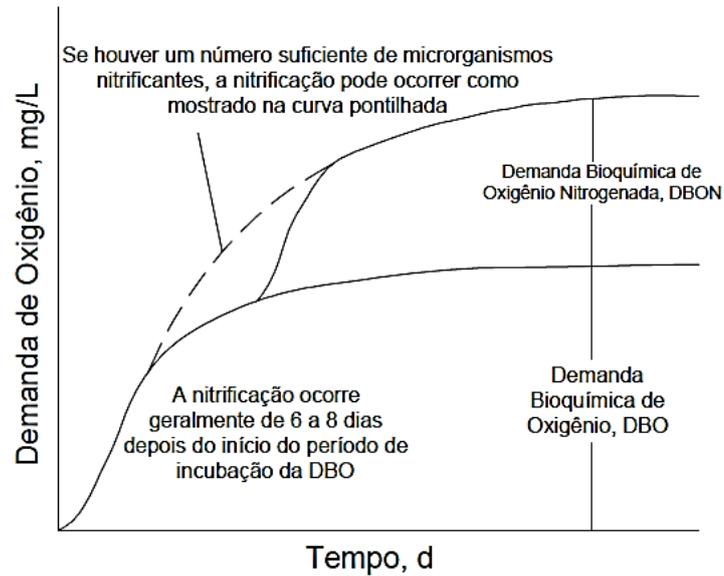
Definida por Von Sperling (2014) como “a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea”, a DBO é um método indireto de determinação da matéria orgânica pelo consumo de oxigênio dissolvido (OD) em condições controladas como volume da amostra e tempo de ensaio.

De modo geral, no início do ensaio ($t = 0$) é medido o OD da amostra e após cinco dias ($t = 5$) da amostra devidamente incubada a 20°C mede-se novamente o OD, que deve ser menor do medido em $t = 0$ devido ao consumo da matéria orgânica pelas bactérias. A diferença entre esses valores se denomina DBO padrão (DBO_5^{20}), segundo o autor. Ainda de acordo com este, após os cinco dias de ensaio padrão ainda há consumo de OD, a passos mais lentos, no entanto que se estabilizam quase por completo em cerca de vinte dias para esgotos domésticos, nominado então de Demanda Última de Oxigênio (DBO_u). Para a relação entre $\text{DBO}_u/\text{DBO}_5$ costuma-se adotar o valor de 1,46 segundo o autor supracitado.

Entretanto, por se tratar de esgotos domésticos em que há concentrações significativas de compostos não carbonáceos como a amônia (urina), existe então a possibilidade de interferência nos valores da DBO padrão. Os valores de DBO padrão que exprimem apenas o consumo de OD pelas bactérias estabilizadoras de matéria orgânica podem ser acrescidos se durante os cinco dias de ensaio houver consumo da matéria nitrogenada pelas *nitrosomonas* e *nitrobacter*, conhecido como Demanda Bioquímica de Oxigênio Nitrogenada (DBON).

Geralmente isso não ocorre na DBO padrão pois as bactérias nitrificantes levam cerca de oito dias para se reproduzirem. Todavia se logo no início do ensaio já houver alta concentração de amônia na amostra, essa interferência pode ocorrer, dando a entender que a eficiência da ETE por exemplo está aquém da esperada como mostra a figura 4.

Figura 4: Esboço da influência da nitrificação nos valores de DBO padrão



Fonte: adaptado de METCALF e EDDY (2016)

b) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O ensaio de DQO assim como o de DBO indica a quantidade de OD consumido em uma dada amostra devidamente incubada por um período de tempo padronizado, porém ao invés de empregar uso de microrganismos para consumir a matéria orgânica (DBO), usa-se agentes químicos, em geral dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), que possuem poder oxidativo mais intenso do que o dos microrganismos acarretando em diminuição do tempo de ensaio de cinco dias para apenas duas horas, sendo está a maior vantagem em relação a DBO (JORDÃO E PESSOA, 2011, p. 59).

Ainda segundo o autor, a utilização de agentes químicos por sua vez como forma de oxidação da matéria orgânica não distingue entre o que é biodegradável – que é expresso pelos ensaios de DBO – e o que não é. Ou seja, os valores de DQO são geralmente maiores dos de DBO pela superestimação do oxigênio dissolvido.

Baseado nisso, a relação DQO/DBO é extremamente relevante no dimensionamento de unidades de tratamento em ETEs (VON SPERLING, 2014): se a relação acima for baixa, indica que a fração biodegradável é elevada e recomenda-se tratamento biológico; se a relação for elevada, no entanto, indica que a fração não biodegradável (inerte) é elevada e recomenda-se tratamento físico-químico. Ainda segundo o autor, para esgotos domésticos afluentes à ETE a relação DQO/DBO geralmente varia de 1,7 a 2,4 e o efluente final possui usualmente essa relação acima de 3,0 devido ao longo do tratamento a porção biodegradável ser estabilizada e a inerte praticamente se manter inalterada.

c) Carbono Orgânico Total

Nesse teste, feito geralmente por instrumentação, o carbono orgânico é medido diretamente, não mais sendo necessário ser medido o consumo de OD para obtê-lo. Para Metcalf e Eddy (2016), o teste COT é realizado com auxílio de calor e oxigênio, radiação ultravioleta ou outros componentes que oxida o carbono orgânico presente na água em dióxido de carbono (CO_2) cuja medição é feita então por análise infravermelha. A concentração de COT é obtida então pela diferença entre a concentração de carbono total e a de carbono inorgânico.

Em alguns casos, é possível correlacionar os valores de COT com os de DQO. Apesar disso, variam bastante, pois dependem principalmente da natureza das águas residuárias e suas origens. Para Metcalf e Eddy (2016) a relação DBO/COT varia de 1,2 a 2,0 para águas não tratadas.

III. Nitrogênio

Em termos gerais, tem-se conhecido o ciclo do nitrogênio onde é mostrado como esse elemento químico é densamente complexo, apresentando-se sob as formas (DEZOTTI, 2008, p. 38): molecular (N_2), orgânica (associado a aminoácidos, proteínas, etc.), amônia (livre, NH_3 ou ionizada, NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e em nitrato (NO_3^-).

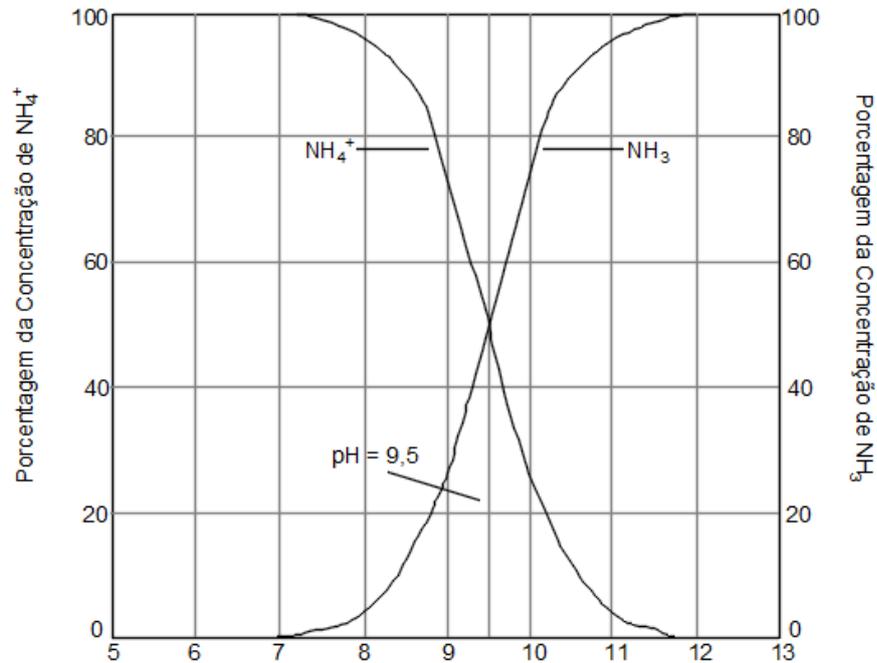
A depender de como o nitrogênio se apresenta em certa amostra de efluente ou corpo d'água, é possível determinar qual o estado poluente da situação analisada: se encontrado em formas predominante orgânica ou em amônia, indica poluição recente à montante; a amônia converte-se em nitritos que são muito instáveis e se oxidam rapidamente para nitrato (nitrificação), indicando alcalinidade e estado mais avançado de poluição por esse processo envolver alto consumo de OD, levando a mortandade de toda vida aquática aeróbia desse corpo d'água (JORDÃO E PESSOA, 2001, p. 56-58).

Em esgotos domésticos brutos, as formas mais comuns do nitrogênio se apresentar são as orgânicas e amoniacal. A junção dessas duas formas, em termos práticos, dá-se o nome de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK). O Nitrogênio Total (NT) é a junção, portanto, do NTK com o nitrito e o nitrato.

Como visto na figura 5, o nitrogênio inorgânico pode se apresentar em forma livre ou ionizada. A distribuição relativa disso se dá em função do pH do meio aquoso: em pH menores que 8, a amônia se encontra na forma ionizada (NH_4^+); em pH iguais

a 9,5 há equilíbrio entre as formas e em maiores que 11 a amônia se apresenta em forma livre (NH_3) que é extremamente letal para a vida aquática (VON SPERLING, 2014).

Figura 5: Comportamento da concentração de amônia e íon amônio em função do pH



Fonte: adaptado de METCALF e EDDY (2016)

IV. Fósforo

De acordo com Von Sperling (2014), o fósforo se apresenta em meio aquoso basicamente em três formas: ortofosfatos, advindos de usos de detergentes, fertilizantes e da degradação da matéria orgânica em esgotos domésticos, que por serem moléculas mais simples (PO_3^{-4} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$, etc.), não necessitam ser quebradas para serem metabolizadas pelas algas ou outros microrganismos, sendo esse grupo, juntamente com o nitrogênio responsáveis pela eutrofização de corpos d'água; polifosfatos, que são moléculas mais complexas que por hidrólise se transformam em ortofosfatos e fósforo orgânico, que são mais predominantes em despejos industriais e lodos de lagoas de estabilização e acabam por serem também transformadas em ortofosfatos.

V. Indicadores de contaminação fecal

A determinação de agentes patogênicos – vírus, bactérias, protozoários – em corpos d'água é desafiante, visto que possuem baixas concentrações o que demandaria enormes volumes amostrais para se determinar uma quantidade ínfima

de patógenos que sejam ainda de veiculação hídrica. Para contornar essa problemática, adota-se então organismos que indicam a presença de contaminantes fecais, que não são patógenos, mas exprimem a presença destes assim como o potencial poluidor dessa amostra. Os mais comuns são as bactérias do grupo *coliforme*.

Os *coliformes* estão presentes no sistema digestório apenas dos animais de sangue quente e são liberados bilhões em quantidade nas fezes humanas e animais, tornando-os, portanto, extremamente mais fáceis de serem encontradas (concentração maior) do que patógenos isolados no meio aquoso.

Os principais *coliformes* utilizados são (VON SPERLING, 2014): *coliformes* totais (CT) em desuso por não indicarem necessariamente a contribuição humana e animal por se reproduzirem em raízes de vegetações e no solo (JORDÃO E PESSOA, 2011, p. 67); *coliformes* fecais (CF), que são os mais indicados por advirem do trato intestinal de mamíferos e estreptococos fecais (EF) outro indicativo que pode ter origem humana – *streptococcus faecalis* – ou de origem bovina e equina – *streptococcus bovis* e *equinus*.

De acordo com Von Sperling (2014), os testes com esses indicadores de matéria fecal podem se correlacionar, sobretudo na relação CF/EF. Se a razão for maior que 4, a contaminação do meio aquoso é predominantemente de origem humana; se for menor que 1 é predominantemente de outros mamíferos; entre esses valores a relação CF/EF fica inconclusiva.

Na tabela 1 estão os valores típicos de parâmetros dos esgotos tipicamente domiciliares no Brasil baseado em duas literaturas.

Tabela 1: Valores típicos de parâmetros de esgotos brasileiros

Parâmetro	Unidade	Faixa		Típico (Von Sperling)
		Jordão e Pessoa	Von Sperling	
Sólidos Totais	mg/L	370 - 1160	700 - 1350	1100
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	120 - 360	200 - 450	400
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	30 - 80	40 - 100	80
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	90 - 280	165 - 350	320
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	250 - 800	500 - 900	700
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L	145 - 500	300 - 550	400
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L	105 - 300	200 - 350	300
Sólidos Sedimentáveis Totais	mg/L	5 - 20	10 - 20	15
DBO5	mg/L	100 - 400	200 - 500	350

DQO	mg/L	200 - 800	400 - 800	700
COT	mg/L	-	170 - 350	250
Nitrogênio Total	mgN/L	20 - 85	35 - 70	50
Nitrogênio Orgânico	mgN/L	10 - 85	15 - 30	20
Amônia	mgNH ₃ -N/L	10 - 50	20 - 40	30
Nitrito	mgNO ₂ -N/L	0 - 0,1	0	0
Nitrato	mgNO ₃ -N/L	0,1 - 0,4	0 - 2	0
Fósforo Total	mgP/L	5 - 20	5 - 25	14
pH	-	6,7 - 7,5	6,7 - 7,5	7

Fonte: Adaptado de JORDÃO E PESSOA (2011) e VON SPERLING (2014) *apud* Santiago (2018)

3.3 Formas de Tratamento de Esgoto Sanitário

O tratamento de esgotos ocorre em um conjunto de unidades denominado Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), no qual são direcionadas todas as águas servidas coletadas nas unidades geradoras ao longo de uma malha de tubulações chamada de rede coletora. Na ETE, estas águas servidas são submetidas a diversas etapas para que possam ser retirados da porção aquosa os sólidos e/ou gases dissolvidos até o efluente final do sistema ser lançado em um corpo d'água com menor impacto possível – a depender da legislação vigente – visto que não há remoção de 100% dos poluentes (LINS, 2010).

Ainda segundo Lins (2010), a escolha de um corpo d'água quando como receptor final do efluente tratado precisa ser determinado cautelosamente, visto que como sempre terá uma parcela poluente neste efluente, a qualidade das águas deste receptor final não pode decair, e o que garante isso é o projeto de concepção da ETE.

Para tanto, segundo Von Sperling (2014), na etapa preliminar de concepção do sistema de tratamento deve haver caracterizado três aspectos imprescindíveis:

- a) Objetivos do tratamento: relaciona-se com o aspecto econômico e funcional do sistema.
- b) Nível do tratamento: estabelecido o objetivo do sistema, a escolha adequada do nível (primário, secundário, terciário, desinfecção, entre outros) pode ser realizada
- c) Estudos de impacto ambiental no corpo receptor: a capacidade de autodepuração do corpo receptor, em caso de rios e lagos, além da classificação destes de acordo com a ANA.

As etapas que ocorrem no interior de uma ETE consistem em um conjunto de procedimentos que abrangem processos unitários – transformações químicas ou biológicas do esgoto – e operações unitárias – transformações físicas do esgoto (ABNT, 2011). O objetivo dos processos de tratamento é retirar grande parte dos poluentes do esgoto sanitário para lança-los no corpo d'água por exemplo. Como esses poluentes possuem naturezas diversas, é comum que ao longo de uma ETE sejam reservadas unidades de tratamento específicas para retirá-los, os chamados graus de tratamento.

Mensurar estes graus – ou níveis – de tratamento depende de vários fatores, como a qualidade do corpo receptor, sua capacidade de autodepuração para diluir os poluentes, legislações vigentes, estudos de impactos ambientais, entre outros (BASSIN E DEZOTTI, 2008, p. 56). Os graus de tratamento são (ABNT, 2011): tratamento preliminar, tratamento primário, secundário e terciário, os quais serão discutidos nos itens a seguir.

I. Tratamento Preliminar

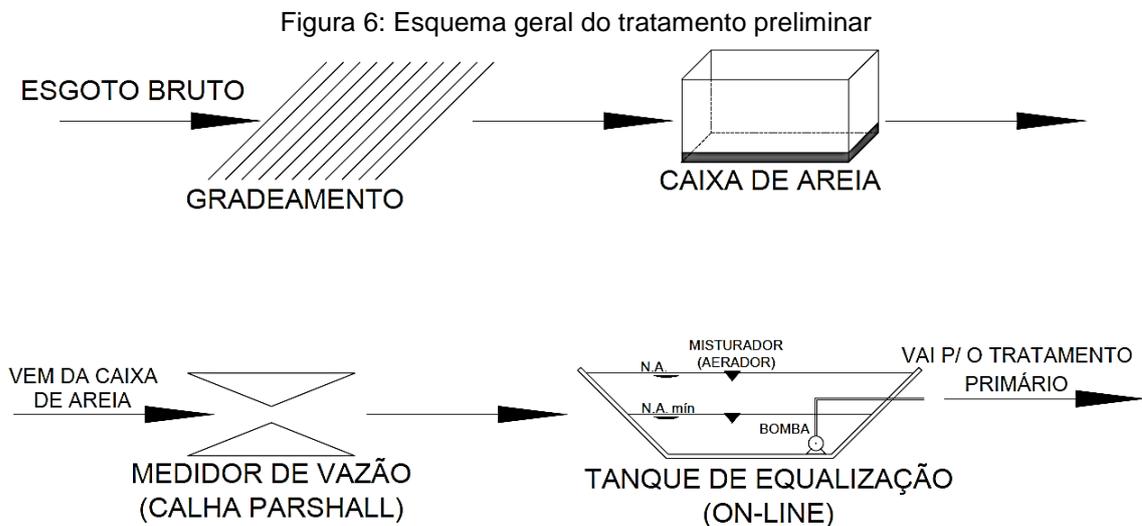
Também chamado de pré-tratamento, consiste em um conjunto de operações unitárias que visam remover, por mecanismos puramente físicos, os sólidos grosseiros do esgoto sanitário, como areia, palitos, preservativos, cabelos, entre outros, que possam obstruir, bloquear ou danificar as tubulações e unidades de tratamento subsequentes, além de melhorar a fluidez da matéria orgânica ao longo da ETE e aumentar a eficiência geral do tratamento.

Dentre as formas de retenção de sólidos grosseiros, Metcalf e Eddy, 2016 destacam as grades perpendiculares ao fluxo do afluyente que podem ser grossas, de espaçamento entre as barras de 6 a 150 mm; finas, com espaçamento entre 0,5µm a 6 mm e as micro que possuem espaçamento menores que 0,5µm.

A remoção de areia é feita por sua vez pelos chamados desarenadores, onde, por sedimentação, elas são retidas no fundo dessa unidade de tratamento e depois retiradas periodicamente, enquanto a matéria orgânica que sedimenta mais lentamente segue adiante para as unidades subsequentes (VON SPERLING, 2014).

Ainda há dispositivos ao final do tratamento preliminar que indicam a vazão de entrada da ETE, geralmente utilizando as calhas *Parshall* para isso, correlacionando então a altura da lâmina d'água e vazão de entrada. Essas calhas servem ainda para formar uma lâmina necessária para que ocorra a sedimentação nos desarenadores.

Em alguns casos, como em sistemas combinados ou efluentes industriais que possuem composição variada nos processos de produção, necessita-se que, entre o tratamento preliminar e o primário, haja um tanque de equalização que regularize os grandes picos de vazão ao longo do dia (METCALF e EDDY, 2016). Ainda segundo o autor, essas unidades podem ser instaladas ao longo da linha de fluxo de vazão – *on-line* – onde todo o efluente é regularizado, ou a parte da linha de fluxo de vazão, onde apenas a vazão excedente pré determinada é regularizada nos tanques de equalização, *off-line*, como mostra a figura 6.



Fonte: adaptado de VON SPERLING (2014) *apud* ReCESA *et al.* (2008).

II. Tratamento Primário: Tanques Sépticos

Após a fase de tratamento preliminar, o esgoto sanitário, apesar de visualmente apresentar ligeira melhora, possui ainda praticamente inalterado seu potencial poluidor por matéria orgânica. Logo, é nesse estágio que o tratamento em si começa a surtir efeito.

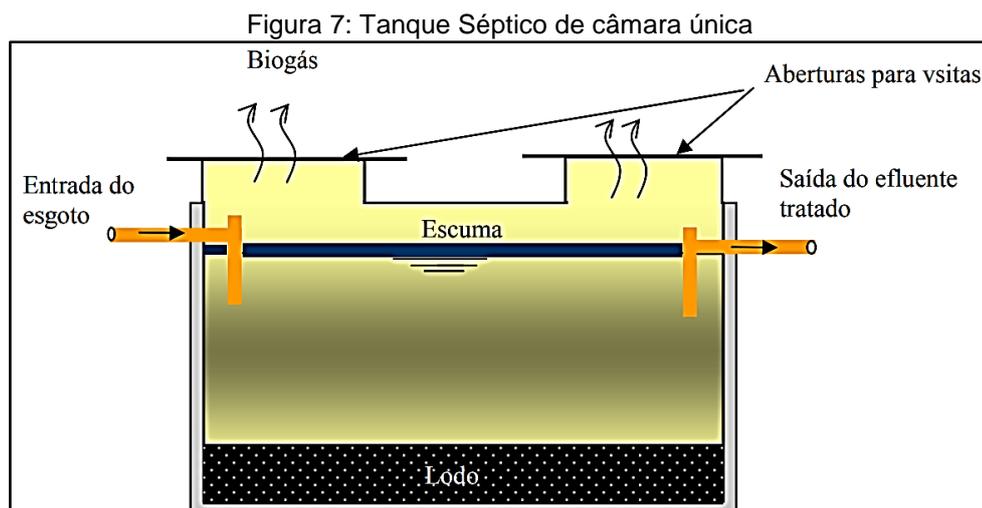
Ocorrendo usualmente em decantadores primários ou tanques sépticos – depende então da necessidade de tecnologia implantada na ETE –, o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis que possuem considerável quantidade de matéria orgânica. Apesar de haver outras formas de tratamento primário, dar-se-á ênfase aos tanques sépticos.

Os tanques sépticos (TS), também conhecidos como fossas sépticas ou decanto-digestor, são unidades de tratamento em forma de câmara, onde ocorre a sedimentação de sólidos suspensos totais (SST). Segundo Jordão e Pessoa (2011, p.

408), eles são unidades de tratamento primário, visto sua usual remoção de SST e DBO.

Normalizados pela norma NBR 7229/1993 que abrange processos construtivos e operacionais, os tanques sépticos são reatores biológicos anaeróbios onde o esgoto permanece dentro dos tanques por um determinado tempo – chamado de Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) – em períodos que variam de 12 a 24 horas sob contínua ação de micro-organismos sem a presença de oxigênio livre. As partículas mais densas que o meio se sedimentam ao fundo, formando o lodo, e as menos densas – óleos e graxas – acumulam-se na superfície, formando a espuma. Ambos são degradados pelas bactérias anaeróbias dando origem a moléculas mais simples como gás carbônico e metano, além do consumo de parte dos organismos patogênicos.

O efluente dos tanques sépticos ainda possui altas taxas de matéria orgânica, estimam-se que cerca de 50% das concentrações de SST e de 30% de DBO sejam reduzidas logo após os tanques sépticos, características típicas de tratamentos primários (JORDÃO E PESSOA, 2011, p. 407). O efluente apresenta aspecto escuro e odor característico das ações anaeróbias, além de significativa presença de patógenos. Devido a essas características aquém dos padrões de lançamento, faz-se necessária a utilização de unidades de pós-tratamento, sendo os Filtros Anaeróbios os mais utilizados no país. A figura 7 apresenta um tanque séptico de câmara única.



Fonte: Adaptado de ÁVILA (2005)

III. Tratamento Secundário: Sistema Filtro Anaeróbio

Neste nível de tratamento ainda há mecanismos físicos envolvidos, porém o predominante são os biológicos onde microrganismos – bactérias, fungos,

protozoários – consomem a matéria orgânica remanescente do tratamento primário por metabolismo aeróbio ou anaeróbio. Essa matéria orgânica remanescente se encontra na forma dissolvida (DBO solúvel) e em suspensão (DBO suspensa ou particulada), esta em menor escala pois grande parte foi sedimentada nos tanques sépticos/decantadores primários, porém não 100% (VON SPERLING, 2014).

Para Von Sperling (2016), apesar da variedade de microrganismos presentes em tratamento biológico, as bactérias são os seres de maior importância por terem uma variabilidade bem mais acentuada que lhes dá a vantagem de se comportarem em diversos meios mais adversos possíveis. Ainda segundo o autor, para elas se locomoverem, reproduzirem, crescerem, entre outras etapas da vida, necessitam basicamente de três aspectos que o meio deve lhes oferecer: fontes de energia, fontes de carbono e fontes de nutrientes. Em relação às fontes de carbono elas podem ser autótrofas – que produzem sua própria fonte de alimento utilizando CO_2 – e heterótrofas – que consomem a matéria orgânica do meio. Em relação às fontes de energia elas podem ser fotossintetizantes – que necessitam da luz como fonte de energia – e quimiossintetizantes – que necessitam de matéria inorgânica como fonte de energia.

Por fim, o autor ainda afirma que é incomum haver microrganismos fotossintetizantes nos tratamentos de esgoto, visto que fontes de luz como o Sol não costumam adentrar nas unidades hermeticamente fechadas, sendo, portanto, os seres quimiossintetizantes (o que engloba os quimioautótrofos e quimioheterótrofos, ou simplesmente heterótrofos) os grandes responsáveis pelo tratamento biológico.

A redução da matéria orgânica, conhecida por oxidação, é realizada pelos seres heterótrofos, convertendo-a em substâncias mais simples e com liberação de energia. Esse mecanismo se dá por um processo metabólico chamado de catabolismo, e que pode ocorrer por dois processos químicos: catabolismo oxidativo, onde ocorre essa mesma oxidação da matéria orgânica por um agente oxidante do meio (oxigênio, nitrato, sulfato ou dióxido de carbono) e catabolismo fermentativo, onde há rearranjo de elétrons na molécula fermentada sequenciadas vezes até ela se estabilizar (VON SPERLING, 2016).

Ainda de acordo com o autor supracitado, em processos oxidativos, como o próprio catabolismo oxidativo, ocorrem as chamadas reações de oxirredução devido a um dos compostos doar elétrons – no contexto do tratamento de esgotos pode ser a matéria orgânica do meio ou compostos inorgânicos reduzidos – e outro os recebe,

estando este portanto em um estado oxidativo mais estável e reduzido (agente oxidante).

Os agentes oxidantes, como já dito, podem ser (VON SPERLING, 2016):

- a) Oxigênio, cuja bactérias em condições aeróbias realizam seu metabolismo oxidando a matéria orgânica em gás carbônico e água molecular;
- b) Nitrato, cuja bactérias em condições anóxicas reduzem o nitrato a gás nitrogênio nas reações de desnitrificação;
- c) Sulfato ou dióxido de carbono, cuja bactérias em condições anaeróbias reduzem, quando disponíveis no meio, o sulfato a sulfeto e o dióxido de carbono a gás metano. Estes micro-organismos são conhecidos como bactérias redutoras de sulfato (BRS).

Portanto, o que determina essas condições são os estados oxidativos dos produtos finais pois se maior for o número de oxidação do produto final e menor do substrato a ser oxidado, maior será a energia liberada. Ou seja, em condições aeróbias onde o substrato é totalmente reduzido a gás carbônico que possui o maior valor oxidativo para a molécula de carbono, a atividade metabólica é maior devido à maior liberação de energia no meio, o que impulsiona a reprodução celular, que por sua vez aumenta o consumo de matéria orgânica e desencadeia a consequente conversão deste montante em material mineralizado, o que explica a alta produção de lodo em processos aeróbios (VON SPERLING, 2016).

À medida que a taxa de oxigênio diminui, porém o meio contém nitratos, portanto há condições anóxicas, as bactérias passam a utilizar-se deles então para seu metabolismo até seu esgotamento, passando então para condições anaeróbias de produção de sulfeto e metano, o que explica problemas de odores nestas condições (ARCEIVALA, 1981 *apud* VON SPERLING, 2016).

Vista a diferenciação entre processos aeróbios, anóxicos e anaeróbios, o quadro 1 relaciona algumas das tecnologias de tratamentos biológicos mais comuns, cuja escolha destes pelo projetista deve se pautar em vários aspectos como: conhecimentos acerca da microbiologia das bactérias, topografia, condições regionais e econômicas, manutenção e limpeza, corpo receptor, custos operacionais, entre outros.

Quadro 1: Tipos de tratamento biológico

Aeróbios	Anaeróbios
Lodo Ativado	Filtro Anaeróbio
Percolador Biológico	UASB/RAFA
Biodiscos	Lagoa Anaeróbia
Lagoa Aeróbia	Lagoa Facultativa
Lagoa Aerada	

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2014) e ANDRADE NETO (1999).

Dada a vasta diversidade de métodos de tratamento biológicos, será dado ênfase, como fase complementar aos tanques sépticos, aos Filtros Anaeróbios (FA), considerando como base de referência teórica o estudo de caso deste trabalho.

a) Filtro Anaeróbio (FA)

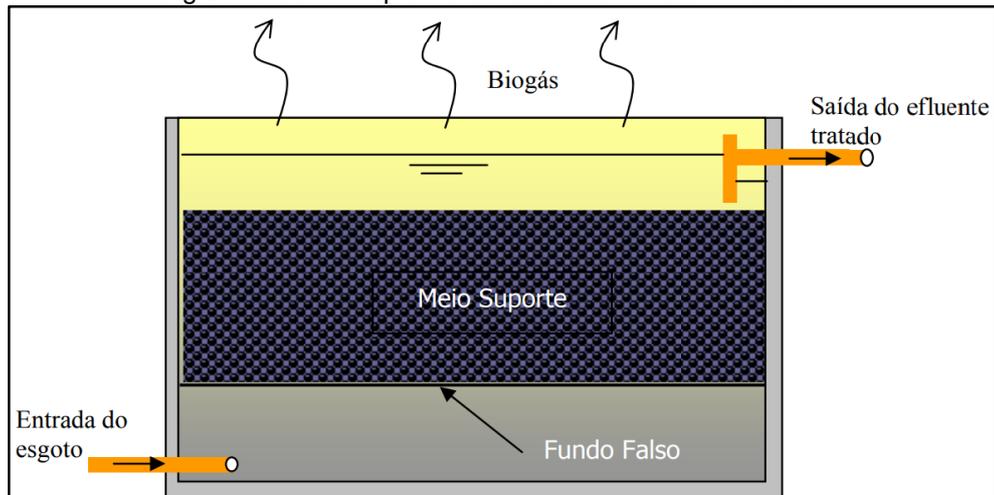
Os FAs são reatores anaeróbios formados por um reservatório estanque e hermético, contendo um fundo falso vazado onde abriga meio suporte inerte com alta taxa de vazios rico em culturas de microrganismos – biofilmes – por onde os SSTs percorrem e são degradados por essas bactérias (JORDÃO E PESSOA, 2011, p. 430-431).

É muito comum que esse material inerte com altos índices de vazios seja a brita 4 ou 5. Porém, pode ser quaisquer materiais desde que obedeçam a diretrizes básicas como cita Ávila (2005) entre peso unitário, superfície específica alta, alto índice de vazios e formato não achatado.

Durante a percolação do esgoto sanitário pelo FA, podem-se destacar dois parâmetros relevantes: TDH, obtido por meio da relação entre o volume do tanque e a vazão do afluente; e o Tempo de Retenção Celular (TRC), correspondente ao tempo de retenção dos SST no biofilme. Ao longo de todo o processo, o FA é capaz então de converter os compostos complexos – proteínas, lipídios, glicose – em compostos mais simples como gás carbônico e metano, gases típicos de tratamentos anaeróbios.

Normatizados pela norma NBR 13969/1997, os FA possuem geralmente formato prismático com fluxo ascendente, porém podem ser de fluxo descendente ou horizontal. Nos FA com fluxo ascendente e horizontal o material suporte é submerso e nos horizontais pode ser sob emerso ou não (JORDÃO E PESSOA, 2005, p. 431). A figura 8 ilustra o FA de fluxo ascendente.

Figura 8: Corte esquemático de FA com fluxo ascendente



Fonte: Adaptado de ÁVILA (2005)

Ainda segundo Jordão e Pessoa (2011, p.431), a eficiência dos FAs depende de vários fatores, como a temperatura do esgoto, TDH, TDC, além, obviamente do bom funcionamento dos TSs e das contínuas manutenções e limpezas que eles requerem. Estando todos esses parâmetros de acordo com a NBR 13969/1997, a mesma estabelece faixas de valores de eficiência de remoção, em consonância com os TS, da ordem de 40 a 75% de DBO, 40 a 70% de DQO e de 60 a 90% de SST.

Observa-se, no entanto, que os FA não removem o nitrogênio amoniacal, nitrato e coliformes fecais, sendo, portanto, necessário em certos padrões de lançamento, uma etapa posterior, conhecida como tratamento terciário, para promover a redução das concentrações de nutrientes do esgoto. Além disso, como outra desvantagem, está a dependência das boas manutenções dos TSs, visto que se houver alta concentração de SST no FA devido à falta de limpeza, pode ocorrer entupimento dos vazios do material suporte, processo conhecido como colmatação, e o consequente decaimento da eficiência de todo o sistema. Apesar disso, os FA ainda apresentam vantagens, como: baixa produção de lodo; adequa-se bem às vazões afluentes variáveis; não necessita de consumo de energia, favorecendo a implantação em locais isolados, entre outras características.

IV. Tratamento Terciário: *Wetlands* Construídas

As *Wetlands* Construídas (WC) são, de acordo com Vymazal (2010), sistemas artificiais projetados e executados aos moldes das já existentes *wetlands* (ou várzeas)

naturais para o tratamento de águas residuárias tanto a nível secundário ou terciário – a depender da concepção do projeto.

Estes sistemas possuem como principais componentes as vegetações típicas desses ambientes alagados, conhecidas como macrófitas, do meio suporte – areia, solo, brita ou outros materiais e das culturas de microrganismos associados a esses elementos e que são os principais responsáveis pela remoção dos poluentes (VALENTIM, 2003).

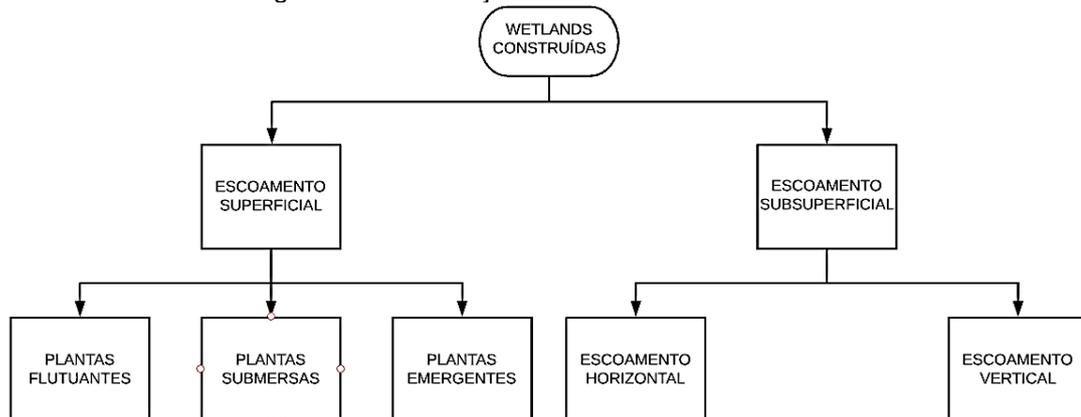
O afluente então possuindo as características típicas de um efluente de filtro anaeróbio – com alta concentração de nutrientes e patógenos e reduzida concentração de matéria orgânica – ao adentrar nos filtros plantados de fluxo subsuperficial, segundo Iervolino (2019), começa a percolar os vazios do material filtrante inerte, visto que a tubulação de entrada possui diversos furos, até alcançar outra tubulação mais acima que conduz à saída para a próxima unidade de tratamento. Neste percurso, ainda segundo Iervolino (2019), o esgoto entra em contato com zonas aeróbias, anaeróbias e anóxicas – sendo a região aeróbia próxima às raízes e rizomas. Então, estas bactérias presentes na rizosfera além das contidas nas superfícies do material filtrante inerte são as responsáveis pela remoção de nutrientes e matéria orgânica do esgoto. O fornecimento, portanto, de oxigênio ao sistema se dá pela fotossíntese das macrófitas (IERVOLINO, 2019).

Ainda segundo Valentim (2003) e como já mostrado anteriormente, as *Wetlands* Construídas possuem baixo custo de manutenção/operação em relação aos outros sistemas convencionais, além do clima típico equatorial da Amazônia propiciar um ótimo meio de reprodução da microbiota necessária, motivo pelo qual esse sistema vem ganhando notoriedade em países tropicais e localidades longínquas, ainda que tenha sido desenvolvido na década de 50.

Nas WC ocorrem vários mecanismos físicos, químicos e biológicos em maior ou menor grau, mas que contribuem significativamente para a melhor qualidade do efluente, onde podem-se destacar (UNEP, 2004 *apud* Poças, 2015): desnitrificação; adsorção dos íons amônia e de alguns metais pelos argilominerais, caso o meio suporte seja solo; decomposição da matéria orgânica biodegradável anaeróbia ou aerobiamente; remoção de patógenos pelos microrganismos, sedimentação do material particulado, entre outros. A depender dos tipos de WC esses processos podem ser maximizados ou minimizados, como será discutido adiante.

As WC podem ser classificadas de acordo com seu nível de coluna d'água em: fluxos superficiais e subsuperficiais, e quanto a essa última ainda pode ser subdividida em fluxos horizontais ou verticais, a depender da direção de escoamento da porção aquosa como mostra a figura 9 (VALENTIM, 2003; VYMAZAL, 2010; BENASSI *et al.* 2018).

Figura 9: Classificação das *Wetlands* Construídas



Fonte: Adaptado de Kadlec e Wallace (2009)

A escolha do meio suporte deve se basear em alguns pré-requisitos básicos para que mantenha ao longo do funcionamento e vida útil dos WC uma boa capacidade de fluxo – condutividade hidráulica – combinado com poder de adsorção necessário para remover diversos poluentes do esgoto sanitário, como a amônia e o íon ortofosfato, além de possuir granulometria uniforme para melhor captação dos SST e matéria orgânica, áreas superficiais que permitam a ocorrência de biofilmes, sustentação das macrófitas, entre outros (KNUPP, 2013; SEZERINO, 2006).

Ainda de acordo com Sezerino (2006), encontrar o material ideal não é fácil. Vastamente utilizada em vários sistemas WC, as areias possuem adequados valores de condutividade hidráulica, porém pouca ou nenhuma capacidade adsortiva. O mesmo se aplica às argilas que possuem alto potencial de adsorção, mas são praticamente impermeáveis. Portanto, a escolha do meio suporte se deve principalmente a finalidade de tratamento do efluente.

De acordo com Brix (1997), quanto à vegetação usual das WC, encontra-se o termo “macrófitas”, que são plantas aquáticas vasculares visíveis que vão desde as angiospermas até algumas algas com tecido bem visível a olho nu. São aptas a viver no regime típico de *wetlands* naturais e são autotróficas, pois se utilizam da energia

solar para absorver o gás carbônico e produzir matéria orgânica, que é fonte de energia para os seres heterótrofos (BRIX, 1997).

Por fim, a escolha ideal da macrófita se deve ao potencial de crescimento, disponibilidade da planta na região e sua adaptação ao meio rico em nutrientes, custo para o plantio e manutenções.

Quanto aos microrganismos, os mais significativos em todo o processo são as bactérias – sobretudo as *nitrobacter* e as *nitrossomonas* – que já foram discutidas neste trabalho. As bactérias aeróbias e anaeróbias se depositam sobre a superfície dos materiais filtrantes, no rizoma ou nas raízes das plantas para se alimentarem – degradarem ou oxidarem – a matéria orgânica e nutrientes que ali é deveras abundante ou a nitrificação e desnitrificação. Com isso há proliferação desses microrganismos onde se forma o chamado biofilme.

Por fim, tendo como base o estudo de caso em foco, o quadro 2 apresenta alguns parâmetros importantes ao se combinar os filtros anaeróbios com os filtros plantados, visto que é este o arranjo da ETE em estudo, o que explica a escolha destes duas unidades no sistema.

Quadro 2: Características dos processos de tratamento complementar aos Tanques Sépticos

Parâmetro	Filtros Anaeróbios	Filtros Plantados
Área Necessária	Reduzida	Média
Operação	Simple	Simple
Custo Operacional	Baixo	Baixo
Manutenção	Simple	Simple
Odor/Cor Efluente	Sim	Não

Fonte: NBR 13969/1997.

V. Unidade de Desinfecção

Como já fora discutido no início desse trabalho, torna-se preciso uma etapa específica de retirada parcial desses patógenos com tempo de detenção hidráulica de contato no mínimo de 30 minutos (ABNT, 1997), chamada de desinfecção, que pode ser realizada por métodos naturais como as lagoas de maturação ou artificiais como a cloração, ozonização, radiação UV ou outros agentes químicos (JORDÃO e PESSOA, 2011, p. 860).

Os mecanismos de desinfecção, como listou Metcalf e Eddy (2016, p. 1223) para quaisquer tipos existentes são:

- a) Danos à parede celular, pelo uso por exemplo de penicilina como agente desinfetante das águas residuárias que fragiliza a parede celular bacteriana, causando lise e morte celular;
- b) Alteração da permeabilidade celular, pelo uso de agentes fenólicos e detergentes que alteram a permeabilidade da membrana citoplasmática – onde a célula permite apenas algumas substâncias adentrarem – ocasionando o colapso da célula/organismo;
- c) Alteração da natureza coloidal do protoplasma, pelo uso de calor, radiação ou agentes químicos muito ácidos ou alcalinos, como ocorre nas lagoas de maturação, que coagula as proteínas da célula, enquanto os ácidos ou bases alteram-nas, provocando um efeito letal;
- d) Alteração do organismo RNA ou DNA, com uso de radiação UV que provoca ligações duplas sequenciais nos microrganismos, o que interrompe o processo de replicação celular, além de romper algumas cadeias de DNA, promovendo a interrupção da reprodução celular; e
- e) Inibição da atividade enzimática, pelo uso de agentes oxidantes, como o cloro, que germina a alteração química enzimática, inativando-as então, o que impede a ocorrência da síntese celular, levando o microrganismo à morte.

3.4 Operacionalidade de Estações de Tratamento de Esgoto

Diversos autores trazidos neste trabalhos, como Jordão e Pessoa (2011) e Von Sperling (2014) afirmam que um dos aspectos relevantes para o esperado funcionamento adequado de uma unidade de tratamento são suas corretas manutenções preventivas e corretivas para que estas, portanto, operem em normalidade. Assim sendo, nesta seção será discutido como usualmente se procede as limpezas e manutenções das unidades elencadas anteriormente.

Toda ETE deve possuir operador responsável pelo monitoramento e operação e que apresente ao empreendimento a Anotação de Responsabilidade Técnica – ART – de forma a embasar legalmente os procedimentos de supervisão técnica do local (CEC PROJETOS, 2015). Segundo estudo feito pelo ReCESA (2008), a manutenção por sua vez pode ser classificada em:

- ✓ **Manutenção preventiva:** conjunto de ações que fornece manutenção aos equipamentos e peças hidráulicas de forma a aumentar a durabilidade do sistema;
- ✓ **Manutenção corretiva:** conjunto de ações realizadas quando algum equipamento ou unidade de tratamento é danificada, sendo muito reduzida sua ocorrência quanto mais incisiva for a manutenção preventiva;

Para melhor compreensão, foram adotadas subdivisões supracitadas para discussão das particularidades de cada nível de tratamento, de acordo com estudo realizado pelo ReCESA (2008).

3.4.1 Tratamento Preliminar – Gradeamento, Desarenador e Calha Parshall

I. Gradeamento

No sistema de gradeamento, independentemente do seu arranjo espacial – espaçamento, espessura das barras, sentido das barras – não de ser feitas, de modo geral, as seguintes intervenções para limpeza manual:

- ✓ A operação de limpeza das grades deve ser diária ou mais, a depender do fluxo de sólidos grosseiros;
- ✓ A utilização de EPI pelos operadores é indispensável dada a qualidade do esgoto bruto como luvas, máscaras, botas, avental, óculos, entre outros;
- ✓ Recomenda-se o uso de rastelo adequado para a completa remoção dos sólidos grosseiros retido nas barras com o devido cuidado para não permitir o escape deles para próximas etapas, bem como evitar contato direto;
- ✓ A sujeira úmida deve ser devidamente armazenada e seca por 24h e então encaminhada para descarte adequado como preconiza as normas de gerenciamento de resíduos sólidos;
- ✓ Utilização de mangueiras ou jatos d'água pressurizados para limpeza minuciosa das barras da grade;
- ✓ Determinar o volume de sólidos grosseiros retirados e anotá-lo em formulário apropriado para fins de controle e operação.

II. Desarenadores ou caixas de areia

É muito comum que desarenadores possuam dois canais que funcionem alternadamente; enquanto um canal entra em manutenção, outro entra em

funcionamento certificando que o fluxo do efluente sanitário seja ininterrupto. Há comportas na entrada e saída que controlam esse fluxo (ABNT, 2011). O protocolo operacional de limpeza das caixas de areia é:

- ✓ A remoção de areia deve ser feita em média duas vezes a cada semana, podendo variar a depender do volume sedimentado;
- ✓ A utilização de EPI continua necessária como na limpeza do gradeamento;
- ✓ Colocar a comporta do canal até então inativo no que vai ser limpo, tanto na entrada e saída, garantindo boa vedação;
- ✓ Com baldes retirar o excedente de água que permaneceu no canal em manutenção e recolocando no sistema à montante da caixa de areia;
- ✓ Retirar o material com pá e enxada, armazenar em local de secagem e então prover disposição final ambientalmente aceita;
- ✓ Medir o volume do material retirado em formulário adequado.

III. Calha Parshall

A principal finalidade é a medição de vazão por meio da relação desta com a altura do nível d'água. Uma vez ao dia o operador deve fazer essa medição e anotar em formulário adequado para fins de controle do sistema: aumentos súbitos podem ser causados por ligações clandestinas de águas pluviais; diminuições bruscas podem indicar entupimento da tubulação à montante, entre outras conclusões.

As recomendações acima elencadas são mais relacionadas às manutenções preventivas. Quanto a problemas operacionais que exigem caráter corretivo, estão listadas algumas no quadro 3.

Quadro 3: Problemas operacionais com esgoto bruto e suas possíveis soluções

Observação	Causa provável	Verificar	Solução
Vazão sempre menor que a esperada	População menor do que a projetada	Dispositivo de medição de vazão	Aumentar a população beneficiada
Vazão sempre maior que a esperada	População maior do que a projetada	Dispositivo de medição de vazão	Aumentar a capacidade de tratamento
Picos repentinos irregulares	Ligação da rede de águas pluviais	Coincidência com chuvas	Eliminar ligações clandestinas

Picos diários maiores que o esperado	Equalização menor do que esperada	Dispositivo de medição de vazão	Utilizar tanques de equalização
pH anormal	Despejos industriais	Focos de fontes clandestinas	Localizar a fonte e prover readequações
Temperatura anormal	Despejos industriais	Focos de fontes clandestinas	Localizar a fonte e prover readequações
Odor ou insetos na barra	Intervalo longo entre limpezas	Intervalo de limpeza	Ampliar a frequência de limpeza
Odor de ovo podre no desarenador	Sedimentação de material orgânico	Velocidade de escoamento (uso de corante)	Aumentar a velocidade da água

Fonte: Adaptado de VAN HAANDEL E CAVALCANTI (1999) *apud* ReCESA (2008).

3.4.2 Sistema Tanque Séptico-Filtro Anaeróbio

O acúmulo de sólidos grosseiros pode causar entupimento na tubulação e desbalanceamento das vazões, podendo no caso dos TS se acumular na espuma e extravasar o efluente, liberando odores no meio. No caso das areias, que podem causar abrasão nas paredes da tubulação, elas se acumulam na massa de lodo ao fundo dos TS diminuindo, por sua vez, o volume útil disponível para a fluidez, necessitando de cada vez menos intervalo de tempo para limpeza e reduzindo a eficácia do sistema.

Em ambas as unidades de tratamento o acúmulo de lodo deve ter atenção tanto na retirada quanto na disposição final. A remoção periódica de lodo digerido dos TS é fator crucial para o bom desempenho dele, pois resulta em menos perda de SST no efluente final e melhora na remoção de matéria orgânica. Ainda segundo o autor, a principal razão para remoção de lodo nos FA é a possibilidade do acúmulo desses materiais nos interstícios do material filtrante, que ocasiona na queda da qualidade do efluente.

De acordo com estudos de Penha *et al.* (2010), a retirada do lodo digerido nos TS deve ser feita a cada seis meses, em média, a depender do acúmulo, por meio mecanizado – bombeadores, sucção ou sifonamento – ou dispositivos de descarga de logo, mas nunca retirando totalmente, pois essa concentração residual acelera o crescimento de novas culturas de bactérias anaeróbias. Quanto aos FA, a limpeza do leito filtrante deve ser a cada seis ou doze meses.

Em relação ao acúmulo de espuma nos TS, ela pode adentrar a tubulação de saída em grandes quantidades, causando entupimento e baixa eficiência nas unidades de tratamento subsequente (filtros anaeróbios). Com auxílio de enxadas em processos manuais, a necessidade de remoção de espuma é feita pelas aberturas de inspeção acima da laje dos reatores, tomando-se cuidado ao abri-las pois há concentração de biogás, que é inflamável.

Por fim, segundo Penha *et al.* (2010), para garantir que o sistema funciona em perfeito estado, aconselham a realização de análises físico-químicas do efluente a cada seis meses. Quanto às manutenções corretivas do sistema tanque séptico-filtro anaeróbio, estas se encontram no quadro 4.

Quadro 4: Problemas operacionais e possíveis soluções para o sistema tanque séptico-filtro anaeróbio

Observação	Causa provável	Solução
Maus odores	Sobrecarga de esgotos e redução do TDH	Adicionar NaNO ₃ no TS e FA
	Queda brusca da temperatura do esgoto	Adicionar cal para elevar o pH
	Presença de substâncias tóxicas	Localizar e eliminar a fonte de alimentação
Elevado teor de sólidos no efluente	Frequência de remoção inadequada de lodo TS	Promover a limpeza do TS inclusive da camada de espuma
	Excesso de sólidos no afluente do FA	Verificar a possibilidade de descarte parcial dos sólidos retidos no FA
Entupimento do FA	Frequência inadequada de remoção de lodo TS	Promover a limpeza do TS inclusive a espuma

Fonte: ReCESA (2008)

3.4.3 Filtros Plantados – Wetlands Construídos

Apesar dos WC ser sistema de tratamento de efluente com baixa necessidade de operacionalidade e manutenção em relação aos demais, há alguns aspectos a serem seguidos para sua utilização eficiente. Durante a implantação, por exemplo, alguns cuidados devem ser levados em conta como mostraram Benassi *et al.* (2018):

- ✓ Preferência por mudas de macrófitas retiradas perto do local da implantação, por estarem mais adaptadas ao clima;
- ✓ Preferência por transplantar as macrófitas no período chuvoso para se adaptarem melhor ao fluxo constante das águas residuárias;
- ✓ Recomenda-se não iniciar o tratamento com o efluente que deseja tratar. Por ser um meio estranho à macrófita, aconselha-se a diluir o esgoto aos poucos para ela se adaptar;
- ✓ Espécies jovens são essenciais pois o uso dos microrganismos do efluente pela planta se dá na sua fase de crescimento; e
- ✓ Evitar misturas de espécie de macrófitas, pois pode haver competição pelo alimento entre elas, também aplicadas a ervas daninhas que possam nascer

Ao longo do funcionamento dos WC, no entanto, os mesmos autores listam as seguintes precauções quanto a operacionalidade e manutenção.

- ✓ As tubulações e demais peças hidráulicas devem ser inspecionadas e limpas em uma frequência média de 5 a 15 dias a depender da qualidade do efluente;
- ✓ As macrófitas aquáticas devem ser podadas em média a cada 20 a 30 dias, a depender da qualidade do efluente. Quanto maior a concentração de microrganismos e SST, mais rápido tendem a crescer e se reproduzir;
- ✓ Procura-se manter uma proporção meio a meio da área superficial disponível para o crescimento das plantas e da ocupação delas nessa mesma área, sempre retirando, portanto, os indivíduos mais velhos e mortos.

A adequada operacionalidade e manutenção dos sistemas *Wetlands* Construídos depende diretamente da qualidade dos tratamentos à montante, como já discutido.

3.4.4 Desinfecção

A etapa final do tratamento de efluentes apesar de relativamente simples também demanda cuidados importantes. Como já discutido, a desinfecção por cloração e todos seus compostos se dá em câmaras de contato que devem prover no mínimo 30 minutos de contato para efetiva eliminação de patógenos. A manutenção do sistema de desinfecção por cloro se dá então de acordo com o quadro 5.

Quadro 5: Breviário dos problemas operacionais e soluções para as câmaras de contato

Etapa	Problema	Solução
Tanques de contato de desinfecção	Vazão de entrada maior ou menor que a prevista	Verificação do regime de vazão. Avaliar possibilidade do uso de tanques de equalização
	Problemas na bomba dosadora (se houver)	Regulagem do sistema de bombeamento. Envio para conserto
	Lodo residual no fundo do tanque	Remoção do lodo a cada seis meses, em média, a depender da qualidade do esgoto

Fonte: KUEHN (2015)

3.5 Parâmetros Legais para Lançamento de Efluentes

No que diz respeito ao lançamento de efluentes em corpos hídricos, as instalações alocadas na cidade de Manaus estão regidas sob normas e diretrizes legais tanto no âmbito municipal em concordância com as leis de alcance federal. Em todos os casos, há particularidades e considerações específicas que podem ser mais restritivas que outras, sendo estas, portanto, as que devem ser cumpridas.

No âmbito municipal, a prefeitura da cidade de Manaus possui a resolução COMDEMA N° 34/2012 que estabelece normas e padrões para qualidade das águas e condições para lançamento de efluentes. No âmbito federal, o poder executivo redigiu a resolução CONAMA N°430/2012 também sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes, além de complementar e alterar a antiga resolução N°357/2005 do citado conselho. A tabela 2, portanto, correlaciona os parâmetros legais da resolução N° 430/2011 com a do COMDEMA N° 34/2012.

Tabela 2: Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos

Parâmetro	COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011	NBR 13969/1997
DBO (mg/L)	≤ 90	≤ 120	≤ 60
DQO (mg/L)	≤ 150	Nada Consta	≤ 150
pH	5,5 - 9,5	5 - 9	6 - 9
Nitrogênio Amoniacal Total (mg-N/L)	20 para pH ≤ 7,5	≤ 20	Nada Consta
	5,6 para 7,5 < pH ≤ 8,0		
	2,2 para 8,0 < pH ≤ 8,5		
	1,0 para pH > 8,5		
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 100	≤ 100	≤ 50
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	≤ 1	≤ 1	≤ 0,5
SST (mg/L)	≤ 100 máxima diária	Nada Consta	≤ 50
	≤ 60 média arimética mensal		
Sulfetos (mg-S/L)	0,3 para Classe 3	≤ 1	Nada Consta
Temperatura (°C)	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	≤ 4000	Nada Consta	≤ 1000

Fonte: CONAMA (2011) e COMDEMA (2012)

A tabela 3 correlaciona, por sua vez, os padrões de eficiência de remoção dos mesmos parâmetros elencados na tabela 2.

Tabela 3: Padrões de eficiência mínima de remoção

Parâmetro	COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
DBO (mg/L)	85%	60%
DQO (mg/L)	Nada Consta	Nada Consta
pH	Nada Consta	Nada Consta
NAT (mg-N/L)	Nada Consta	Nada Consta
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	Nada Consta	Nada Consta
SST (mg/L)	Nada Consta	Nada Consta
Sulfetos (mg-S/L)	Nada Consta	Nada Consta
Temperatura (°C)	Nada Consta	Nada Consta

Fonte: CONAMA (2011) e COMDEMA (2012)

É importante salientar que a NBR 13969/1997 listada na tabela 2 é apenas para comparação de dados, visto que a citada NBR elenca os valores apresentados

quando se deseja despejar o efluente tratado nas galerias de águas pluviais, não sendo este o caso observado na ETE em estudo.

Para o parâmetro de DBO, observa-se que a cidade de Manaus possui valores muito mais restritivo em relação à resolução do CONAMA. Segundo estudo feito por Moraes e Santos (2019), no qual avaliaram a eficiência de ETE de vários estados, muitos destes preferem flexibilizar esse valor em termos de grandeza de poluição, ou seja, variam de acordo com a vazão e carga do poluente. Ainda segundo eles, limitar os padrões em termos de concentrações dificulta para o pequeno poluidor que possui menos participação na degradação de corpos d'água, devendo se adequarem aos grandes poluidores.

Para o parâmetro de DQO, a legislação federal não estabelece valores máximos de concentração a ser cumprido, ficando apenas à mercê da legislação municipal os valores acima destacados e, em ambos, nada consta sobre eficiência mínima de remoção.

No que diz respeito aos SST, a resolução municipal flexibiliza concentrações diárias e médias mensais. Isso é feito devido a variações operacionais, já discutidas no tópico anterior, que podem afetar a qualidade do efluente final devido a aspectos externos como precipitações que podem carrear areia para a ETE, falha operacional e de manutenção, excessiva produção de lodo, entre outros (MORAIS E SANTOS, 2019). Em relação aos nutrientes, a resolução COMDEMA não prevê quaisquer parâmetros a serem cumpridos na cidade de Manaus, ficando apenas à mercê da legislação federal o valor a ser obedecido e apenas em relação ao nitrogênio amoniacal total. Ademais, a resolução CONAMA no seu art. 21, §1º estabelece que esse parâmetro não é exigível para fins de gestão ambiental.

De acordo com Júnior (2018) que procurou, dentre outros objetivos, classificar as águas do igarapé do Quarenta nos enquadramentos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos e sabendo que este igarapé é o destino final da ETE em estudo discutido mais a frente neste trabalho, o citado corpo d'água enquadra-se nos pontos mais densamente povoados na classe 4 e nos menos, classe 2. Logo, de modo geral, adotar-se-á para fins de padrões de lançamento de efluentes previstos nas resoluções citadas que o corpo hídrico receptor dos efluentes pós ETE é de classe 3. Por conta disso, os valores adotados de sulfeto e de coliformes fecais foram para esta classificação de águas doces, conforme tabela 6. Por fim, exceto para DBO, nenhum

dos parâmetros físicos, químicos ou biológicos de esgotos possui previstos eficiência de remoção mínima em ambas as resoluções.

Por sua vez, a Lei 1.192/2007, conhecida como Lei Pró-Águas e a Resolução 131 do COMDEMA de 2006 determinam que empreendimento potencialmente poluidores acima de 40 (quarenta) usuários por dia devam, no seu sistema de tratamento de esgoto, obrigatoriamente possuir uma unidade de desinfecção antes do lançamento final.

Por fim, a resolução CONAMA 430 de 2011 no seu artigo 34, assim como a resolução COMDEMA no seu artigo 4 estabelecem que o regime de vazão de lançamento deve ser inferior a 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, além de ausência de material flutuante no efluente tratado.

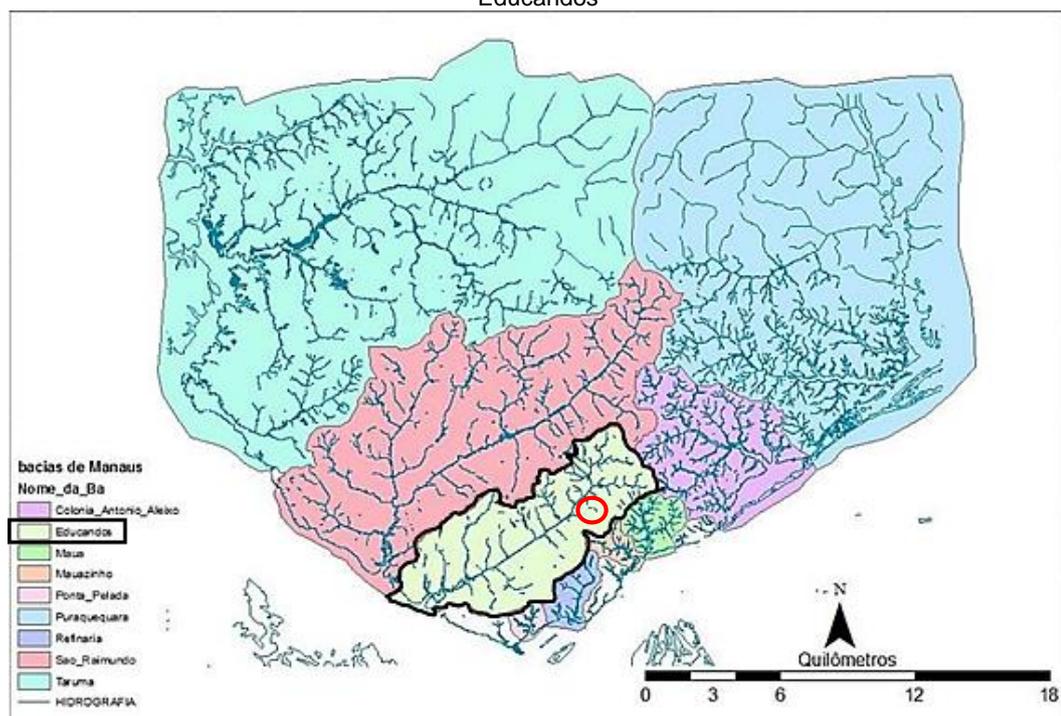
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos diversos tipos de procedimentos metodológicos o delineamento da pesquisa científica se mostra fundamental ao sistematizar planos e estruturas para a obtenção das respostas para o problema de estudo (RAUPP e BEUREN, 2006, p. 76). Portanto a caracterização da presente pesquisa se enquadra em uma mescla de exploratória e descritiva, visto que segundo Gil (1999) esta tipologia é desenvolvida no sentido de promover uma visão geral sobre um determinado fato enquanto busca descrever características de um dado fenômeno.

4.1 Características da área de estudo

Com uma área de 6,7 milhões de metros quadrados, o *Campus* Universitário da UFAM se destaca como o maior fragmento florestal urbano do Brasil e o terceiro em escala mundial (DANTAS, 2012) e está entrecortado por diversos igarapés e nascentes que fazem parte de sub-bacias extremamente relevantes para a cidade de Manaus, por exemplo a Bacia do Educandos, afluente do Rio Negro, como se vê na figura 10.

Figura 10: Bacias Hidrográficas de Manaus. Em destaque, a localização do objeto de estudo na bacia do Educandos



Fonte: SEMMAS (2007) *apud* MACENA e COSTA (2012).

Tendo suas nascentes na Reserva Sauim, *campus* UFAM e nos bairros Zumbi, Armando Mendes e Coroadó, todos na zona leste, a bacia possui cerca de 40 km², ocupa em torno de 10,2% da área urbana da cidade, e corta a cidade no sentido leste-sul, tendo seu principal trecho hídrico o Igarapé do Quarenta, que deságua no Rio Negro no bairro Educandos, zona sul (CALVO, 2018).

Essa bacia está intimamente ligada ao cotidiano do manauara por estar presente nas principais vias urbanas da capital e ocupar as áreas mais densamente povoadas como a região do Centro, Educandos, Santa Luzia e entre outros bairros que somados representam cerca de 25% da população de Manaus (RABELO, 2009; VILAÇA, 2012), cenário este que indica a relevância da qualidade do efluente de esgoto para a qualidade de vida da população da cidade.

Nesse ensejo, a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), onde está localizado o objeto de estudo deste trabalho, possui dois setores no *campus* sede, identificados como Setor Sul e Setor Norte. Cada setor possui seu sistema de tratamento de esgoto sanitário independente, embora possuam semelhantes níveis e unidades de tratamento, conforme verificado nos projetos básicos: tratamento preliminar (gradeamento, caixas de areia e calha Parshall), tratamento primário (TS), tratamento secundário (FA e FP), desinfecção (pastilhas de cloro) e escada d'água que conduz o efluente final ao corpo receptor. Importante destacar que embora, os filtros plantados estejam na concepção do projeto original como parte do tratamento secundário com os filtros anaeróbios, eles podem também configurar-se como tratamento terciário conforme Vymazal (2010).

Em relação à localização geográfica da ETE Setor Norte, objeto de estudo, encontra-se cerca de 500 metros da área urbanizada da estrada de acesso ao *campus*, com acesso, por trilha acidentada, pela Faculdade de Estudos Sociais (coordenadas de 3° 05' 33.8" S e 59° 57' 22" W) como ilustrado na figura 11.

Figura 11:Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Google Earth (2021)

No organograma institucional, a responsabilidade de gestão dos serviços de monitoramento, operação e manutenção da ETE- Setor Norte fica a cargo da Prefeitura do Campus Universitário (PCU), que por sua vez, é quem possui os dados relativos à qualidade do esgoto bruto e tratado da ETE em questão.

4.2 Estruturação do trabalho

Para tanto, o delineamento do caminho metodológico do trabalho se deu pelo seguinte procedimento: instrumentação de coleta de dados baseado em pesquisa bibliográfica, cujas analogias foram efetuadas na literatura com a situação real; pesquisa documental, na análise do projeto técnico básico e de dados secundários que contribuíram para entender o caminho do esgoto, assim como os laudos de análise laboratorial e normas técnicas; aplicação do estudo de campo para levantamento das características gerais da ETE Setor Norte-UFAM, buscando obter o máximo de informações sobre o sistema implantado e compreender o processo de tratamento. O quadro 6 sintetiza, portanto, o caminho metodológico aplicado.

Quadro 6: Síntese do caminho metodológico utilizado no desenvolvimento do trabalho

Etapas	Objetivos	Técnicas e coleta de dados	Análise dos dados
Levantamento de aspectos teóricos-técnicos	Embasamento teórico-técnico para contribuir na análise dos fenômenos observados no estudo de campo	Pesquisa em livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e documentos técnicos	Correlação das conceituações teóricas e normas técnicas sobre a temática e objeto de estudo
Caracterização da ETE Setor Norte-UFAM	Identificação e descrição da tipologia da ETE e seus componentes de funcionamento	Descrição das tipologias de cada unidade de tratamento e seus respectivos componentes com base na análise do projeto técnico da ETE	Manejo de aspectos relativos à concepção e critérios técnicos adotados no projeto original e elaboração dos desenhos técnicos de cada unidade
Atualização do projeto técnico da ETE	Dimensionamento com base na atualização dos dados populacionais, para fins de comparação com o projeto técnico original da ETE	Levantamento da população mais atual possível e adoção de dados técnicos referenciados no projeto original.	Análise do projeto original em conformidade com critérios técnicos normativos e teóricos
Diagnóstico do sistema existente com a elaboração do <i>as built</i> da ETE	Caracterização de aspectos do projeto técnico, da execução, operação e de manutenção da ETE	<ul style="list-style-type: none"> - Registro das medidas <i>in loco</i> de cada unidade; - Registro fotográfico das partes constituintes do sistema; - Sistematização dos resultados de laudos laboratoriais parciais da qualidade do efluente tratado disponibilizados pela PCU; - Anotações sobre aspectos operacionais e de manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> - Análise comparativa do sistema executado a partir do projeto original; - Análise crítica por meio dos dados obtidos do diagnóstico físico, operacional e de manutenção
Propostas de possíveis ações de melhorias na ETE	Avaliação geral da ETE sob os aspectos técnicos, operacionais e de manutenção no cenário analisado.	-	Consolidação da análise partir dos dados obtidos.

Fonte: Autor (2021)

Inicialmente, foi solicitado acesso ao projeto de implantação da ETE Setor Norte-UFAM junto ao corpo técnico da prefeitura, no entanto é importante comentar que só havia o projeto referente à ETE do Setor Sul, não sendo possível replicá-lo ao nosso objeto de estudo dada as particularidades de cada um, ainda que ambas possuam as mesmas unidades de tratamento e concepção de projeto. O único dado

construtivo disponível foi o memorial descritivo da ETE onde consta toda a concepção de projeto elaborado por empresa contratada.

Para elaboração dos desenhos técnicos foram utilizados o *software* AutoCAD e o memorial descritivo da ETE, e comparado, por fim, com os desenhos técnicos *as built* do sistema de tratamento. Este foi executado a partir de levantamentos das medidas físicas das unidades componentes quando da visita em campo. Por fim, verificou-se se existem divergências entre o projeto básico disponibilizado e o *as built*, analisando, portanto, se houver, qual o impacto destas divergências no funcionamento geral do sistema.

Além disso, a análise dos laudos laboratoriais da qualidade do efluente final da ETE, juntamente com o manual de procedimentos de limpeza e operacionalização das unidades do sistema, ambos disponibilizados pela PCU, ajudam também a compreender o funcionamento da ETE para o período analisado e verificar se o sistema em plena operação confere ao efluente final a qualidade mínima preconizada em leis e normas técnicas sobre o tema.

Vale ressaltar que inicialmente foi previsto a realização de coletas e análises laboratoriais de amostras do esgoto bruto e efluente tratado, no entanto, em razão das condições de pandemia da Covid-19 instauradas no início das atividades do presente trabalho, que impôs a suspensão das atividades presenciais na instituição, esta atividade não pôde ser realizada, motivo pelo qual foram disponibilizados os laudos de análise pela PCU de períodos não contínuos, realizados por empresas terceirizadas, o que permitiu, além do que fora explicado, uma análise superficial de atendimento da eficiência da ETE.

Ao final, os dados tratados e as análises realizadas subsidiaram inferências sobre possíveis melhorias para a ETE, com foco em aspectos técnicos construtivos, bem como operacional e de manutenção na busca de contribuir com a otimização na eficiência do sistema sob aspecto de atendimento legal como também sob o enfoque da representatividade da ETE no cenário em que o *campus* da UFAM Manaus está inserido: uma Área de Preservação Permanente do governo federal na região Amazônica com impacto direto na cidade de Manaus.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características gerais das etapas da ETE – UFAM Setor Norte

Nesse primeiro momento são apresentadas as principais características da ETE UFAM - Setor Norte, incluindo as dimensões das unidades de tratamento que a compõe, extraídas do memorial descritivo referente ao projeto básico. Vale ressaltar que além da caracterização das tipologias de cada unidades da ETE foi necessário a elaboração dos seus respectivos desenhos técnicos para complementação do material disponibilizado pela gestora do serviço. Dessa forma foi admitido que tais dimensões estão condizentes com as normas técnicas sobre dimensionamento de ETE, como a NBR 12208/2020, NBR 12209/2011, NBR 7229/1993, NBR 13969/1997, entre outras que serão citadas quando pertinentes.

A ETE – Setor Norte é composta por cinco unidades modulares, a saber: tratamento preliminar (ou pré-tratamento); tratamento primário; tratamento secundário; tratamento terciário e desinfecção. Após a análise do projeto básico, tendo-se como princípio o memorial descritivo que propiciou avaliar as dimensões das unidades de tratamento que compõem o sistema e seus respectivos tempos de detenção hidráulica, foi elaborada a tabela 4 que consolida os respectivos valores.

Tabela 4: Dimensões em planta de cada módulo de tratamento da ETE.

Módulo de Tratamento	Dimensões (em cm)		TDH (em h)
	Largura	Comprimento	
Gradeamento	40	-	-
Desarenadores	30	260	-
Calhas Parshall	30	91	-
Tanques Sépticos	400	900	12
Filtros Anaeróbios	600	600	8,83
Filtros Plantados	750	2000	7,97
Câmara de Contato	140	780	0,5

Fonte: Prefeitura do Campus Universitário UFAM (2009)

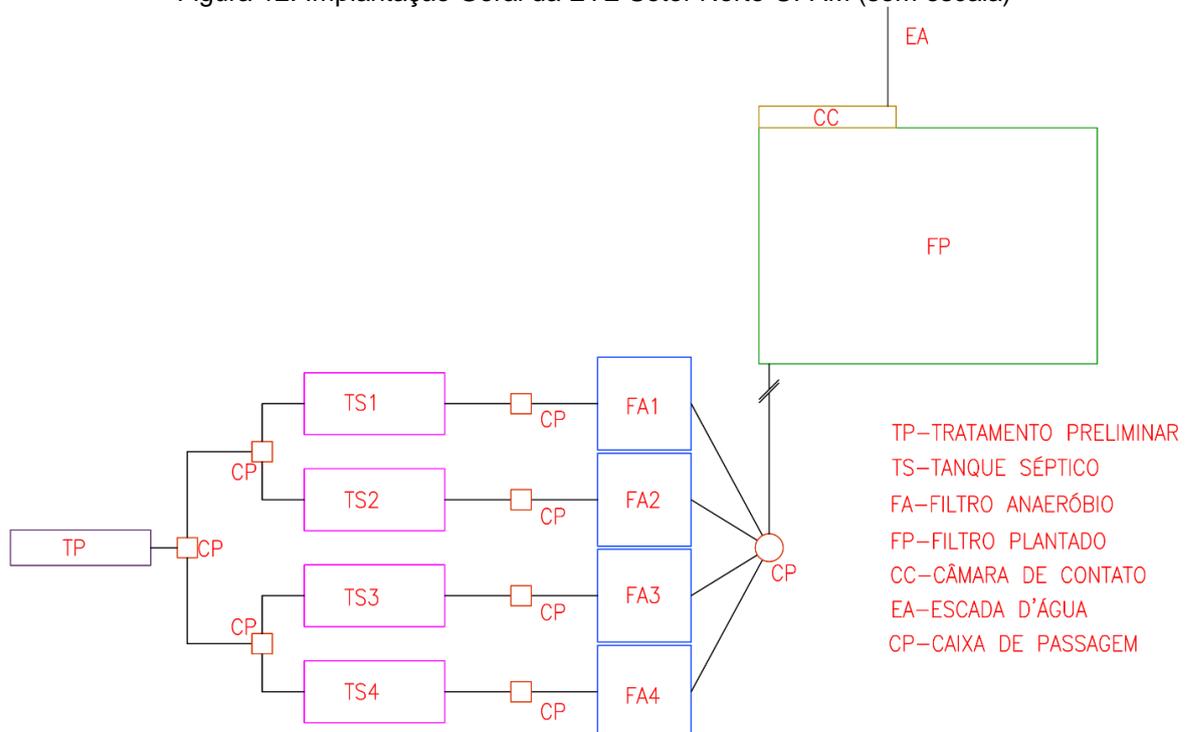
Como indicado anteriormente, o sistema de tratamento de esgoto do setor Norte é composto pelas seguintes etapas:

- 1) Tratamento preliminar contendo as fases de gradeamento, desarenadores e calha Parshall;

- 2) Tratamento primário contendo quatro tanques sépticos de câmara dupla;
- 3) Tratamento secundário com quatro filtros anaeróbios, cada um interligado a um tanque séptico, tratando-se, então, de um clássico sistema tanque séptico - filtro anaeróbio;
- 4) Tratamento terciário com filtros plantados (*Wetlands* Construídas de escoamento subsuperficial horizontal) para fins de remoção de nutrientes do efluente; e
- 5) Etapa de desinfecção com adição de hipoclorito de cálcio mantido em contato com o efluente em uma câmara por 30 minutos.

O efluente, após essa última etapa, é direcionado a uma escada d'água e à medida que percorre os degraus e dissipa energia, recebe a aeração para que haja a dissipação de odores típicos dos tratamentos anaeróbios, além da diminuição da concentração de cloro residual no efluente (PCU, 2009). A disposição final do efluente, portanto, ocorre em um corpo d'água localizado na área territorial da floresta do *campus* universitário da UFAM. A configuração geral da ETE é mostrada na figura 12.

Figura 12: Implantação Geral da ETE Setor Norte-UFAM (sem escala)

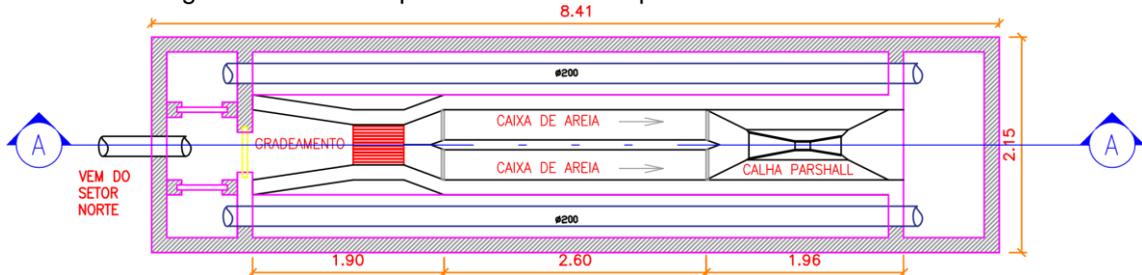


Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

O esgoto sanitário gerado na área de contribuição – setor Norte é conduzido por sistema de coleta até a ETE, com elementos típicos de redes de esgoto, com

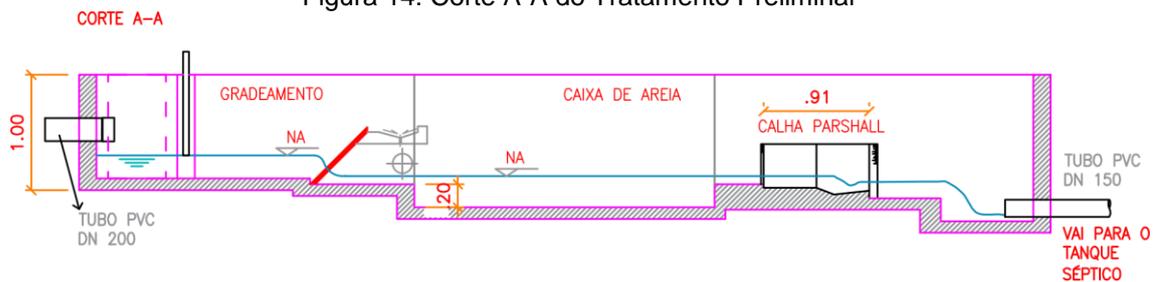
caixas de passagem, caixas de gordura, poços de visita e outros, necessários para o bom funcionamento e manutenções devidas, e com isso garantir o deságue e o tratamento na ETE adequadamente. Entretanto, ainda se faz necessário garantir a retirada de material grosseiro, compreendendo assim a etapa de tratamento preliminar. As fases de gradeamento, desarenadores e calha parshall, bem como suas dimensões (em metros) estão ilustradas nas figuras 13 e 14.

Figura 13: Vista em planta baixa das etapas do Tratamento Preliminar



Fonte: Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Figura 14: Corte A-A do Tratamento Preliminar

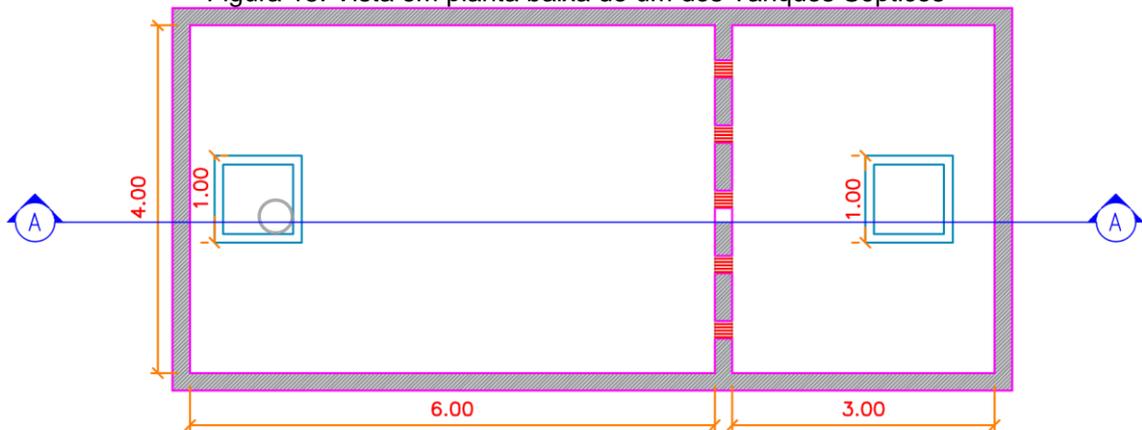


Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Após passar pela calha *Parshall*, o esgoto bruto é equitativamente distribuído entre os quatro conjuntos de tanque séptico e filtro anaeróbio. A fase do tratamento primário que visa reduzir os níveis de SST e matéria orgânica é realizada de forma anaeróbia em tanques sépticos com duas câmaras separadas horizontalmente com paredes vazadas para conduzir o efluente.

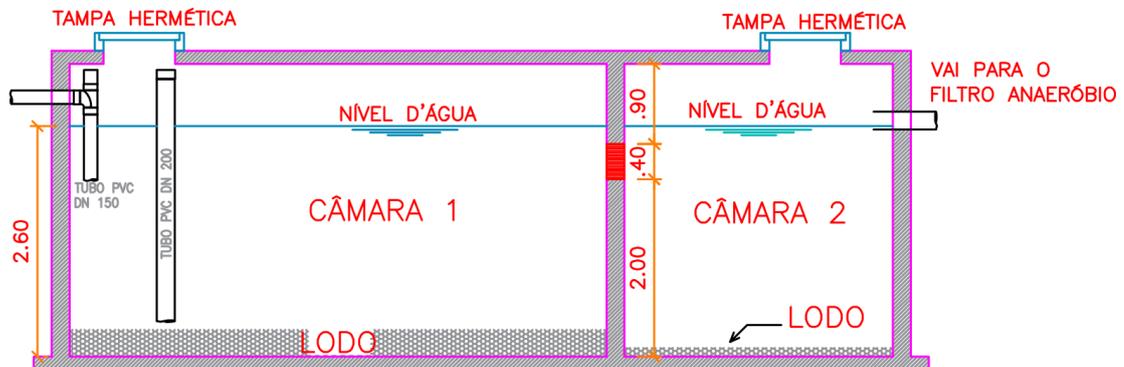
Segundo Andrade e Neto, *et. al* (1999), a primeira deve ser maior que a segunda por se reservar mais a reduzir a matéria orgânica, levando a maior formação de lodo. Na segunda, por ser menor e menos turbulenta, ocorre maior aproveitamento na redução de SST. Em ambas, ocorre a formação de escumas. A representação gráfica em planta e em corte de um dos Tanques Sépticos estão nas figuras 15 e 16.

Figura 15: Vista em planta baixa de um dos Tanques Sépticos



Fonte: Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Figura 16: Corte A-A de um dos Tanques Sépticos

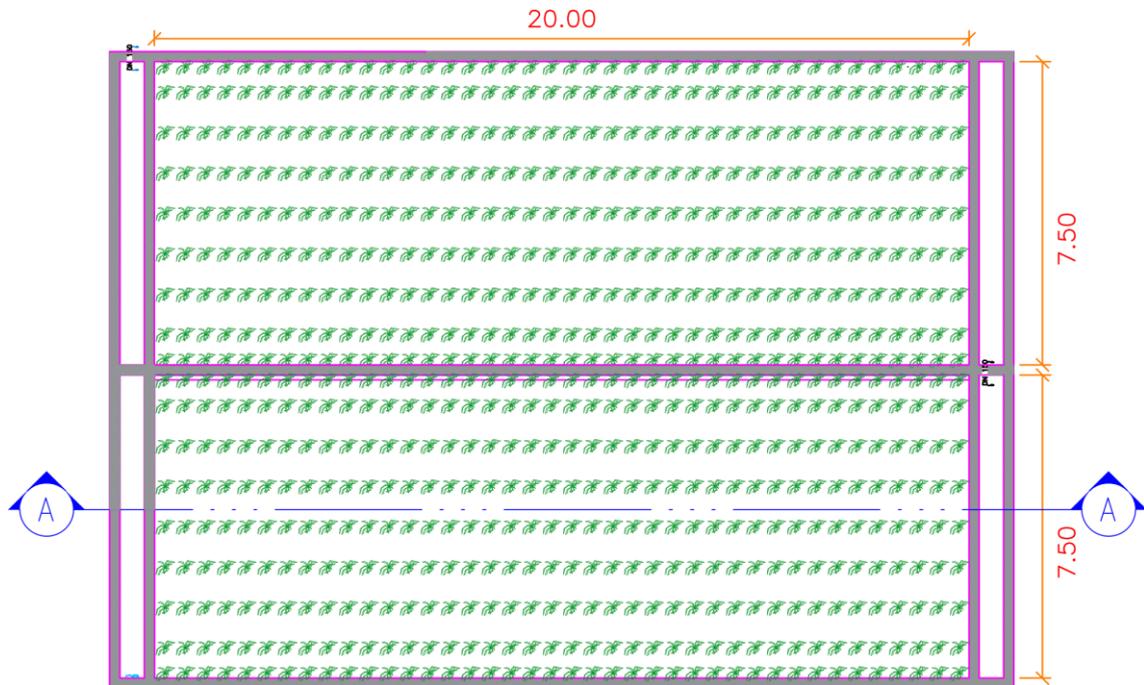


Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Como usualmente ocorre redução de 30% a 40% de DBO e de 60% a 70% de SST nos tanques sépticos (VON SPERLING, 2014), a qualidade do efluente ainda está aquém do exigido no âmbito legal. Logo, foi projetado como tratamento posterior para refinar os parâmetros da porção aquosa, filtros anaeróbios (FA).

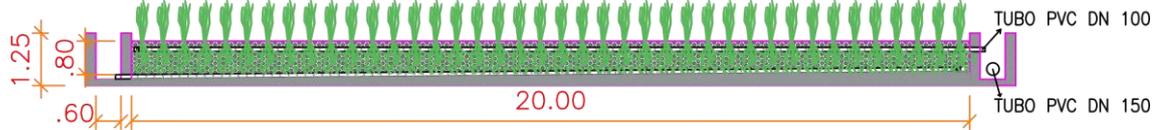
Assim, têm-se 4 (quatro) FA's que funcionam em fluxo ascendente com leito de pedra. Os filtros possuem dimensões, em planta, de 6m x 6m, e canaletas verticais que conduzem o efluente das extremidades da unidade para o meio onde há outra canaleta principal na horizontal que conduz o efluente para a próxima etapa do sistema. Nas figuras 17 e 18 estão ilustradas as dimensões do FA da ETE de estudo.

Figura 19: Vista em planta baixa do Filtro Plantado



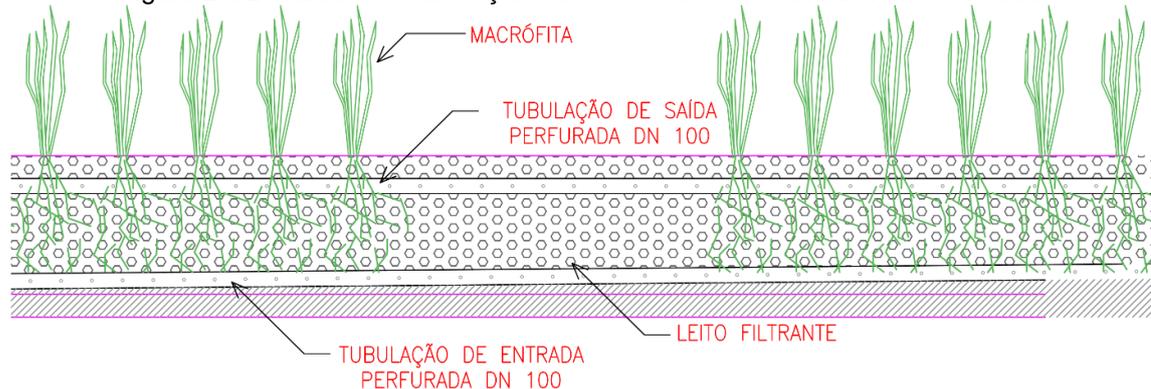
Fonte: Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Figura 20: Corte A-A do Filtro Plantado



Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

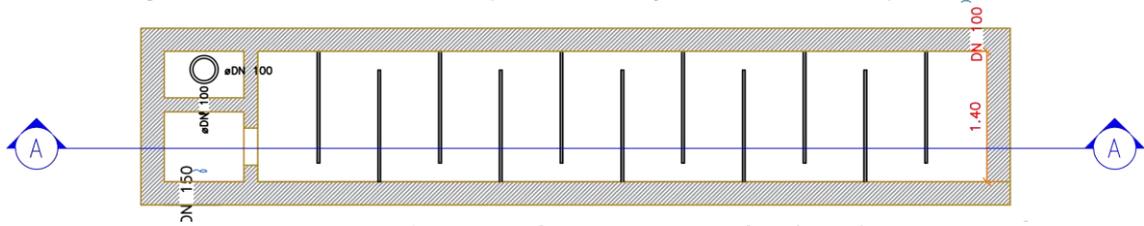
Figura 21: Detalhamento da seção transversal do corte A-A do Filtro Plantado



Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

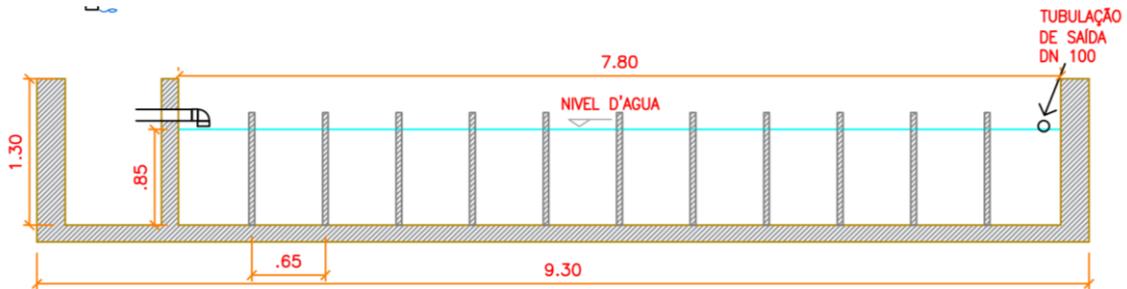
Para a desinfecção do efluente dos *wetlands*, o método adotado foi a utilização de hipoclorito de cálcio durante trinta minutos, tempo em que o efluente flui através da câmara de contato. As dimensões em planta e em corte estão ilustradas nas figuras 22 e 23.

Figura 22: Câmara de Contato para desinfecção do efluente em planta baixa



Fonte: Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Figura 23: Corte A-A da câmara de contato



Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2009)

Após essa etapa, o efluente pode ser lançado na natureza, no caso, em um igarapé nas proximidades do local. Essa comunicação entre o ponto final da ETE e esse corpo hídrico é a escada d'água já mencionada. Segundo a PCU (2009), essa escada possui 47,30 metros de comprimento ao longo de quase 2,00 metros de altura, com cada degrau possuindo uma inclinação de 1%, considerando o referencial imediatamente após o efluente sair da câmara de contato.

5.2 Dimensionamento do projeto básico da ETE Setor Norte-UFAM

Considerando dados do projeto técnico da ETE foi elaborado novo dimensionamento com base no ano de 2017, com o objetivo de validar se o que foi projetado em 2009 está condizente com as normas técnicas vigentes sobre o tema, além de verificar se as condições de projeto adotadas em 2009 ainda são satisfeitas para a conjuntura analisada em 2017.

5.2.1 Estimativa populacional e dados de projeto

Para comparar a população de projeto de 2009 – ano de concepção do projeto básico da ETE – com a população do ano mais próximo possível de 2021 e então,

baseado nos critérios de dimensionamento previstos em literaturas e normas, avaliar se o sistema de tratamento consegue atender esses usuários de modo a enquadrar-se nos parâmetros legais para o referido ano, buscou-se, em vista disso, a população apenas do *campus* Setor Norte da UFAM, visto que são esses os usuários atendidos pela ETE.

Entretanto, pelas condições impostas pela pandemia da Covid-19 na cidade de Manaus que suspendeu todas as atividades presenciais na instituição, a obtenção deste dado populacional não estava disponível de forma acessível até a finalização deste trabalho. Para viabilizar este estudo, foi necessário então fazer uma estimativa da população, entendendo-se que por ser um dado fundamental para compreender como se procede o tratamento de efluentes na localidade.

A estimativa, portanto, da população de projeto do Setor Norte foi obtida pela diferença entre a população de todo o *campus* universitário da UFAM e a do Setor Sul. A primeira foi extraída do estudo intitulado “UFAM em números” realizada pela Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento Institucional (PROPLAN) em 2018, porém com os dados referentes ao ano de 2017, além de ser utilizado também o estudo realizado pelo Serviço de Informação do Cidadão (SIC) nos dados abertos da UFAM.

A obtenção do dado populacional referente ao Setor Sul se deu por um estudo do diagnóstico de funcionamento da ETE Setor Sul realizado pela prefeitura do *campus* em abril de 2017 onde foi informada a população de projeto desta estação. A tabela 5 mostra os valores estimados obtidos de cada setorização do *campus* universitário.

Tabela 5: Estimativa populacional do Setor Norte para o ano de 2017

População	Discentes		Docentes	TAEs	Total
	Graduação	Pós-graduação			
<i>Campus</i>	18.679	496	1579	1645	22.399
Setor Sul		9000			9000
Setor Norte	-	-	-	-	13.399

Fonte: PROPLAN (2018)

Visto isso, estimou-se que a população de projeto, compreendida por discentes de graduação e pós-graduação, docentes e técnicos administrativos de educação (TAEs), era de 13.399 habitantes em 2017. A partir deste valor, o dimensionamento

das unidades que compõem o sistema feito pelo autor será confrontado com o realizado pela empresa para averiguação de observância às normas técnicas. Ressalta-se que a população de projeto de 2009 foi adotada como 11.000 habitantes, havendo um aumento de quase 22% de usuários do sistema entre este ano e 2017.

De modo geral, os dados de projeto técnico original e os dados populacionais estimados para 2017 têm-se os seguintes parâmetros de projeto:

- População de projeto estimada para o ano de 2017: 13.399 habitantes;
- Consumo *per capita*: 50 L/hab.dia (NBR 7229/1993);
- Coeficiente de Retorno de Esgoto: 0,8 (NBR 9649/1986);
- Coeficiente do dia de maior consumo: 1,2 (NBR 9649/1986);
- Coeficiente da hora de maior consumo: 1,5 (NBR 9649/1986);
- Coeficiente do dia de menor consumo: 0,5 (NBR 9649/1986)

5.3 Dimensionamento das etapas da ETE para o ano de 2017

5.3.1 Tratamento Preliminar

O dimensionamento da unidade de tratamento preliminar se iniciou na calha Parshall por ser quem comanda o funcionamento das demais unidades devido sua capacidade de manter o nível d'água constante dentro do tratamento preliminar, requisito primordial no funcionamento dos módulos à montante.

a) Calha Parshall

Com os dados de projeto, o primeiro procedimento foi calcular as vazões máxima, mínima e média. Para obtenção da vazão média ($Q_{d,méd}$), em litros por segundo, utiliza-se a equação 1 a seguir:

$$Q_{d,méd} = \frac{Pop * QPC * C}{86400} \quad 1$$

Onde,
 Pop é a população de projeto de um referido ano;
 QPC é o consumo *per capita* previsto em normas e
 C é o coeficiente de retorno.

Substituindo na equação 1 os dados listados acima, encontra-se uma vazão média de 6,20 L/s. Para obtenção das vazões máximas e mínimas, adotam-se as equações 2 e 3 a seguir:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{d,m\acute{e}d} * K_1 * K_2 \quad 2$$

$$Q_{m\acute{i}n} = Q_{d,m\acute{e}d} * K_3 \quad 3$$

Substituindo os valores listados e a vazão média já calculada, encontram-se os valores de vazão máxima e mínima de 11,17 L/s e 3,10 L/s respectivamente.

Com esses valores, selecionou-se a melhor calha Parshall disponível no mercado, considerando os limites de vazões máxima e mínima que cada modelo fornece e o custo-benefício dessa peça. Com isso, sugere-se adotar a calha Parshall de 3" (três polegadas), conforme tabela 6.

Tabela 6: Tipos de calha Parshall em função das vazões máximas e mínimas.

W (in ou ft)	Q _{mín} (L/s)	Q _{máx} (L/s)
3"	0,85	53,8
6"	1,52	110,4
9"	2,55	251,9
1'	3,11	455,6

Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY (2016)

Sendo W a medida do trecho mais estreito, na longitudinal, da calha, comumente chamado de garganta. Com valor de W (= 3") determinado, obtém-se a altura H referente ao máximo nível que o efluente ocupa na fase de tratamento preliminar, obtida a partir da equação 4:

$$H = \left(\frac{Q}{k}\right)^{1/n} \quad 4$$

Onde, K e n são constantes de projeto tabeladas em função da garganta W. Para W = 3", valem 0,176 e 1,547 respectivamente.

Como se pode inferir, para diferentes vazões haverá diferentes alturas H. Para as vazões média, máxima e mínima já calculadas, H pode assumir os valores, em metros, de 0,115; 0,168 e 0,073, respectivamente.

Por questões construtivas e hidráulicas, na instalação da calha Parshall há de haver um rebaixamento para que essa altura H se mantenha constante ao longo do pré-tratamento. Segundo Dacach (1991), esse rebaixo regula as velocidades nas unidades à montante, ou seja, sem este degrau pequeno as velocidades – que possuem valores mínimos e máximos normalizados – no gradeamento e nas caixas de areia ficariam muito reduzidas, acarretando problemas na estação. Esse rebaixo (Z) é calculado pela equação 5:

$$Z = \frac{(Q_{m\acute{a}x} * H_{m\grave{i}n}) - (Q_{m\grave{i}n} * H_{m\acute{a}x})}{(Q_{m\acute{a}x} * Q_{m\grave{i}n})} \quad 5$$

Para o dimensionamento realizado, e adequando as unidades pertinentes, o valor de Z é igual a 3,71 centímetros. Assim, determina-se a altura h, que é a diferença entre a altura H máxima do nível d'água e o rebaixo Z da Calha Parshall, conforme equação 6. Assim como existem diferentes valores de H para diferentes valores de vazão Q, haverá idem diferentes valores para h:

$$h = H - z \quad 6$$

Por fim, os valores de h são, em metros, para as vazões média, máxima e mínima: 0,078; 0,131 e 0,036 respectivamente. A tabela 7 abaixo mostra o resumo do dimensionamento da Calha Parshall.

Tabela 7: Dimensionamento da Calha Parshall considerando a população de 2017

Vazão de Projeto (L/s)		Altura H (m)		Altura h (m)	
Q _{méd}	6,2	H _{méd}	0,115	h _{méd}	0,078
Q _{máx}	11,17	H _{máx}	0,168	h _{máx}	0,131
Q _{mín}	3,1	H _{mín}	0,073	h _{mín}	0,036

Fonte: Autor (2021)

b) Gradeamento

O dimensionamento do gradeamento é normatizado pela NBR 12209/2011 e o procedimento de cálculo inicia pela área útil da seção, desconsiderando as larguras das barras, isto é, considerando a seção efetiva de escoamento. Segundo a norma supracitada, a velocidade pelas grades deve estar entre 0,4 m/s e 0,75 m/s. Com fins

de validação inicial dos cálculos, primeiramente estipulou-se uma velocidade no intervalo normatizado e depois se verificou se as dimensões calculadas de fato imprimiam uma velocidade adequada.

Presume-se inicialmente, portanto, uma velocidade de 0,6 m/s. A partir desta e sabendo a vazão máxima calculada (equação 3), determina-se a área útil (A_u) da seção, por meio da equação 7:

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{v} \quad 7$$

Para as condições dadas, a área útil vale 0,019 m². Em seguida com base na NBR 12208/2020, escolhe-se, a critério do projetista e das condições de projeto *in loco*, qual as dimensões das barras e espaçamento entre elas, com base na classificação destas em fina, média e grossa, conforme tabela 8.

Tabela 8: Seção e espaçamento típico de gradeamento a depender da disposição das barras

Tipo de grade	Seção da barra (pol.)	Espaçamento (cm)
Grossa	$\frac{3}{8} \times 2$	4,0 a 10,0
	$\frac{3}{8} \times 2 \frac{1}{2}$	
	$\frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{2}$	
	$\frac{1}{2} \times 2$	
Média	$\frac{5}{16} \times 2$	2,0 a 4,0
	$\frac{3}{8} \times 1 \frac{1}{2}$	
	$\frac{3}{8} \times 2$	
Fina	$\frac{1}{4} \times 1 \frac{1}{2}$	1,0 a 2,0
	$\frac{5}{16} \times 1 \frac{1}{2}$	
	$\frac{3}{8} \times 1 \frac{1}{2}$	

Fonte: Adaptado de JORDÃO E PESSOA (2011).

Para fins de comparação de dados entre o projeto original e o dimensionado para o ano 2017, foi adotado o mesmo espaçamento entre as barras médias: 2 centímetros. Quanto à seção das barras não foi possível determinar por ter sido adotado um modelo que não há para barras médias – que no caso é uma seção $\frac{1}{4} \times 2$ ". Por isso, adotar-se-á uma seção de $\frac{3}{8} \times 2$ ".

Enfim, determinados a seção (t) e o espaçamento (a), obtém-se a eficiência (E) da grade, ou seja, o quanto, em porcentagem, as barras do gradeamento ocupam da largura efetiva, visto que será por esta seção reduzida que o esgoto de fato irá fluir. A determinação de E se dá pela equação 8.

$$E = \frac{a}{a + t} \quad 8$$

Pelas condições dadas, e adequando as unidades, define-se a eficiência da grade em 0,67. Ou seja, da largura total do canal na grade, o esgoto flui por 67% dela. Tendo em mãos esses valores, pode-se determinar a área total (A_t) da seção do canal, dividindo-se a área útil (A_u) pela eficiência da grade, como mostra a equação 9.

$$A_t = \frac{A_u}{E} \quad 9$$

O que resulta em uma área, em m^2 , de 0,029. Para enfim, obter a largura máxima do canal (b), basta dividir a área total pela altura $h_{m\acute{a}x}$ obtida no dimensionamento da calha Parshall, visto que esta é a situação mais crítica. Além disso, a NBR 12209/2011 estabelece que a largura mínima para limpezas manuais seja de 0,3 metro. A equação 10 exibe a obtenção de b .

$$b = \frac{A_t}{h_{m\acute{a}x}} \geq 0,3 \quad 10$$

Efetuando as operações matemáticas, obtém-se o valor de b de 0,221 metro, inferior, portanto, o que preconiza a norma. Ou seja, adota-se a largura mínima de 0,3 metro. Especificada, enfim a largura do canal, determina-se a nova área total da seção de gradeamento, multiplicando-se b pela mesma altura $h_{m\acute{a}x}$, como mostra a Equação 11.

$$A_{t,nova} = \frac{b}{h_{m\acute{a}x}} \quad 11$$

Obtendo-se, então, o valor de 0,039 m^2 de área. Para o novo valor de b (de 0,3 metro), devem-se, então, recalculer as novas áreas úteis e totais para cada vazão – e, conseqüentemente para cada altura h – e verificar se as novas velocidades atendem os limites estabelecidos pela norma ($0,4 \leq v \leq 0,75$). A tabela 9 mostra o resumo dos efetivos valores dimensionados para o gradeamento da ETE Setor Norte UFAM.

Tabela 9: Verificação da velocidade na grade devido à nova largura b

Regime	Vazão (m³/s)	h(m)	Área total (m²)	Área Útil (m²)	Velocidade (m/s)	Atende à NBR 12209/2011
Máximo	0,0112	0,131	0,039	0,026	0,43	Sim
Médio	0,0062	0,078	0,023	0,016	0,39	Não
Mínimo	0,0031	0,036	0,011	0,007	0,44	Sim

Fonte: Autor (2021)

Conforme observado, a velocidade para a vazão média fica menor que o mínimo recomendado pela NBR 12209/2011, o que produziria um cenário inadequado na unidade: com baixas velocidades a perda de carga seria menor do que a referida norma estabelece.

Em vista disso, para adequar a velocidade para vazão máxima é comum que se aumente o valor do rebaixo (Z) da calha *parshall*, pois conforme já dito, quanto maior valor de Z, maiores velocidades nas unidades de gradeamento e desarenadores. Decide-se aumentar, então, o valor de Z de 0,0371 para 0,04. Com essa mudança, todos os valores da tabela 9 são alterados, conforme a tabela 10.

Tabela 10: Verificação da velocidade na grade devido ao novo valor de Z

Regime	Vazão (m³/s)	h(m)	Área total (m²)	Área Útil (m²)	Velocidade (m/s)	Atende à NBR 12209/2011
Máximo	0,0112	0,128	0,038	0,026	0,44	Sim
Médio	0,0062	0,075	0,023	0,015	0,41	Sim
Mínimo	0,0031	0,033	0,010	0,007	0,46	Sim

Fonte: Autor (2021)

Observa-se que um pequeno aumento no valor de Z já readequou de acordo com a NBR 12209/2011 as velocidades no gradeamento para qualquer que seja o regime de vazão de alimentação.

Por fim, ainda para o gradeamento, deve-se determinar a perda de carga (h_f) devido às incrustações presentes no esgoto bruto. A equação 12 estabelece a determinação da perda de carga.

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

Onde, V é a velocidade à montante da grade para a vazão máxima, determinada na tabela 13; V_0 é a velocidade à jusante da grade, considerando a grade suja em 50%, como determina a NBR 12209/2011, ou seja, o dobro de V ; e g é a aceleração gravitacional tida como $9,8 \text{ m/s}^2$. Substituindo os valores, obtém-se uma perda de carga de 0,0415 metros ou 41,51 milímetros.

c) Desarenadores

Para o dimensionamento das caixas de areia, primeiramente determinou-se a largura b de cada canal, também com largura mínima de 0,3 metros como preconiza a NBR 12209/2011. A equação 13 mostra como se determina essa largura, baseando-se, ainda, na vazão média e a altura para esta mesma vazão, ambas já calculadas anteriormente.

$$b = \frac{Q_{méd}}{h_{méd} * v}, \quad 13$$

Nos desarenadores, as velocidades aceitáveis variam de 0,25m/s e 0,40m/s, ainda de acordo com a NBR 12209/2011. Assim como para o gradeamento, deve-se iniciar estipulando uma velocidade dentro desse intervalo. Isso foi feito adotando inicialmente 0,30 m/s, encontrando uma largura b de 0,27 metros. Para limpeza manual a largura mínima deve ser 0,3 metros também, ou seja, esta será adotada.

Além disso, por métodos meramente experimentais, o comprimento dos canais é obtido como mostrado na equação 14.

$$L = 22,5 * h_{máx} \quad 14$$

Onde $h_{máx}$ é a altura devido à vazão máxima determinada na calha Parshall. O comprimento L vale, portanto, 2,88 metros. Para o valor da largura adotada na equação 14, buscam-se calcular as áreas úteis para cada vazão, e conseqüentemente para cada altura (h). E com as diferentes vazões para estas diferentes áreas, determinam-se as velocidades para cada regime de vazão e valida se está nos limites da NBR 12209/2011 ou não. A tabela 11 mostra esses valores.

Tabela 11: Verificação da velocidade nos canais das caixas de areia

Regime	Vazão (m³/s)	h(m)	Área Útil (m²)	Velocidade (m/s)	Atende à NBR 12209/2011?
Máximo	0,0112	0,128	0,038	0,29	Sim
Médio	0,0062	0,075	0,023	0,28	Sim
Mínimo	0,0031	0,033	0,010	0,31	Sim

Fonte: Autor (2021)

Por fim, a norma ainda preconiza a determinação sobre a Taxa de Escoamento Superficial (TES), ou seja, o quanto de volume de esgoto flui diariamente para uma dada área em planta. Para este parâmetro, a NBR 12209/2011 afirma que o limite mínimo é de $600 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$ e o máximo de $1300 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$. Nessas condições, as partículas terão situações convenientes para não serem arrastadas pelo fluxo para as unidades à jusante da ETE ou se depositarem em excesso na unidade. A Equação 15 mostra como se determina o valor de TES.

$$TES = \frac{Q_{méd}}{L * b} \quad 15$$

Substituindo os valores extraídos da tabela 14 e adequando as unidades, encontra-se uma taxa de escoamento superficial de $619,33 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$, o que indica que as condições de projeto considerando o ano de 2017 correspondem as especificações normativas.

d) Comparações entre o projeto original e o projetado para 2017

Para se cumprir o objetivo desta seção, foi realizada uma análise entre as unidades de tratamento preliminar projetadas pela empresa no ano de 2009 e o atualizado em 2017, com base nas NBRs 12208/2020 e 12209/2011, para a população atendida do Setor Norte da universidade.

Para maior praticidade na análise comparativa dos resultados, optou-se por tabelar os dados de projeto do tratamento preliminar, conforme visto na tabela 12. Considerou-se o memorial descritivo do projeto original e as plantas discriminadas anteriormente para validação do projetado.

Tabela 12: Comparação de dados de projeto entre os anos de 2009 e 2021 para o tratamento preliminar

Pré-Tratamento	Dados de projeto analisados	Ano considerado		
		2009	2017	
Gradeamento	Seção adotada	1/4 x 2"	3/8 x 2"	
	Espaçamento (mm)	20	20	
	Largura b (m)	0,4	0,3	
	Perda de carga (mm)	15,72	41,51	
	Velocidade (m/s)	P/ Qmáx	0,27	0,44
		P/ Qméd	0,25	0,41
		P/ Qmín	0,27	0,46
Caixas de Areia	Largura b (m)	0,3	0,3	
	Comprimento L (m)	2,60	2,88	
	Velocidade (m/s)	P/ Qmáx	0,26	0,29
		P/ Qméd	0,247	0,28
		P/ Qmín	0,26	0,31
	TES (m ³ /m ² .dia)	564,66	619,33	
Calha Parshall	Calha adotada	3"	3"	
	Rebaixo Z (m)	0,033	0,040	
	Altura h (m)	P/ Qmáx	0,115	0,128
		P/ Qméd	0,069	0,075
		P/ Qmín	0,032	0,033

Fonte: Autor (2021) e PCU (2009)

As células destacadas são as que apresentam inconsistência no que diz respeito ao que preconizam as NBRs supracitadas no ano de concepção do projeto básico da ETE Setor Norte. Cabe lembrar que os valores referentes aos anos de 2009 foram extraídos do memorial descritivo do projeto original fornecido pela Prefeitura do *Campus*.

Observa-se que no gradeamento, por exemplo, a seção adotada não está inserida no rol previsto na NBR 12209/2011, o que foi fator crucial para que a velocidade através das grades esteja fora dos limites previstos na supracitada norma. Outro fator que levou a essa inconsistência foi a adoção da largura em 0,40 metros, o que por si só não é errôneo, visto que a mesma norma afirma que o mínimo deve ser de 0,3 metros, porém foi verificado que se fosse adotada esta largura de 30 centímetros, as velocidades estariam condizentes com a norma.

Nas caixas de areia, a inconsistência destacada está na Taxa de Escoamento Superficial (TES) que não atende os limites da NBR 12209/2011. O principal motivo desta incongruência reside no fato da altura h para vazão máxima ($h_{máx}$) não ter sido corrigida – pelo valor de Z –, procedimento adotado quando a TES fica fora do

intervalo normativo. Isso foi validado pelos cortes da planta baixa da ETE Setor Norte. Para a calha Parshall não foram verificadas inconsistências.

As divergências identificadas podem afetar diretamente o funcionamento da ETE estudada: velocidades baixas nas grades propiciam a sedimentação de matérias orgânicas indesejáveis na unidade, originando mau cheiro na estação, sobretudo dada à largura exacerbada adotada em projeto.

Fato semelhante ocorre com a TES menor que o mínimo estabelecido pela NBR 12209/2011, a possibilidade de haver deposição de matéria orgânica se torna viável com esse valor, deixando o ambiente com odores indesejáveis. Todos esses fatores impactam negativamente no correto funcionamento da ETE.

5.3.2 Tratamento Primário – Tanques Sépticos

Quanto ao tratamento primário, os tanques sépticos (TS) são normatizados pela NBR 7229/1993. As condições de projeto ainda são válidas neste estágio de tratamento, como se vê a seguir. A citada NBR traz a equação de dimensionamento dos TS como mostra a equação 16, expresso em volume.

$$V = 1000 + N * (C * T + K * L_f) \quad 16$$

Observa-se que o volume útil (V) obtido é em função da população de projeto (N) adotada na fase de tratamento preliminar, da contribuição de esgoto *per capita* (C) que depende do uso da edificação (neste caso, os ocupantes são temporários de longa permanência, comum esta cultura de permanecer nas dependências do Setor Norte por mais de 8h), e que vale $50 * 0,8 = 40 \text{ L}/(\text{hab.dia})$ (ABNT, 1993). Considerando a Taxa de Acumulação de Lodo (K) em dias, sendo este em função da temperatura média do mês mais frio do ano e da frequência de limpeza desse lodo.

Para tanto, considerou-se, conforme projeto original, intervalos de 1 ano, resultando em um valor de 57 dias, e, por fim, a contribuição de lodo fresco (L_f), de $0,2 \text{ L}/(\text{hab.dia})$, que cada usuário do sistema gera a partir da sua produção *per capita* (C).

Todas essas considerações encontram-se recomendadas na NBR 7229/1993. Assim, substituindo os valores, tem-se volume útil de $421,73 \text{ m}^3$. O volume útil por tanque séptico, portanto, é de $105,43 \text{ m}^3$, considerando haver quatro TS existentes no

sistema, conseqüentemente atendendo a 25% da população estimada para 2017, ou seja, cerca de 3.350 habitantes.

Com esse valor, ainda na supracitada norma, a altura útil (h) – dimensão vertical efetivamente em contato com a água residual – pode ser maior que 1,80 metros e menor do que 2,80 metros. No local da atual ETE em estudo, como já havia anteriormente uma antiga instalação de tanques sépticos, a empresa decidiu continuar com os TS existentes fazendo as adaptações pertinentes. Tais valores já existentes *in loco* são referentes a 2,60 metros de altura, 9,00 metros de comprimento – duas câmaras, uma de 6 metros e outra de 3 metros, conforme já mostrado – e 4,00 metros de largura, sendo um tanque de formato geométrico prismático.

O volume do TS já existente é obtido multiplicando-se as dimensões do prisma, obtendo-se assim valor de 93,6 m³, o que equivale a 89% do volume que o sistema necessita para realizar efetivamente o tratamento físico. A tabela 13 mostra os valores de projeto do projeto original e o novo projetado.

Tabela 13: Comparação de dados de projeto entre os anos de 2009 e 2021 para os tanques sépticos

Tratamento Primário	Dados de projeto analisados	Ano considerado	
		2009	2017
Tanques Sépticos	População por módulo	2750	3350
	Volume Útil Ideal (m ³)	87,35	105,43
	Volume Útil Existente (m ³)	93,6	

Fonte: Autor (2021) e PCU (2009)

Observa-se que o volume máximo que os tanques sépticos individualmente conseguem manter, visto que não foram alteradas nenhuma das suas dimensões originais, é insuficiente para o que o sistema atualmente requer, 105,43 m³. Essa realidade não era percebida no ano de concepção do projeto, em 2009, porém verificava-se que já estava sensivelmente igual ao máximo suportado pelos TS, de 93,6 m³.

Dessa forma, fatores de projeto como este mostrado podem interferir diretamente na eficiência do sistema de tratamento na totalidade, visto que ambientes subdimensionados para tratar o esgoto podem não o fazer adequadamente, gerando um efluente comprometido para a próxima unidade e assim afetando a ETE.

5.3.3 Tratamento Secundário e Terciário: Filtro Anaeróbio e Filtro Plantado

As unidades de filtros anaeróbios e plantado são unidades de tratamento complementar aos tanques sépticos, estando, então, previstas na NBR 13969/1997. As condições de projeto ainda são válidas nesta etapa de procedimento.

a) Filtros Anaeróbios

Para os filtros anaeróbios (FA), a norma expressa seu dimensionamento, em volume, como se segue na equação 17.

$$V = 1,6 * N * C * T \quad 17$$

A formulação acima é semelhante ao cálculo de volume útil dos tanques sépticos, entretanto sem considerar a formação e contribuição de lodo – já que esta unidade não se atém à formação de lodo –, além de acrescentar em 60% o valor deste. O valor da população (N) e da contribuição de despejos (C) são iguais aos adotados para os tanques sépticos. O valor do tempo de detenção hidráulica (T) foi adotado conforme valor projetado de 0,368 dias, complementado nos filtros plantados à jusante, visto que a NBR 13969/97 prevê o tempo mínimo de 0,5 dias.

Aplicando os valores na equação acima, encontra-se o valor de 315,57 m³. Sabe-se que para cada TS tem-se um FA, o volume que cada filtro trata é a quarta parte, ou seja, 78,89 m³ de volume útil.

Igualmente como os tanques sépticos, também já existiam os quatro filtros anaeróbios no local, tornando mais viável utilizar as instalações já existentes do que construir uma nova. Então, as dimensões dos filtros anaeróbios existentes são 6 metros de comprimento, 6 metros de largura e 2,1 metros de profundidade, sendo 1,80 metros de altura útil. Baseado nesta altura que a NBR 13969/1997 prevê o dimensionamento dos FAs. O volume útil, portanto, dos filtros anaeróbios já existentes é obtido multiplicando-se estas dimensões, resultando em um valor de 64,8 m³.

b) Filtros Plantados (FP)

Para os FPs, a NBR 13969/97 não traz especificamente uma equação para seu dimensionamento e, sim procedimentos construtivos e de cálculo. Um deles é referente a Taxa de Aplicação Superficial (TAS), conceito similar com a Taxa de Escoamento Superficial visto para o tratamento preliminar. A equação 18 mostra como obter este valor.

$$TAS = \frac{Q_{méd}}{A} \quad \text{Equação 18}$$

A TAS é expressa em $\text{m}^3/(\text{ha.dia})$, ou seja, uma relação entre a vazão média diária e a área superficial dos filtros plantados em hectare. A citada norma afirma que este valor não pode ultrapassar o limite de $600 \text{ m}^3/(\text{ha.dia})$. O valor de vazão média é o mesmo obtido na fase do tratamento preliminar e a área em planta é obtida pelas dimensões informadas no memorial descritivo e estão representadas anteriormente. Substituindo os valores, a TAS *in loco*, é $17.856 \text{ m}^3/(\text{ha.dia})$, cerca de trinta vezes o limite máximo estabelecido pela NBR 13969/1997, o que torna os filtros plantados em estudo com uma área muito menor do que determina os valores normativos.

Para Von Sperling e Sezerino (2018), o limite do TAS varia entre 0,02 a 0,08 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$ quando utilizados tanques sépticos como tratamento primário. Ainda assim, o valor da TAS para os filtros plantados *in loco* é de $1,79 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$, cerca de vinte e duas vezes a mais do que o máximo estabelecido pelos autores, retratando que há muita vazão para pouca área superficial disponível.

O tempo de detenção hidráulica das *wetlands* será o mesmo adotado no projeto básico, para facilitar quando comparados, de 0,332 dia. Ao somar com o tempo dos filtros anaeróbios, obtém-se o valor de 0,7 dia, o que é superior ao mínimo que a NBR 13969/97 preconiza de 0,5 dia. Com esse valor, pode-se obter o volume útil mínimo que a unidade necessita, conforme a equação 19.

$$V = Q_{méd} * T \quad \text{Equação 19}$$

Substituindo os valores, obtém o volume útil de $177,85 \text{ m}^3$. As dimensões de projeto dos dois filtros plantados são 20 metros de comprimento por 7,5 metros de largura (PCU, 2009), além de 80 centímetros de profundidade do leito filtrante. Então, o volume útil de cada FP vale 120 m^3 , o que é cerca de 1,5 vezes menor do que o sistema demanda.

É importante destacar que no projeto básico, considerou-se para fins de dimensionamento a altura total, que equivale à altura do leito filtrante e à sobressalente – dimensão vertical entre o ponto superior da tubulação de saída e a superfície em contato com o ar atmosférico. Entretanto, da mesma forma como foi considerado para os TSs e FAs, adotou-se – no cálculo que resulta os 120 m^3 - a

altura útil que está efetivamente em contato com o esgoto, excluindo-se, portanto, a altura sobressalente.

c) *Comparações entre o projetado no ano de 2009 e no de 2017*

A tabela 14 resume os valores de projeto de 2009 e 2017 para os tratamentos secundário e terciário.

Tabela 14: Comparação de dados de projeto entre os anos de 2009 e 2017 para os tratamentos secundário e terciário

Fases do tratamento	Dados de projeto analisados	Ano considerado	
		2009	2017
Tratamento Secundário - Filtros Anaeróbios	População por módulo	2750	3350
	Volume Útil Necessário (m ³)	64,77	78,89
	Altura Útil (m)	1,80	1,80
	Volume Útil Real (m ³)	64,80	
Tratamento Terciário - Filtros Plantados	Volume Útil Necessário(m ³)	146,08	177,85
	Volume Útil Real (m ³)	120	
	Taxa de Aplicação Superficial (m ³ /ha.dia)	14666,67	17856
	Taxa de Aplicação Superficial (m ³ /m ² .dia)	1,47	1,79

Fonte: Autor (2021) e PCU (2009)

Assim como nos tanques sépticos, o volume máximo disponível para as unidades já existentes de filtros anaeróbios no local é de 64,8 m³, o que é menor que o requerido pelo sistema para o ano de 2017, de 78,89 m³. No ano de 2009 essa situação não era observada, mas já estava na iminência de ser ultrapassada. Cabe ressaltar que são os filtros anaeróbios os maiores responsáveis pela redução da matéria orgânica solúvel e também dos sólidos suspensos totais (SST).

Para os filtros plantados, o volume útil que o sistema demanda é maior que os das instalações *in loco* conseguem suportar, tanto para o ano de 2017 quanto para 2009. Além disso, a elevada taxa de aplicação superficial em relação ao máximo valor que a NBR 13969/1997 estabelece demonstra que, considerando as atuais instalações físicas, o sistema de *wetlands* fornece uma área superficial em planta muito aquém para a vazão da ETE. Estes ambos cenários indicam fragilidades na fase de projeto da referida instalação, que pode refletir remoções de nutrientes não esperadas dos FPs.

5.3.4 Unidade de Desinfecção – Cloração

Na última etapa de tratamento de efluentes a norma que trata o tema é a NBR 13969/97, porém há poucos parâmetros de projeto, sendo o único mencionado o tempo de detenção hidráulica mínimo de 0,5 hora. Então, baseado neste valor e na vazão média, determina-se o volume necessário que a unidade necessita, conforme equação 20 já mostrada.

Após substituir os valores, obtém o resultado de 11,17 m³. Utilizando as dimensões da etapa de cloração já mostradas – 7,40 metros de comprimento, 1,40 metro de largura e 0,85 metro de altura útil – obtém-se o valor real do volume ocupado pelo esgoto ao longo da etapa de cloração, de 9,28 m³, o que é menor do que o sistema demanda, levando-se em conta a população analisada, vazão, entre outros.

5.4 Elaboração das Plantas *As Built* e dimensionamento

Em visita técnica realizada aos 27 (vinte e sete) dias do mês de maio de 2021 juntamente com o corpo técnico do *Campus* Universitário da UFAM, foram levantados todos os possíveis dados quantitativos sobre as unidades que compõem a Estação de Tratamento de Esgoto do Setor Norte.

Dados quantitativos de elevações das unidades não foram possíveis de serem averiguadas devido ao peso das tampas de concreto armado que veda as construções, além do ambiente extremamente insalubre em que se encontrava a ETE. É necessário ressaltar que os levantamentos desses dados ocorreram ainda sob vigência do período de pandemia da Covid-19, seguindo todos os protocolos de segurança.

Além disso, devido à situação delicada no contexto sanitário da cidade de Manaus, as atividades presenciais na UFAM estavam restritas ao Setor Sul. Em outras palavras, não havia contribuições dos pontos de geração de esgoto em direção à ETE em estudo, o que deixou o sistema aparentemente abandonado, com acúmulo de águas pluviais nas unidades e proliferação de vegetações indesejáveis ao sistema. Além do que já fora citado, o tratamento biológico depende efetivamente dos microrganismos (bactérias) regulados pelo fluxo de entrada de esgoto. Ou seja, sob as atuais condições, é esperado que com o escasso fornecimento de matéria orgânica

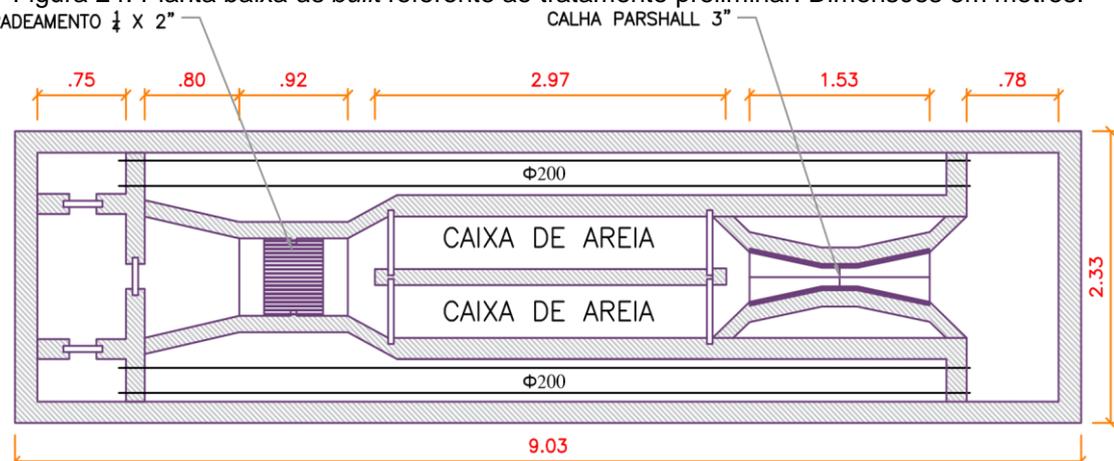
ao sistema, a população microbiana tenha reduzido drasticamente, se não sofrido processo de endogenia.

Ou seja, quando as atividades presenciais retomarem no Setor Norte da UFAM e, conseqüentemente, fluxo de esgoto voltar a ser direcionado à ETE, depois de quase dois anos praticamente sem funcionamento, a menos que a unidade gestora não promova meios de readequar o sistema para que ele não inicie do ponto zero, é esperado que os parâmetros que indicam a qualidade do efluente final estejam fora das especificações legais, já que muitos microrganismos demandam tempo para se reestabelecerem no sistema e então polir as águas servidas adequadamente. Ainda ocorrem outros fatores que podem retardar a qualidade do efluente final, como o replantio das plantações das *wetlands*, possíveis obstruções nas tubulações, recuperação de equipamentos danificados por intempéries, entre outros.

No mais, as figuras 24 a 29 se referem à Estação de Tratamento de Esgoto do Setor Norte da exata forma como suas unidades foram executadas em 2011. Cabe ressaltar que os valores de elevação só foram possíveis de serem catalogados para o tratamento preliminar, adotando-se, então, para as outras unidades as mesmas elevações indicadas no memorial descritivo do projeto básico, do ano de 2009.

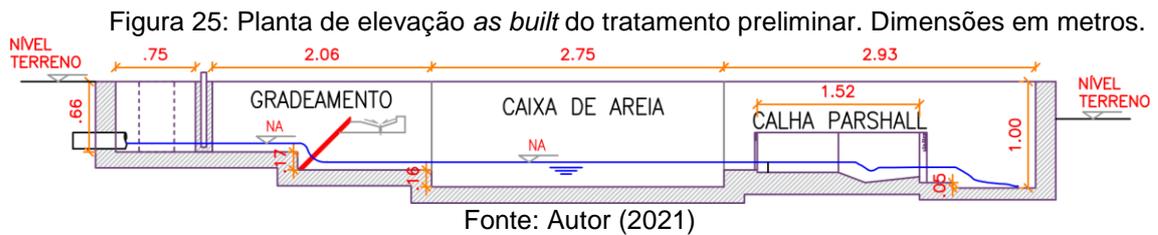
A figura 24 abaixo mostra a planta baixa do tratamento preliminar, com as unidades componentes padrão. Há ainda um *by-pass* com uma tubulação de 200 mm que percorre quase todo o comprimento em caso de não haver limpezas periódicas que transbordariam a unidade, item previsto na NBR 12209/2011.

Figura 24: Planta baixa *as built* referente ao tratamento preliminar. Dimensões em metros.



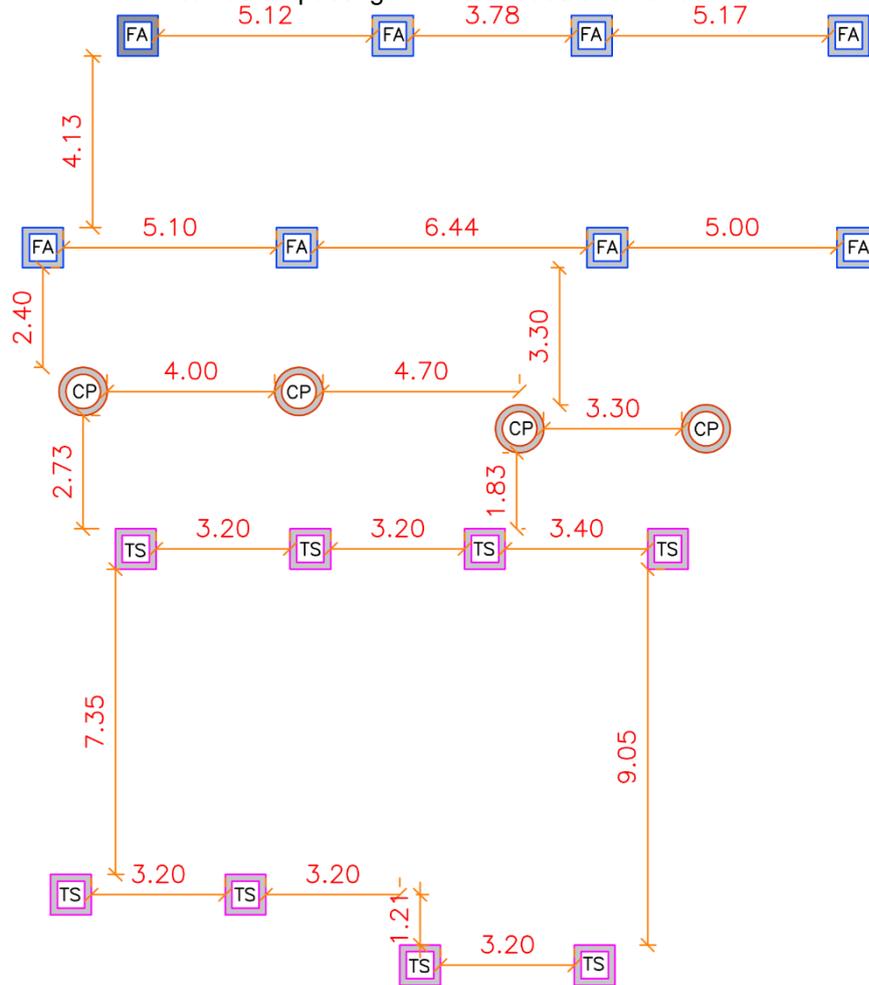
Fonte: Autor (2021)

A figura 25 mostra a elevação da mesma unidade de tratamento preliminar. É importante frisar que o nível à montante em que a unidade foi assentada é o mesmo com o do terreno acabado, propiciando que materiais estranhos facilmente adentrem ao sistema, visto que não há qualquer vedação que proteja a unidade, conforme mostrado nas indicações de nível do terreno.



Os tanques sépticos (TS) e os filtros anaeróbios (FA) estão locados em sequência, havendo uma caixa de passagem para cada conjunto TS-FA para eventuais manutenções da rede. As representações destas unidades mostradas na figura 26 são das duas tampas herméticas que cada TS e FA possuem, conforme mostrado em figuras anteriores. Cabe lembrar que estas unidades, incluindo as caixas de passagem, já existiam no local muito antes da concepção do projeto básico desta ETE em 2009, motivo pelo qual as distâncias apresentadas não são exatamente as mesmas do projeto básico já discutido.

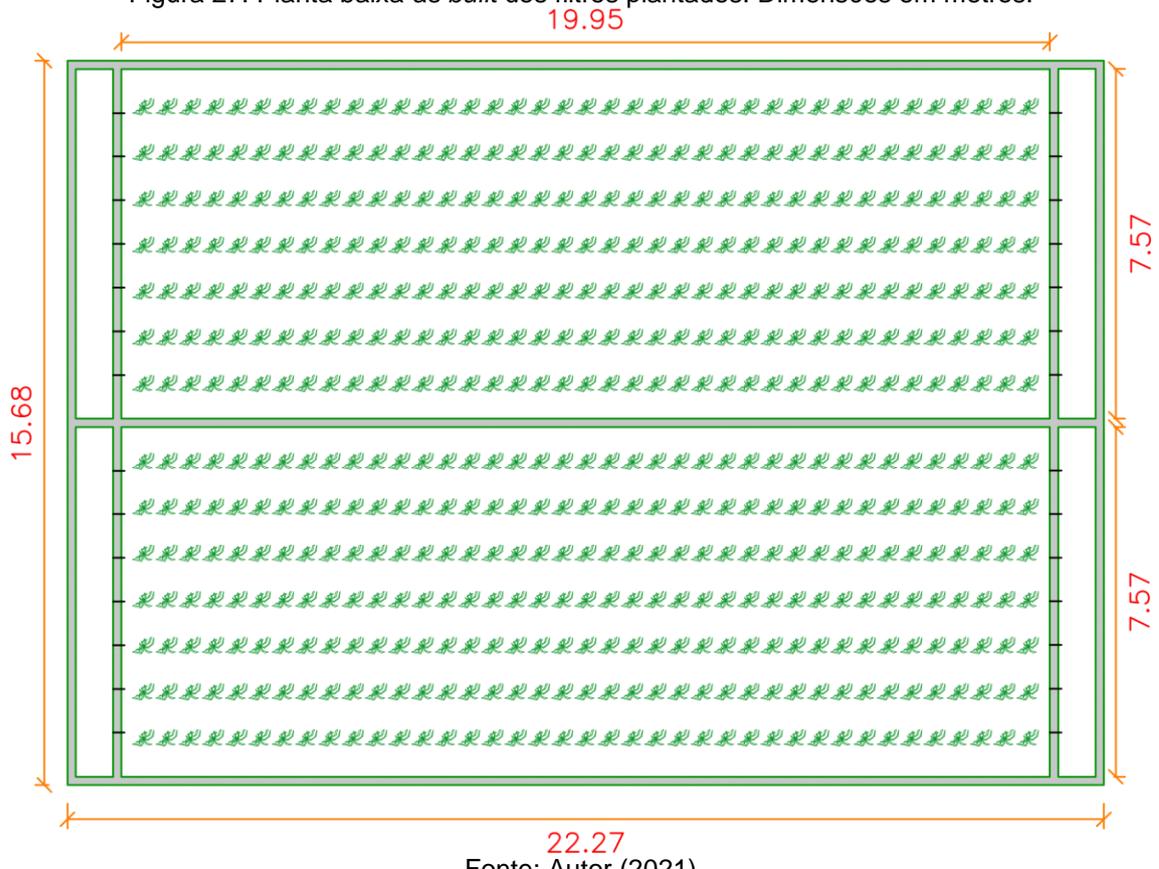
Figura 26: Planta baixa *as built* das disposições espaciais dos tanques sépticos, filtros anaeróbios e caixas de passagem. Dimensões em metros.



Fonte: Autor (2021)

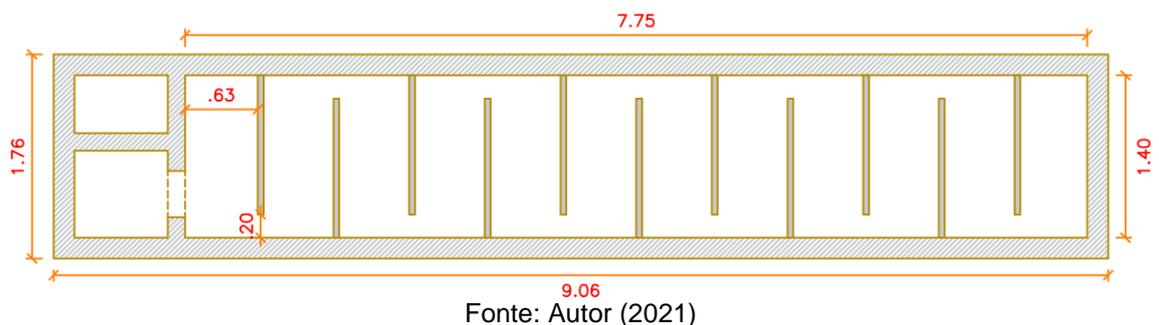
Os filtros plantados com plantas da espécie Canarana (*Hymenachme Amplexicaulis*) possuem as dimensões indicadas na figura 27, bem semelhantes ao encontrado no projeto original e no dimensionamento.

Figura 27: Planta baixa *as built* dos filtros plantados. Dimensões em metros.



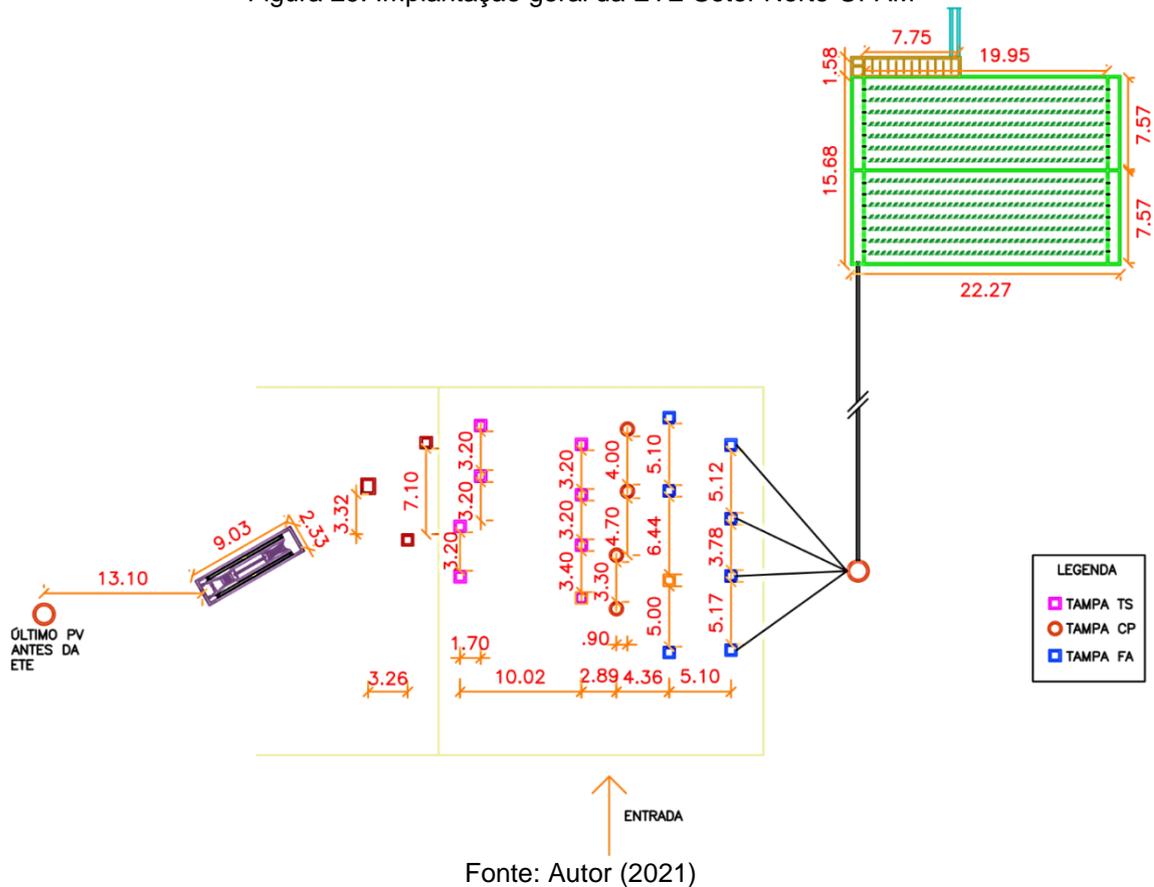
A etapa de desinfecção com pastilhas de hipoclorito de cálcio está indicada na figura 28. Nesta etapa também é previsto um *by-pass* tal qual no tratamento preliminar para caso haja manutenções rotineiras e o fluxo do tratamento não seja interrompido.

Figura 28: Planta baixa *as built* da desinfecção. Dimensões em metros.



Por fim, a figura 29 mostra a implantação geral da ETE da exata forma construída em 2011. Relembrando que as elevações das demais unidades – excetuando-se o tratamento preliminar – são as mesmas apresentadas na fase de projeto básico do sistema.

Figura 29: Implantação geral da ETE Setor Norte-UFAM



As imagens a seguir foram capturadas em visita técnica *in loco* aos 27 (vinte e sete) dias do mês maio de 2021 e correspondem as mesmas unidades apresentadas nas imagens anteriores. É importante lembrar que a ETE em questão não está sendo utilizada devido à pandemia da Covid-19 que impossibilita o retorno às aulas presenciais nas dependências da UFAM, o que explica o estado em que ela se encontra.

A figura 30 mostra a unidade de tratamento preliminar, com suas instalações em estado de conservação não adequado para o qual ela foi projetada, vista a proliferação de vegetações indesejáveis no interior das unidades, além de equipamentos – gradeamento e as comportas do *by-pass* e dos desarenadores – que precisam ser recuperados ou substituídos quando o sistema de tratamento voltar a operar em normalidade. É possível identificar também que não há nenhuma vedação contra as intempéries, fazendo com que precipitações pluviais e folhas ou até mesmo animais adentrem nas instalações e danifiquem-as.

Figura 30: À esquerda, o tratamento preliminar completo e à direita, as unidades de caixas de areia e calha Parshall.



Fonte: Autor (2021)



Fonte: Autor (2021)

Ainda nas instalações de tratamento preliminar, as figuras 31 e 32 mostram os pontos de entrada e saída desta unidade, evidenciando que na entrada, a geratriz inferior da tubulação encontra-se praticamente em contato com a base da unidade, o que possibilita que o efluente por diferença de pressão volte à fonte geradora, causando maus odores e outros problemas na rede coletora. Este problema pode ter se acentuado pela ausência de vedação da unidade, causando acúmulo de material particulado na base da unidade. No ponto de saída, o mesmo cenário é relatado: presença excessiva de material particulado na base e de vegetações indesejadas.

Figura 31: Em destaque, ponto de entrada das águas servidas à ETE



Fonte: Autor (2021)

Figura 32: Em destaque, ponto de saída do esgoto sanitário do tratamento preliminar



Fonte: Autor (2021)

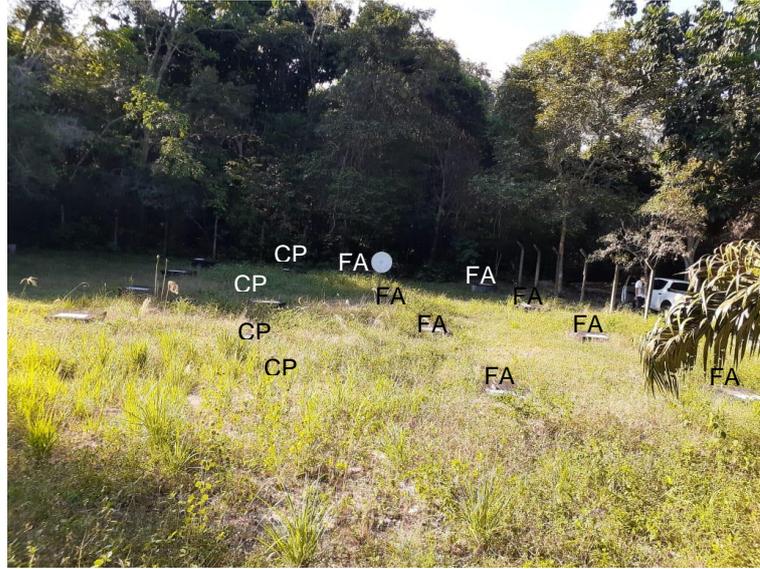
As figuras 33 e 34 mostram as tampas referentes às instalações de tanque séptico, filtros anaeróbios e as caixas de passagem *in loco*. A identificação feita nas imagens revela a insalubridade que do local, com falta de capina e intensa presença de mosquitos.

Figura 33: Localização das unidades de tanques sépticos e caixas de passagem



Fonte: Autor (2021)

Figura 34: Localização das unidades de filtros anaeróbios e caixas de passagem



Fonte: Autor (2021)

A figura 35 mostra a última caixa de passagem da ETE antes de prosseguir para as etapas de filtro plantado, desinfecção e deposição final. A tampa desta caixa de passagem fora retirada do local, deixando-a propícia a receber quaisquer intempéries externas.

Figura 35: À esquerda, caixa de inspeção que conduz o esgoto dos filtros anaeróbios para o filtros plantados. À direita, o interior da caixa com o sentido de escoamento em destaque



Fonte: Autor (2021)



Fonte: Autor (2021)

Os filtros plantados mostrados nas figuras 36 e 37 são compostos originalmente pelas plantas da espécie Canarana, como já mencionado, porém com a não utilização da ETE devido à pandemia, e também devido à falta de manutenção pelo difícil acesso ao local, estas vegetações cruciais para a remoção de nutrientes e outros polimentos necessários ao tratamento de esgoto morreram, devendo ser substituídas por novos exemplares quando voltar as atividades presenciais na universidade. As vegetações que aparecem nas figuras não foram previstas em projeto, devendo estas serem retiradas quando da manutenção.

Figura 36: Filtros plantados (*Wetlands* Construídos) da ETE Setor Norte-UFAM



Fonte: Autor (2021)

Figura 37: Acúmulo de águas pluviais em diferentes pontos no interior dos filtros plantados.



Fonte: Autor (2021)



Fonte: Autor (2021)

Na etapa final de desinfecção, os problemas de acúmulo de águas pluviais e materiais estranhos ao sistema se repetem, visto que toda essa área não possui qualquer proteção contra o ambiente externo. Também foi relatado problemas de crescimento de vegetações prejudiciais ao tratamento de esgoto na unidade referente, conforme mostram as figuras de 38 a 40.

Figura 38: Localização da unidade de desinfecção do efluente por pastilhas de cloro



Fonte: Autor (2021)

Figura 39: Ponto de entrada à unidade de desinfecção logo após o polimento pelos filtros plantados.



Fonte: Autor (2021)

Figura 40: Componentes da unidade de desinfecção: à esquerda as chicanas que possibilitam a decantação do efluente antes de ser lançado no receptor final e à direita o compartimento onde de fato ocorre a cloração.



Fonte: Autor (2021)



Fonte: Autor (2021)

Por fim, a escada d'água que conduz o efluente final tratado até o corpo receptor estava, no dia da visita técnica, completamente obstruída pela vegetação original da floresta do *campus*, tornando-se impossível verificar precisamente o estado de conservação dela, conforme figura 41.

Figura 41: Ponto de lançamento final do efluente tratado na ETE. À esquerda o ponto de saída da etapa de desinfecção e o canal ao fundo coberto pela vegetação original. À direita o mesmo ponto de outro ângulo.



Fonte: Autor (2021)



Fonte: Autor (2021)

Entretanto, em visita técnica realizada aos 25 (vinte e cinco) dias do mês de setembro em 2019, com a ETE em pleno funcionamento, foi verificado que o lançamento final do efluente – por meio da escada d’água mostrada na figura 42 – era realizado num ponto à jusante sem quaisquer cuidados. Segundo dados fornecidos pelo operador da ETE da prefeitura do *campus*, não se sabe exatamente se este ponto final de recepção do efluente é em um corpo receptor perene – ou seja, que existe apenas em certas épocas do ano – ou se o contínuo lançamento do efluente final gera um novo corpo hídrico que desemboca, posteriormente, em algum outro corpo d’água à jusante.

Figura 42: Escada d’água de lançamento final do efluente em setembro de 2019



Fonte: Autor (2019)

Baseado nas dimensões e imagens mostradas acima, o dimensionamento que se segue é referente às dimensões *as built* da ETE. Todos os procedimentos de cálculo são os mesmos adotados anteriormente neste trabalho, apenas adequando as dimensões. Cabe ressaltar que apesar das dimensões terem sido coletadas no ano de 2021, os dados de projeto serão do ano de 2017, considerando que não houve mudanças significativas nas dimensões coletadas ao longo dos últimos quatro anos, conforme mostra tabela 15.

Tabela 15: Resumo dos valores de projeto do tratamento preliminar referente às plantas *as built*

Pré-Tratamento	Dados de projeto analisados		Valores de Projeto
Gradeamento	Seção adotada		1/4 x 2"
	Espaçamento (mm)		20
	Largura b (m)		0,62
	Perda de carga (mm)		19,1
	Velocidade (m/s)	P/ Qmáx	0,3
		P/ Qméd	0,28
P/ Qmín		0,3	
Caixas de Areia	Largura b (m)		0,42
	Comprimento L (m)		1,85
	Velocidade (m/s)	P/ Qmáx	0,32
		P/ Qméd	0,3
		P/ Qmín	0,32
	TES (m ³ /m ² .dia)		688,64
Calha Parshall	Calha adotada		6"
	Rebaixo Z (m)		0,025
	Altura h (m)	P/ Qmáx	0,082
		P/ Qméd	0,049
		P/ Qmín	0,023

Fonte: Autor (2021)

Observam-se que existem valores fora dos intervalos aceitáveis pelas normas sobre o tema, sobretudo referente às baixas velocidades no gradeamento que pode incrustar mais facilmente nas barras e obstruir o canal. Nos demais parâmetros, observa-se que o uso de um modelo de calha Parshall maior que três polegadas possibilitou que as velocidades e a taxa de escoamento superficial correspondessem às normas, ainda que por este mesmo motivo as velocidades no gradeamento tenham dado baixas.

A tabela 16 mostra, portanto, o resumo de todos os valores de projeto obtidos pelo dimensionamento do projeto original e do *as built*, para dados de projeto de 2017, e pelo memorial de projeto original, para dados de projeto de 2009.

Tabela 16: Breviário dos valores de projeto para os cenários realizados

Graus do tratamento	Dados de projeto analisados	Projeto Original	Projeto Dimensionado	Plantas <i>as built</i>
		2009	2017	2017
Grades	Seção adotada	1/4 x 2"	3/8 x 2"	1/4 x 2"
	Espaçamento (mm)	20	20	20
	Largura b (m)	0,4	0,3	0,62

	Perda de carga (mm)	15,72	41,51	19,1	
	Velocidade (m/s)	P/ Qmáx 0,27	0,44	0,3	
		P/ Qméd 0,25	0,41	0,28	
		P/ Qmín 0,27	0,46	0,3	
	Largura b (m)	0,3	0,3	0,42	
	Comprimento L (m)	2,60	2,88	1,85	
Caixas de Areia	Velocidade (m/s)	P/ Qmáx 0,26	0,29	0,32	
		P/ Qméd 0,247	0,28	0,3	
		P/ Qmín 0,26	0,31	0,32	
	TES (m ³ /m ² .dia)	564,66	619,33	688,64	
Calha Parshall	Calha adotada	3"	3"	6"	
	Rebaixo Z (m)	0,033	0,040	0,025	
	Altura h (m)	P/ Qmáx	0,115	0,128	0,082
		P/ Qméd	0,069	0,075	0,049
		P/ Qmín	0,032	0,033	0,023
Tanques Sépticos	População por módulo	2750	3350		
	Volume Útil Ideal (m ³)	87,35	105,43		
	Volume Útil Existente (m ³)	93,6	93,6		
Filtros Anaeróbios	População por módulo	2750	3350		
	Volume Útil Necessário (m ³)	64,77	78,89		
	Altura Útil (m)	1,8	1,8		
	Volume Útil Real (m ³)	64,8	64,8		
Filtros Plantados	Volume Útil Necessário(m ³)	146,08	177,85		
	Volume Útil Real (m ³)	120	120		
	Taxa de Aplicação Superficial (m ³ /ha.dia)	14666,67	17856		
	Taxa de Aplicação Superficial (m ³ /m ² .dia)	1,47	1,79		
Câmara de Contato	População por módulo	2750	3350		
	Volume Útil Ideal (m ³)	9,18	11,17		
	Volume Útil Existente (m ³)	9,28	9,28		

Fonte: Autor (2021) e PCU (2009)

5.5 Análise da Qualidade do Efluente da ETE

Vale ressaltar que esta etapa do trabalho não pôde ser realizada conforme planejado inicialmente em razão do cenário de pandemia da Covid-19 instaurado em meio ao processo de pesquisa. Como exposto anteriormente, de modo a obter uma comparação com o cenário técnico e operacional percorridos no trabalho optou-se por fazer análise dos resultados contidos em laudos laboratoriais disponibilizados pelo setor institucional responsável, haja vista que tais laudos foram realizados em intervalos trimestrais para atender condicionantes legais ou realizados sob demanda específica de algum órgão ambiental de interesse ou da própria instituição para acompanhamento do processo.

Os laudos laboratoriais fornecidos foram referentes aos períodos entre os anos de 2016 a 2019, visto que a partir de março de 2020, as atividades presenciais, tanto administrativas quanto acadêmicas, foram suspensas na instituição. Assim, para fins de comparação com a avaliação geral da ETE foram analisados os resultados dos parâmetros: DBO₅; DQO; Nitrogênio Amoniacal Total (NH₃) e Nitrogênio Total; Óleos e Graxas; Sólidos Sedimentáveis; Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Totais (ST); Sulfetos; Temperatura e Coliformes Fecais. Vale destacar que não foi possível a partir destes resultados apresentar de forma precisa a eficiência da ETE, por envolver nesta avaliação a necessidade de acompanhamento em intervalos amostrais e número de amostras mais frequentes para configurar-se em um estudo mais acertado, mas foi apresentado como indicativo e de subsídios para o estudo desenvolvido.

Tais resultados disponibilizados foram referentes aos valores de entrada (amostra 1) e de saída (amostra 2). As amostras de entrada foram coletadas antes do tratamento preliminar e as coletas de saída, logo após a desinfecção do efluente. O comportamento da ETE em relação aos parâmetros supracitados se deu sob análise de atendimento das exigências legais, conforme apresentado nas tabelas e gráficos a seguir apresentados por parâmetros analisados.

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Este parâmetro traduz o comportamento de degradação da matéria orgânica presente no esgoto sanitário, sendo um importante parâmetro de monitoramento das unidades de tratamento secundários e da eficiência geral ETE. A tabela 17 mostra os resultados das amostras coletados de Demanda Orgânica Bioquímica de Oxigênio a 5 dias e como se comportaram nos períodos analisados em relação a eficiência e atendimento das exigências legais.

Tabela 17: Concentração de DBO de entrada e saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	DBO 5 (mg/L)		Eficiência	COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2			
09/2016	239,00	21,00	91,21%	OK	OK
05/2017	263,00	15,00	94,30%	OK	OK
10/2017	124,00	36,00	70,97%	OK	OK
03/2018	171,00	109,00	36,26%	NA*	OK

04/2018	186,00	88,00	52,69%	OK	OK
07/2018	473,00	120,90	74,44%	NA	NA
09/2018	463,00	209,00	54,86%	NA	NA
12/2018	213,00	53,00	75,12%	OK	OK
02/2019	136,00	83,00	38,97%	OK	OK
04/2019	384,00	261,00	32,03%	NA	NA

Legenda: NA – Não atende

Fonte: Adaptado da Prefeitura do *Campus* Universitário (2021).

Pode observar que ocorreu, em relação a concentração de DBO_5 variações significativas na concentração de matéria orgânica nas amostras coletadas na entrada da ETE (amostra 1), que podem estar associados a diversas situações, por exemplo a quantidade de esgoto gerado em relação a dinâmica de funcionamento do campus - Setor Norte em dado período, assim como também possíveis problemas de manutenção em pontos da rede coletora de esgoto e dispositivos de entrada na ETE. Esse comportamento influencia diretamente na eficiência final de remoção, já que a mesma representa a porcentagem removida de um determinado parâmetro do esgoto, comumente representado pela DBO, SST e coliformes fecais.

Em se tratando da eficiência de remoção de DBO, em média observou-se 62,08%, o que é menor que a remoção mínima de 85% que a resolução municipal determina, e no limite da remoção mínima de 60% que a resolução federal preconiza.

Assim observa-se em dados momentos, valores abaixo de 120 mg/L preconizado no CONAMA 430/2011, no entanto os resultados não atendem os padrões do COMDEMA 34/2012. Além disso, pode concorrer para tais variações as não conformidades do projeto técnico e executivo observados ao logo do trabalho.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A tabela 18 mostra os valores de DQO e seu comportamento ao longo dos anos. É bom lembrar que os valores de DQO, que também expressam a concentração de matéria orgânica, são maiores que os de DBO pois consomem a matéria biodegradável e a não biodegradável por reações químicas. Este dado está previsto apenas na resolução municipal, motivo pelo qual aparece a sigla NC – Nada Consta – na resolução federal.

Tabela 18: Concentração de DQO de entrada e saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	DQO (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	524,00	63,00	OK	NC
05/2017	541,00	40,00	OK	NC
10/2017	407,00	119,00	OK	NC
03/2018	227,00	156,00	NA	NC
04/2018	249,00	114,00	OK	NC
07/2018	591,00	145,00	OK	NC
09/2018	492,00	289,00	NA	NC
12/2018	287,00	94,00	OK	NC
02/2019	194,00	95,00	OK	NC
04/2019	449,00	407,00	NA	NC

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Observa-se que praticamente as mesmas datas que houve problemas com as concentrações de saída de DBO são as que não estão em conformidades com a resolução municipal sobre o comportamento da DQO. Em média, a concentração de DQO no ponto de saída ficou em 152,20 mg/L, um pouco maior que o limite máximo da resolução de 150 mg/L. As mesmas considerações levantadas para DBO se aplicam para DQO.

- pH

A tabela 19 mostra o comportamento e a variação de pH nas amostras coletadas.

Tabela 19: Comportamento dos valores de pH de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	pH		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	6,21	7,25	OK	OK
05/2017	6,57	6,88	OK	OK
10/2017	7,13	6,98	OK	OK
03/2018	8,20	8,10	OK	OK
04/2018	6,67	7,90	OK	OK
07/2018	7,48	6,64	OK	OK
09/2018	7,39	7,13	OK	OK
12/2018	6,40	6,90	OK	OK
02/2019	6,00	7,00	OK	OK
04/2019	7,19	7,32	OK	OK

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021).

As resoluções, municipal e federal, possuem limites aceitáveis entre 5,5-9,5 e 5-9,0, respectivamente, assim observa-se que em relação aos valores apresentados na tabela 19 os mesmos se enquadram nas exigências legais de lançamento do efluente tratado. Vale destacar que o pH é um dos principais parâmetros a serem controlados no tratamento dos efluentes e seu monitoramento deve ser realizado de forma periódica nas unidades do sistema de tratamento para avaliação de seu funcionamento. Seus valores estão relacionados ainda a possíveis danos as estruturas físicas, como as tubulações e tanques metálicos, visto que, valores mais ácidos podem promover a oxidação e prejudicar os materiais. O valor médio de pH de entrada ficou em 6,92 e o de saída ficou em 7,21, o que é esperado e adequado ao sistema.

- **Nitrogênio amoniacal total**

A tabela 20 mostra o comportamento dos valores medidos de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT). A tabela 21 no que lhe concerne mostra o comportamento dos valores medidos de Nitrogênio Total (NT). Em 2018, houve mudança de empresa que realizava a coleta e análise das amostras, motivo pelo qual existe uma tabela para NAT e outra para NT.

Tabela 20: Concentração de nitrogênio amoniacal total de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	NAT (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	38,40	9,70	OK	OK
05/2017	58,60	16,00	OK	OK
10/2017	45,00	22,00	NA	NA

Legenda: NA – Não atende

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021).

Tabela 21: Concentração de nitrogênio total de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	NT (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
03/2018	17,63	14,80	NC	NC
04/2018	8,80	4,50	NC	NC
07/2018	2,10	0,60	NC	NC
09/2018	2,60	0,00	NC	NC
12/2018	7,40	3,40	NC	NC

02/2019	6,20	2,80	NC	NC
04/2019	9,70	3,20	NC	NC

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Como observado, há muita variação entre os dados de coleta de uma empresa para outra e da mesma empresa, indo de concentrações de saída de 22 mg-N/L a até remoção completa deste nutriente. Atendo-se apenas a estes valores fornecidos, extrai-se que de modo geral a remoção de nitrogênio, de ambas as condições analisadas, mostrou-se eficaz, possuindo apenas um dado não condizente com a resolução federal e nem com a municipal.

Ademais, a única previsão deste nutriente na resolução é na sua forma amoniacal total; teores de nitrogênio total não estão previstos em ambas. Entretanto como concentrações de NT tendem a ser maiores que as de NAT (METCALF e EDDY, 2016), e elas estão abaixo de 20 mg/L, então pode-se afirmar que mesmo para estas, a concentração de NAT está condizente com a resolução federal sobre o tema.

- **Óleos e Graxas**

A tabela 22 apresenta o comportamento das concentrações de óleos e graxas que entram e saem da ETE. Estas concentrações tendem a ser baixas no sistema, visto que é comum que próximo às unidades geradoras haja sempre caixas de gorduras ou de óleo, fazendo com que poucas porções cheguem até à ETE. Entretanto, possíveis problemas de manutenção destas unidades prediais podem acarretar problemas no sistema de esgotamento, causando transtorno sobretudo nas tubulações do sistema coletor e da estação.

Tabela 22: Concentração dos valores de óleos e graxas de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	ÓLEOS E GRAXAS (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	31,00	8,30	OK	OK
05/2017	20,20	1,30	OK	OK
10/2017	29,70	0,50	OK	OK
03/2018	59,00	17,00	OK	OK
04/2018	140,00	9,00	OK	OK
07/2018	9,00	4,00	OK	OK
09/2018	16,00	5,40	OK	OK

12/2018	10,30	1,80	OK	OK
02/2019	3,00	7,00	OK	OK
04/2019	10,70	1,30	OK	OK

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Conforme esperado, os valores de concentração de óleos e graxas estão conforme as resoluções. É interessante notar as altas concentrações de entrada até abril de 2018 e desde então sua acentuada redução, provavelmente devido a problemas nos sistemas prediais de esgoto corrigidos. Apesar de nenhum valor estar acima do máximo, cabe ressaltar que em fevereiro de 2019 o valor de saída de óleos e graxas foi superior ao de entrada, evidenciando provavelmente pontuais problemas nos tanques sépticos, pela fuga de parte da espuma para as unidades à jusante e ter, portanto, causado este aumento na concentração no efluente final, fato este que pode estar associado aos critérios de dimensionamento desta unidade, conforme já discutido.

- **Sólidos sedimentáveis**

A tabela 23 mostra a concentração de sólidos sedimentáveis na entrada e na saída da ETE. Obtidos por meio do cone *Imhoff*, os principais pontos de remoção destes materiais são os desarenadores e em menor escala os tanques sépticos. De acordo com ambas as resoluções municipal e federal, estes materiais não podem ser visíveis na amostra de análise de saída, além de obedecer aos limites legais vigentes.

Tabela 23: Concentração dos valores de sólidos sedimentáveis de entrada e de saída na ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	Sólidos Sedimentáveis (ml/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	6,00	0,90	OK	OK
05/2017	4,00	0,90	OK	OK
10/2017	2,00	0,90	OK	OK
03/2018	0,20	0,10	OK	OK
04/2018	1,90	0,00	OK	OK
07/2018	1,60	0,70	OK	OK
09/2018	1,90	0,60	OK	OK
12/2018	0,60	0,20	OK	OK
02/2019	0,20	0,50	OK	OK
04/2019	1,60	0,00	OK	OK

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Conforme mostrado, todos os valores das amostras coletadas para sólidos sedimentáveis estão em conformidade com as resoluções, demonstrando que em relação aos meses de coleta, as unidades de caixa de areia e tanques sépticos, de modo geral, estavam funcionando adequadamente. Entretanto, observa-se que novamente na coleta de fevereiro de 2019 ocorreu um aumento na concentração de saída de sólidos sedimentáveis, evidenciando que em determinado ponto da estação pode ter ocorrido falha no processo. Este valor, entretanto, não foi suficiente para que ultrapassasse os limites estabelecidos pelas resoluções.

- **Sólidos suspensos totais (SST) e Sólidos totais (ST)**

Mais um efeito da mudança de empresas que realizaram a coleta das amostras, a tabela 24 evidencia o comportamento da concentração dos sólidos não filtráveis totais (SnFT), o que equivale aos sólidos suspensos totais (SST), ao passo que a tabela 25 mostra o comportamento da concentração dos sólidos totais (ST). Modelos experimentais mostram que a relação de ST e SST é em torno de 30% a 35% (VON SPERLING, 2014), porém para manter a integridade dos dados, optou-se por dividir os resultados coletados como se segue.

Tabela 24: Concentração dos valores de sólidos não filtráveis totais de entrada e saída

Data Referência	SnFT (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	478,00	80,00	OK	NC
05/2017	586,00	150,00	NA	NC
10/2017	124,00	16,00	OK	NC

Legenda: NA – Não atende

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Tabela 25: Concentração dos valores de sólidos totais de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	ST (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
03/2018	90,00	87,00	NC	NC
04/2018	308,00	212,00	NC	NC
07/2018	360,00	130,00	NC	NC
09/2018	348,00	234,00	NC	NC
12/2018	170,00	140,00	NC	NC
02/2019	468,00	564,00	NC	NC
04/2019	186,00	84,00	NC	NC

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Visto acima, o comportamento dos SSTs e STs é extremamente variável, possuindo picos de concentração de quase 600 mg/L e mínimas de 16 mg/L, demonstrando que a remoção destes sólidos, em relação aos sedimentáveis, não é constantemente eficiente ou ineficiente. Assim, como em outros parâmetros, apenas a resolução municipal COMDEMA estabelece limites para os SSTs, nenhuma delas aborda sobre os STs.

Diretamente, observou-se que a amostra de maio de 2017 não está conforme com a citada resolução. Indiretamente, utilizando-se da relação entre ST e SST, depreende-se que novamente a amostra de fevereiro de 2019 além de ter tido um aumento de 20% de sólidos totais dentro da ETE, este valor é quase seis vezes maior do que o permitido por lei. Apesar de ser mais comum haver maiores valores de SST – associado à turbidez do efluente – em tratamentos anaeróbios em relação aos processos aeróbios (PIVELI E KATO, 2006, p. 6-7), deve-se controlá-los, visto que podem indicar problemas em unidades como os filtros anaeróbios ou plantados, já que são nestas unidades que ocorrem as maiores remoções deste parâmetro.

Também é pertinente notar que na amostra de março de 2018, não houve praticamente qualquer remoção de ST, evidenciando novamente que a ETE em estudo possui problemas quando se trata deste parâmetro.

- **Sulfeto**

A tabela 26 apresenta o comportamento das concentrações de sulfeto de entrada e de saída do sistema. Este parâmetro é um dos principais causadores de maus odores em estações de tratamento, sobretudo quando se trata de tratamentos anaeróbios de esgotos domésticos (GLÓRIA, 2009). Ainda segundo a autora, a concentração de sulfetos na forma dissolvida encontra-se geralmente na forma H₂S (odor característico de ovo podre) sendo baixa para temperaturas entre 25°C e 30°C com o pH em torno de 7,0, condições essas em que as amostras coletadas estavam submetidas *in loco*.

Tabela 26: Concentração dos valores de sólidos totais de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	Sulfeto (mg/L)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	0,06	0,01	OK	OK
05/2017	0,69	0,02	OK	OK
10/2017	1,55	0,32	NA	OK
03/2018	0,00	0,00	OK	OK
04/2018	0,90	0,17	OK	OK
07/2018	0,60	0,05	OK	OK
09/2018	0,42	0,09	OK	OK
12/2018	0,02	0,02	OK	OK
02/2019	0,90	0,80	NA	OK
04/2019	0,07	0,04	OK	OK

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Consoante mostrado, as concentrações de sulfeto dissolvidas no meio são relativamente baixas, sendo o maior valor encontrado de 1,55 mg/L. Entretanto as três últimas amostras demonstram que o sistema não estava conseguindo removê-los adequadamente, sendo a concentração de saída de fevereiro de 2019 a mais crítica dentre as analisadas, não estando conforme, portanto, com o valor preconizado na resolução municipal. Em outubro de 2017 a concentração de saída estava inadequada para a resolução municipal, entretanto assim como para o NAT o valor excede em 2 mg-S/L, não sendo algo tão representativo.

- **Temperaturas**

A tabela 27 mostra o comportamento das temperaturas de entrada e saída da ETE.

Tabela 27: Concentração dos valores de temperatura de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	Temperatura (°C)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	28,20	28,40	OK	OK
05/2017	28,90	29,30	OK	OK
10/2017	28,90	29,10	OK	OK
03/2018	23,20	22,70	OK	OK
04/2018	26,00	27,00	OK	OK
07/2018	27,00	27,00	OK	OK
09/2018	27,00	27,00	OK	OK
12/2018	23,00	26,00	OK	OK

02/2019	24,00	24,00	OK	OK
04/2019	26,00	24,00	OK	OK

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Seguindo a comparação com os critérios legais de lançamento do esgoto tratado, observa-se que os valores de temperatura estão numa faixa praticamente constante entre as coletas realizadas atendendo assim o preconizado nas resoluções, estando abaixo de 40°C. Vale destacar que a temperatura representa um importante parâmetro de monitoramento de funcionamento da ETE, visto que está diretamente relacionando a atividade biológica de decomposição da matéria orgânica. E neste sentido, as condições ambientais também implicam nesse controle e monitoramento da variável tanto para o eficiente tratamento, como também para manter o equilíbrio no corpo receptor como apontam Von Sperling (2014) e Telles e Góis (2013).

Para a avaliação da ETE, com os dados obtidos do parâmetro, foi possível apenas observar que atende ao padrão de lançamento conforme legislação pertinente.

- **Coliformes Fecais**

Por fim, a tabela 28 aponta a concentração dos indicadores de organismos patogênicos, os coliformes fecais. Foram apresentados somente os resultados referentes aos laudos entre os anos de 2017 e 2018, em função da mudança de empresa responsável pela coleta e análise, o que gerou conflito na forma de apresentação dos resultados.

Tabela 28: Concentração dos valores de coliformes fecais de entrada e de saída da ETE Setor Norte-UFAM

Data Referência	Coliformes Fecais (NMP/100mL)		COMDEMA 34/2012	CONAMA 430/2011
	Amostra 1	Amostra 2		
09/2016	1,50E+05	0,00E+00	OK	NC
05/2017	3,50E+05	1,50E+03	OK	NC
10/2017	1,10E+07	3,50E+05	NA	NC

Fonte: Adaptado de Prefeitura do *Campus* Universitário (2021)

Neste sentido, foi possível observar que os valores de coliformes fecais previstos apenas na resolução municipal, não atendeu na totalidade os dados, ficando

um valor fora do padrão – a amostra de outubro de 2017 encontra-se fora do padrão, por outro lado, a eficiência de remoção foi em torno de 100% - mas no geral apresentou eficiência relativamente esperada. No entanto, se faz necessário o monitoramento mais rigoroso de coleta de amostras para avaliar efetivamente a etapa de desinfecção utilizada na planta da ETE de estudo.

Contudo, a avaliação superficial do comportamento de parâmetros importantes no funcionamento da ETE revelou de forma geral uma eficiência razoável, no entanto, possui indicativos que suscitam a necessidade de um rigor mais acertado para monitoramento das etapas do processo, principalmente no sentido das constatações verificadas no decorrer deste trabalho alinhadas as questões de projeto original, das condições de operação e manutenção, e principalmente de um monitoramento mais frequente da eficiência da ETE, dada sua importância.

Outro aspecto observado que o cenário após as restrições presenciais no campus impõe um acompanhamento efetivo do funcionamento da ETE, principalmente de monitoramento mais frequente em relação aos parâmetros analisados.

5.6 Procedimentos de Manutenção e Limpeza das Unidades do Sistema

Em pesquisa documental nos arquivos disponibilizados pela prefeitura do *campus*, teve-se acesso ao procedimento adotado pela equipe de manutenção da estação de tratamento em estudo quanto aos ritos de conservação e limpeza das unidades da ETE.

Esses procedimentos adotados são de suma importância para o funcionamento adequado do sistema, sob a luz da lei quanto aos parâmetros de lançamento de efluentes já mostradas. Cabe ressaltar que estes procedimentos não foram aplicados no ano de 2020 e no de 2021, em face da pandemia da covid-19 na cidade de Manaus e são corroborados nas fotografias apresentadas anteriormente.

I. Tratamento preliminar

a) Gradeamento

Segundo o manual de manutenção da prefeitura do *campus*, para o gradeamento a frequência de manutenção desta unidade deve ser, preferencialmente, diária até três dias. Antes da inicialização efetiva da ETE, o profissional responsável pelo sistema deve verificar se nas grades há qualquer obstrução de material retido. Caso haja, remover com auxílio de um rastelo estes materiais, conforme previsto pelo estudo ReCESA (2008). Ainda, se houver material fecal incrustado nas barras, por meio de jateamento d'água, promover a retirada deste.

b) Caixas de areia e calha Parshall

Para os desarenadores, o manual recomenda que a cada 15 (quinze) dias seja verificado o acúmulo do material particulado no fundo do canal. Com o uso de uma pá, promove-se a retirada deste material e deixando-o secar para então encaminhá-lo à coleta pública de resíduos sólidos. Enquanto isso, no canal que será limpo serão fechadas as comportas para impedir que o fluxo de esgoto passe por ali enquanto o outro permaneça aberto para que este fluxo não seja interrompido, conforme prevê o ReCESA, 2008.

Para a calha Parshall, o manual não prevê procedimentos específicos de limpeza ou manutenção quanto ao funcionamento, apesar do supracitado estudo prever condutas pertinentes, conforme discutido anteriormente.

c) Tanque séptico

O referido manual destaca que a limpeza dos tanques sépticos deve ser anual, porém como há quatro unidades, alterna-se entre estas ao longo de um ano. Ou seja, limpa-se apenas uma unidade a cada três meses. Ainda conforme o manual, a limpeza dos tanques sépticos consiste em, por tubo guia, succionar o fundo dos TSs para remover o lodo do fundo, além das escumas também ser removidas. Ainda recomenda permanecer 30 cm de nível de água no interior do tanque, para que não haja perda total da microbiana do meio. Após isso, completa-se com água limpa o tanque séptico até que ocorra o fluxo de saída.

Além disso, a boa manutenção das unidades de tratamento preliminar são cruciais para o bom funcionamento dos tanques sépticos, evitando problemas de sólidos grosseiros ou de areia nos tanques prolonga manutenções corretivas (ReCESA, 2008).

d) Filtros Anaeróbios

A manutenção preventiva de limpeza dos filtros anaeróbios, segundo o manual citado, é semelhante ao dos tanques sépticos: limpeza a cada três meses de uma unidade de filtro anaeróbio. Entretanto, nesse caso, recomenda-se a sucção integral do líquido no interior do tanque, e se necessário, promover o jateamento sobre as britas do leito filtrante para remoção de materiais colmatados em excesso.

O manual ainda preconiza que a cada 5 (cinco) anos antes da limpeza anual deve-se verificar o estado de conservação das britas do leito filtrante, limpando-as fora da unidade de forma minuciosa e descartar aqueles materiais entumecidos.

e) Filtros Plantados

Para esta unidade, o manual basicamente prevê que à medida que as plantas forem crescendo, estas devem ser podadas para não recobrir excessivamente a superfície do filtro. Também deve ser observado se as raízes não estão obstruindo as tubulações perfuradas na subsuperfície da unidade, podendo usar jateamento de água para desobstruir.

f) Câmara de Contato

Nesta unidade não é comum que materiais fiquem depositados no fundo, porém segundo o manual isso pode ocorrer pela oxidação do material, devendo ser retirado, secado e destinado à coleta de resíduos sólidos. Ainda afirma que pelo ambiente ácido na unidade, pode haver desgaste nas paredes e fundos das fibras de revestimento.

g) Escada de aeração

Pela escada ser apenas um condutor do efluente ao receptor final, o manual apenas recomenda a desobstrução de folhagens, galhos e animais mortos ao longo dos degraus, além de jateamento d'água em possíveis formações de lodo. Erosões na superfície de concreto armado também pode ocorrer.

O manual de manutenção recomenda que os demais materiais extraídos do sistema devem ser conduzidos por empresa especializada ao aterro municipal de Manaus após feito o correto tratamento e estabilização do lodo e da areia. O quadro 7 resume a frequência de manutenção das unidades elencadas.

Quadro 7: Frequência de Manutenção e Limpeza das unidades de tratamento da ETE

Unidade de tratamento	Frequência de Manutenção e Limpeza
Caixas de inspeção	Trimestral
Caixas de retenção de gordura	15 dias
Gradeamento	1 a 3 dias
Caixa de Areia	15 dias
Tanque Séptico	Anual
Filtro Anaeróbio	
Filtro Plantado	Trimestral
Câmara de Contato	
Escada de Aeração	

Fonte: PCU (2017)

Em se tratando de um sistema de tratamento de esgoto, todas as partes constituintes deste influenciam diretamente nos resultados mostrados nos laudos acima. Condições de planejamento e projeto, de execução *in loco*, de manutenção e operacionalidade, além de questões culturais de uso dos usuários do sistema são fatores extremamente relevantes quando se almeja enquadrar os efluentes de estações de tratamento no âmbito legal do processo.

Diante das inconformidades relatadas ao longo deste trabalho, desde a fase de concepção do sistema até a execução das instalações, as proposições de melhorias da ETE para otimizar sua atividade-fim podem encontrar óbices de aplicabilidade em vários aspectos, sobretudo no quesito ambiental e econômico, posto que uma vez a estação inserida em um contexto de Área de Preservação Ambiental da União, estes aspectos se tornam bastante relevantes.

Ainda assim, o cumprimento adequado quanto aos ritos previsto no manual de operação e limpeza das unidades da ETE, atendimento aos intervalos de limpeza para remoção, por exemplo, de lodo e espuma dos tanques sépticos, instalação de adequada vedação das unidades de tratamento preliminar, roçagem das vegetações nas redondezas das unidades são algumas propostas de possíveis melhorias na ETE que podem ser adotadas pela mantenedora para que o sistema se alinhe à operação máxima com foco no atendimento aos parâmetros legais de lançamento.

6 CONCLUSÕES

De maneira geral, considerando a abordagem do trabalho focada na avaliação da Estação de Tratamento de Esgoto do Setor Norte *campus* UFAM Manaus, foi possível observar que seu funcionamento envolve diversas variáveis alinhadas desde a concepção técnica até aos critérios operacionais e de manutenção, buscando assim atender os parâmetros de lançamento do efluente tratado conforme exigências legais.

Tal contexto abrange maior significância por duas questões relevantes, uma considerando a localização da ETE, inserida em Área de Preservação Ambiental da União e outra pelas características físicas, químicas e biológicas do esgoto bruto que impõe a necessidade de otimizar a eficiência das unidades de tratamento. Dessa forma, o trabalho buscou sinalizar aspectos sob âmbito técnico e de operação e manutenção para fins de otimização do sistema. Este objetivo, portanto, foi alcançado, tendo em vista o agregado conhecimento técnico e de gestão e a contribuição, de forma geral, com informações que poderão auxiliar a gestão operacional do sistema pela instituição.

Cabe lembrar que a metodologia empregada para atingir tais objetivos se deu por meio de pesquisa exploratória descritiva ao realizar o levantamento de aspectos teóricos e técnicos nas diversas literaturas, leis e normas sobre o referido tema; caracterização e atualização do projeto técnico da referida ETE, por meio de materiais disponibilizados pela instituição que gere o local; elaboração do “*as built*” do sistema a partir do diagnóstico obtido por visita *in loco* e proposição de possíveis melhorias técnicas e de manutenção e operação na estação.

É pertinente considerar que a realização desta pesquisa teve início concomitantemente com o início da pandemia da Covid-19 na cidade de Manaus, o que acarretou suspensão total das atividades presenciais no *campus* UFAM, limitando a perspectiva de alcançar objetivos mais precisos de monitoramento da qualidade do efluente da ETE, em vista da impossibilidade de acompanhar o funcionamento do sistema ao longo da execução deste trabalho, tendo que ater-se a dados de anos pretéritos.

Outro aspecto relevante com base na avaliação crítica da ETE em estudo que decorre da paralisação das atividades presenciais na instituição é o atual estado de conservação das instalações físicas do sistema pois ao retornar as atividades presenciais, ainda que parcialmente, será necessário um rigoroso trabalho de

revitalização do sistema, incluindo ações de verificações e possíveis melhorias nas unidades de coleta, transporte e de tratamento, quanto a este último algumas melhorias já foram sinalizadas.

Além disso, enfatizando o processo de tratamento biológico predominante no sistema e que depende da sintonia entre as comunidades microbianas que depuram o material contido no esgoto, o referido processo foi totalmente comprometido, visto que não houve observância quanto a este equilíbrio por não haver fornecimento de contribuição de esgoto à ETE durante a paralisação das atividades presenciais por todo o tempo imposto pela pandemia.

Em vista disso, faz-se necessário outros estudos acerca do acompanhamento periódico quanto à qualidade do efluente da ETE sob diversos parâmetros, principalmente quanto à remoção de DBO, de DQO, de sólidos suspensos totais, de patógenos, entre outros. Além disso, estudos no que tangem à quantificação exata da vazão e da população atendida pela ETE do Setor Norte UFAM também são oportunos para melhor compreensão do comportamento do sistema.

Por fim, a elaboração deste trabalho abordou diversos aspectos que possibilitaram o aperfeiçoamento dos conhecimentos adquiridos ao longo de toda a formação acadêmica, à medida que se manuseou a elaboração de desenhos técnicos com base no memorial descritivo do projeto básico, lidou com critérios e parâmetros de projeto técnico ao inferir sobre o dimensionamento das unidades constituintes da estação de tratamento de esgotos, bem como resgatou o papel da engenharia sob o enfoque da história técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1986). NBR 9648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986). NBR 9649: **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1993). NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2011). NBR 12209: **Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2020). NBR 12208: **Projeto de Estação de Bombeamento ou de Estação Elevatória de Esgoto – Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) – **Atlas Esgoto: Despoeira de Bacias Hidrográficas**. 2017. Disponível em <<http://atlasesgotos.ana.gov.br>>. Acesso em: 04 mar. 2020
- ANDRADE NETO, C O; ALÉM SOBRINHO, Pedro; MELO, H N S; AISSE, M M. Decanto-digestores. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**, Programa PROSAB, capítulo 5, Rio de Janeiro, ABES-RJ, 1999.
- ÁVILA, Renata Oliveira de. **Avaliação do Desempenho de Sistemas Tanque Séptico-Filtro Anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005, 166f. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BASSIN, J. P., DEZOTTI, M. Tratamento primário, secundário e terciário de efluentes. In: DEZOTTI, M. (Coord.). **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**, capítulo 3, Rio de Janeiro, E-papers, 2008.
- BENASSI, Roseli Frederigi *et al.* **Manual de Sistemas de Wetlands Construídas para o Tratamento de Esgotos Sanitários: Implantação, Operação e Manutenção**. Universidade Federal do ABC, Ministério da Saúde, Editora Copiart, 2018.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Texto Constitucional. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento e estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional De Informações sobre Saneamento (SNIS) – Painel de Informações sobre Saneamento**. Brasília: MDR, 2019. Disponível em <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>>. Acesso em: 02 out. 2021

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. 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. **Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

BRIX, Hans. **Do Macrophytes play a Role in Constructed Treatment Wetlands?** Water Science and Technology, v. 35, n.5, p. 11-17, 1997.

CALVO, Bruno Del Rio. **Avaliação da Influência Antrópica na Drenagem do Igarapé do Quarenta e Orla de Manaus**. 2018, 111f. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

CEC PROJETO. **Manual de Operação**. Gavião Peixoto (SP), [s. n.], 2015.

DACACH, Nelson Gandur. **Tratamento Primário de Esgoto**. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1991.

DANTAS, Marcos. Universidade Federal do AM abriga 3º maior fragmento florestal do mundo. **G1 Amazonas**, Manaus, 09 de set. de 2012. Disponível em <<http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2012/09/universidade-federal-do-am-abriga-3-maior-fragmento-florestal-diz-biologo.html>>. Acesso em 21 jul. 2020.

DEZOTTI, M. (Coord.). **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro, E-papers, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GLÓRIA, Roberto Meireles. **Estudo dos Processos de Formação, Acumulação, Emissão e Oxidação de Sulfeto de Hidrogênio em Reatores UASB Tratando Esgotos Domésticos**. 2009, 53f. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GOOGLE EARTH-PRO. Disponível em <<https://earth.google.com>>. Acesso em 15 jul. 2021.

GUIMARÃES; CARVALHO E SILVA. **Saneamento Básico**. Agosto de 2007. Notas de aula. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

IERVOLINO, Luiz Fernando. Wetlands (Jardins Filtrantes) para Tratamento de Esgotos. **Portal Tratamento de Água**, [s.l.], 25 mar. 2019. Disponível em <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/sistema-wetland/>>. Acesso em 11 nov. 2021

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

JÚNIOR, Delcio Fernando Martins. **Rios Urbanos de Manaus: Proposta Teórico-metodológica para Gestão e Regulação de Recursos Hídricos com Base no Igarapé do Quarenta**. 2018, 179f. Dissertação de M. Sc., Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. **Treatment Wetlands**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2009, 348f. ISBN 978-1-56670-526-4.

KNUPP, Andrielly Moutinho. **Desempenho de um Sistema Composto por um Filtro Anaeróbio e um “Wetland” Horizontal na Produção de Água para Reúso Predial a partir de Água Cinza Clara**. 2013, 157f. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

KUEHN, Gabriela. **Programa de Operação e Manutenção de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**. 2015, 34f. Monografia de Especialização do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

LINS, Gustavo Aveiro. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs)**. 2010, 285f. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MACENA, Lila Sigrid Souza de; COSTA, Reinaldo Corrêa. A Cidade como Espaço do Risco: Estudo em Bacias Hidrográficas de Manaus, Amazonas-BR. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 318-330, 2012.

MANAUS, Resolução COMDEMA Nº 34 de 27 de julho de 2012. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, condições para lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Manaus**, Poder Executivo, Manaus, AM, 27 jul. 2012.

MANAUS. **Lei nº 1.192**, de 31 de dezembro de 2007. Cria o Programa de Tratamento e Uso Racional das Águas nas edificações – PRO-ÁGUAS. Diário Oficial do Município de Manaus. Manaus, AM, 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4 ed. New York, McGraw Hill, 2016.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. **Análise dos Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos e de Reuso de Águas Residuárias de Diversos Estados do Brasil**. Revista DAE, v. 67, n. 215, p. 40-55, 2019.

PENHA, Edmar das Mercês *et al.* **Manual de Operação e Manutenção da Estação de Tratamento de Efluentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos**. Rio de Janeiro, Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2010, 24f.

PIVELI, Roque Passos; KATO, Mario Takayuki. **Qualidade das Águas e Poluição: aspectos físico-químicos**. [S.l.: s.n.], 2006.

POÇAS, Cristiane Dias. **Utilização da Tecnologia de Wetlands para Tratamento Terciário: Controle de Nutrientes**. 2015, 93f. Dissertação de M. Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

PREFEITURA DO *CAMPUS* UNIVERSITÁRIO (PCU). **Projeto do Sistema de Tratamento de Esgotos**. Manaus, UFAM, 2009, 41f.

PRÓ-REITORIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL (PROPLAN). **UFAM em números**. Manaus, UFAM, 2018.

RABELO J.L.N. **Estruturação de um estudo de modelagem de escolha no igarapé do Mestre Chico em Manaus-AM**. 2009, 119f. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. Metodologia da Pesquisa Aplicável às Ciências. **Como Elaborar Trabalhos Monográficos em Contabilidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, p. 76-97, 2006.

SANTIAGO, Erimar Pontes. **Tratamento Combinado de Lixiviado e Esgoto Sanitário em Sistemas de Biomassa em Suspensão e Biomassa Aderida**. 2018, 119f. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). **Esgotamento Sanitário: operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1**. Belo Horizonte, ReCESA, 2008, 74f.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). **Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1**. Brasília, Ministério das Cidades, 2008, 72f.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos Filtros Plantados com Macrófitas (Constructed Wetlands) no Pós-tratamento de Lagoas de Estabilização sob Condições de Clima Subtropical**. 2006, 171f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TELLES, D. A.; GÓIS, J. S. **Ciclo Ambiental da água: da chuva à gestão**. Ed. 1. São Paulo: Blucher, 2013. 501 p.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; SOBRINHO, Pedro Alem. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2ª Edição. ABES. São Paulo, 2000.

VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte. **Desempenho de Leitões Cultivados (“Constructed Wetlands”) para Tratamento de Esgoto: Contribuições para Concepção e Operação**. 2003, 148f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VILAÇA, A.A.N.B. **Habitação e ação pública na contemporaneidade: um estudo de caso na área central de Manaus**. 2012, 124f. Dissertação de M. Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 2ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

VYMAZAL, Jan. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. *Water*, 2.3 530-549. 2010. Disponível em <<https://doi.org/10.3390/w2030530>>. Acesso em 23 jun. 2020.