



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

ANA KAROLINE DE ALMEIDA SILVA

**SISTEMAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DESCENTRALIZADOS,
COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES, TRATANDO EFLUENTES
DOMÉSTICOS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO E
OPERACIONAL**

Maceió

2022

ANA KAROLINE DE ALMEIDA SILVA

Sistemas de tratamento biológico descentralizados com diferentes configurações, tratando efluentes domésticos: Avaliação do desempenho técnico e operacional

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora:

Prof^a. Dr.^a Nélia Henriques Callado

Coorientador:

Prof. Dr. Eduardo Lucena C. Amorim

Maceió

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

- S586s Silva, Ana Karoline de Almeida.
Sistemas de tratamento biológico descentralizados, com diferentes configurações, tratando efluentes domésticos: avaliação do desempenho técnico e operacional / Ana Karoline de Almeida Silva. – 2022.
90 f.: il. color.
- Orientadora: Nélia Henriques Callado.
Coorientador: Eduardo Lucena C. Amorim.
Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2022.
- Bibliografia: f. 77-81.
Anexos: f. 82-90.
1. Esgoto sanitário. 2. Estação de Tratamento de Esgoto (ETEs). 3. Tratamento anaeróbio. 4. Tratamento aeróbio. I. Título.

CDU: 628.32

Sistemas de tratamento biológico descentralizados, com diferentes configurações, tratando efluentes sanitários: Avaliação do desempenho técnico e operacional

RESUMO

Embora o marco regulatório do saneamento, Lei 11.445/2007 atualizada pela Lei 14.026/2020, que preconiza a universalização dos serviços de saneamento no Brasil, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) aponta que Alagoas atende com rede coletora de esgotos, apenas 28,1% da população urbana e sua capital, Maceió, apenas 42,2% da população total (urbana e rural) é efetivamente atendida por redes coletoras de esgoto, com estimativa de que 14,7 milhões de m³ de esgoto são descartados sem tratamento. Apesar a privatização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Maceió, ocorrido em set/2020, ser a responsável pela ampliação da cobertura da rede coletora de esgoto para 90% até 2033, as ETEs compactas, instaladas em empreendimentos comerciais e residenciais, também contribuem para o alcance dessas metas. No entanto a operação e o monitoramento desses sistemas ainda é um desafio para os que dispõem de infraestrutura e recursos financeiros limitados, tendo como alternativa a terceirização destes serviços, a fim de garantir que o efluente produzido atenda a legislação vigente. Nesse sentido, as ETEs compactas devem ser simples, eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis. Assim, o presente trabalho teve por objetivo, avaliar quatro estações compactas de tratamento de esgoto, com tratamento anaeróbio seguido de pós-tratamento aeróbio, com configurações distintas (três aeradas mecanicamente e uma com aeração natural), visando identificar como são operadas e monitoradas, suas principais limitações, e se os efluentes tratados atendem aos padrões de lançamento da CONAMA 430/2011. Os resultados mostraram que todas elas conseguem enquadrar o efluente tratado aos padrões de lançamento, com procedimentos operacionais padronizados e aplicação de hipoclorito de sódio para desinfecção. Em três delas o lodo em excesso é retirado por caminhões limpa fossas com efluente tratado descartado no solo e apenas uma utiliza leito de secagem para desidratação do lodo em excesso com efluente tratado em reúso urbano não potável. O monitoramento da qualidade do efluente tem objetivo apenas de verificar o cumprimento dos padrões de descarte sem preocupação com o monitoramento dos processos anaeróbio e aeróbio. A principal limitação ocorre pela ausência de medição de vazão afluente as ETEs o que impede verificar os parâmetros operacionais e o ajuste da dosagem de hipoclorito de sódio. A eficiência média de remoção de matéria orgânica das quatro ETEs foi de 87,1±2,2%.

Palavras-chave: ETEs compactas, Operação de ETEs, sistema anaeróbio/aeróbio.

Decentralized biological treatment systems, with different configurations, treating sanitary effluents: Evaluation of technical and operational performance

ABSTRACT

Although the sanitation regulatory mark, Law 11.445/2007 updated by Law 14. 026/2020, which advocates the universalization of sanitation services in Brazil, the National Information System on Sanitation (SNIS) indicates that Alagoas is served by sewage collection networks, only 28.1% of the urban population and its capital, Maceió, only 42.2% of the total population (urban and rural) is effectively served by sewage collection networks, with an estimate that 14.7 million m³ of sewage are disposed of without treatment. Although the privatization of the water supply and sanitary sewage services in Maceió, which occurred in Sep/2020, is responsible for the expansion of the sewage collection network coverage to 90% by 2033, the compact ETEs, installed in commercial and residential developments, also contribute to the achievement of these goals. However, the operation and monitoring of these systems is still a challenge for those who have limited infrastructure and financial resources, having as an alternative the outsourcing of these services, in order to ensure that the effluent produced meets the current legislation. In this sense, compact WWTPs should be simple, efficient, sustainable and economically feasible. Thus, this study aimed to evaluate four compact sewage treatment plants, with anaerobic treatment followed by aerobic post-treatment, with different configurations (three mechanically aerated and one with natural aeration), in order to identify how they are operated and monitored, their main limitations, and whether the treated effluents meet the release standards of CONAMA 430/2011. The results showed that all of them can fit the treated effluent to the release standards, with standard operating procedures and application of sodium hypochlorite for disinfection. In three of them the excess sludge is removed by tank cleaning trucks with treated effluent disposed on the soil and only one of them uses a drying bed for dehydration of the excess sludge with treated effluent in non-potable urban reuse. The monitoring of the effluent quality is aimed only at checking compliance with discharge standards without concern for monitoring the anaerobic and aerobic processes. The main limitation occurs due to the lack of measurement of the affluent flow of the ETEs, which prevents the verification of operational parameters and the adjustment of the dosage of sodium hypochlorite. The average efficiency of organic matter removal of the four ETEs was $87.1 \pm 2.2\%$

Keywords: Compact WWTPs, WWTP operation, anaerobic/aerobic system.

A minha querida mãe, que,
de forma precoce, partiu da vida terrena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida com saúde, por me iluminar e guiar meus passos em todos os momentos de minha vida.

Ao meu esposo Ismaquiel, pelo amor, carinho, além e dedicação da compreensão pela minha ausência e incentivo nos momentos de angústia e desânimo.

Às minhas filhas Rebeca e Hadassa, por todas as demonstrações de amor e afeto e também pela difícil tentativa em entender porque a mamãe fazia tanto dever de casa.

À minha mãe Neide (in memoria) que muito me ajudou com minha filha pequena para que eu pudesse sair do interior e ir à Maceió assistir as aulas. Seu legado permanecerá continuamente vivo em minha memória. Sem sua ajuda nada disso seria possível.

À minhas irmãs e ao meu pai sempre presentes em minha vida.

À minha orientadora, professora Nélia Callado, pela dedicação e confiança em mim depositadas. E também pela oportunidade de crescimento profissional proporcionado pelos seus ensinamentos. Ela se tornou exemplo de empatia e coragem para mim, uma mulher admirável.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), pelos conhecimentos adquiridos durante o período de obtenção dos créditos, em especial ao professor Eduardo Lucena, por todo apoio.

Aos funcionários da secretaria do PPGRHS por toda ajuda e disponibilidade.

Aos amigos do PPGRHS, aos amigos da graduação pelo apoio e incentivo, em especial Ilames Jordan e Elice Lira.

À empresa Análise ambiental, pela disponibilidade e permissão de acesso às ETes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Sequência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia..	22
Figura 4.1 –Mapeamento da área	35
Figura 4.2 – Fluxograma de ETE 1	37
Figura 4.3 – Imagens fotográficas da ETE 1	37
Figura 4.4 – Esquema ilustrativo ETE 2.....	38
Figura 4.5 - Layout da ETE 3	40
Figura 4.6 – Disposição da ETE 3	40
Figura 4.7 - Esquema ilustrativo ETE 4	42
Figura 4.8 – Disposição da ETE 4.....	42
Figura 5.1 Canal de chegada com grade e reator anaeróbio de chicanas.	47
Figura 5.2. Tanque de aeração com MBBR.	48
Figura 5.3. Decantador secundário, câmara de contato, soprador de ar e bomba dosadora.	48
Figura 5.4. Vista geral da ETE 1	48
Figura 5.5 Canal de chegada com grade e elevatória de esgoto pré-tratado.	52
Figura 5.6 UASB e caixa divisora de vazão, compressores, e pontos descarte de lodo.....	52
Figura 5.7. Tanque de lodo ativado, bomba dosadora e tanque de contato.....	52
Figura 5.8. Bombas da elevatória e caixa de divisão de vazão e reatores UASB.	55
Figura 5.9. Selo hídrico do UASB, canal de descarga de lodo e distribuição de vazão no FP.	55
Figura 5.10. Tanque de contato, bomba dosadora e ETE com leito de secagem.	55
Figura 5.11. Variação da temperatura no efluente tratado para as 4 ETEs estudadas.....	59
Figura 5.12. Variação temporal da turbidez nas ETEs estudadas.....	62
Figura 5.13. Gráficos da variação de pH ao longo do tempo.	64
Figura 5.14. Gráficos da variação de DBO efluente ao longo do tempo.....	66
Figura 5.15. Variação de concentração de cloro residual no efluente das ETEs estudadas.	69
Figura 5.16. Gráficos da variação de coliformes no efluente tratado nas ETEs estudadas.	71
Figura 5.17. Grafico de eficiência global das ETEs.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Principais constituintes dos esgotos	16
Tabela 3.2. Variação da concentração dos esgotos brutos.	17
Tabela 3.3 Concentrações e eficiências médias de remoção dos diversos constituintes.....	23
Tabela 4.1 Estações compactas de tratamento de esgoto monitorada	36
Tabela 4.2. Parâmetros analisados, métodos e frequências de análises	43
Tabela 4.3 – Padrões de lançamento para efluentes de tratamento de esgotos sanitários	44
Tabela 5.1 – Síntese das características das ETEs estudadas e suas unidades de operação.....	45
Tabela 5.2 Atividades operacionais da ETE 1	46
Tabela 5.3 Atividades operacionais da ETE 2.....	49
Tabela 5.4. Atividades operacionais da ETE 3.....	50
Tabela 5.5. Atividades operacionais da ETE 4.....	53
Tabela 5.6. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 1	56
Tabela 5.7 Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 2	56
Tabela 5.8. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 3	57
Tabela 5.9. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 4	57
Tabela 5.10. valores médios de sólidos sedimentáveis das quatro estações.....	60
Tabela 5.11. Valores comparativos da eficiência atingida nas ETEs em estudo.....	72
Tabela 5.12. Valores comparativos da eficiência atingida pelos processos biológicos	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV- Ácidos Voláteis

ANA – Agência Nacional de Águas

BRS - Bactérias Redutoras De Sulfato

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRL – Cloro Residual Livre

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FAS – Filtros Aeróbios Submersos

FBA - Filtro Biológico Aerado

FBP – Filtro Biológico Percolador

FPAS - Biofiltro híbrido aeróbio percolador/anoxico submerso

LA – Lodos Ativados

MBBR – Moving Bed Biofilm Reactors (Reatores Biológicos com leito móvel)

Ptot – Fósforo Total

pH – Potencial Hidrogeniônico

PVC – Policloreto de Vinila

ST – Sólidos Totais

SF – Sólidos Fixos;

SV – Sólidos Voláteis.

TA – Tanque de Aeração

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Manta de Lodo Anaeróbio de Fluxo Ascendente)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Esgotos sanitários	16
3.2. Impactos do lançamento de esgotos sanitários em corpos de água.....	18
3.3. Reator anaeróbio tipo UASB.....	21
3.4. Filtros biológicos percoladores.....	24
3.5. Filtro biológico aerado	26
3.6. Lodo Ativado.....	28
3.7. MBBR	28
3.8. Desinfecção.....	30
3.9. Padrão de lançamento de efluentes.....	31
3.10. Reúso aplicáveis ao esgoto tratado	33
3.11. Experiencia de aplicação de ETEs compactas no Brasil	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1. Descrição das instalações de trabalho	35
4.1.1. ETE 1 Reator Anaeróbio + Aeróbio (MBBR) + desinfecção.....	36
4.1.2. ETE 2 – Reator anaeróbio + Filtro Aerado + desinfecção	38
4.1.3. ETE 3 - Reator Anaeróbio + Lodos Ativados + desinfecção	39
4.1.4. ETE 4 - Reator Anaeróbio + Filtro percolador + desinfecção	41
4.2. Avaliação do desempenho das ETEs	43
4.3. Levantamento operacional das ETEs	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45

5.1. Operação das ETEs.....	45
5.1.1. ETE 1 - Reator Anaeróbio + Aeróbio (MBBR) + desinfecção	46
5.1.2. ETE 2 - Reator Anaeróbio + Filtro Aerado + desinfecção	49
5.1.3. ETE 3 - Reator Anaeróbio + Lodos Ativados + desinfecção	50
5.1.4. ETE 4 - Reator Anaeróbio + Filtro percolador + desinfecção	53
5.2. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico	56
5.2.1. Parâmetros físicos	58
5.2.2. Parâmetros químicos.....	63
5.2.3. Parâmetros biológicos	70
5.3. Avaliação da eficiência das ETEs	72
5.4. Comparação das ETEs estudadas.....	75
6. CONCLUSÕES RECOMENDAÇÕES	76
7. REFERÊNCIAS	78
ANEXO 1 – DADOS DA ETE 1	83
ANEXO 2 – DADOS DA ETE 2	85
ANEXO 3 – DADOS DA ETE 3	88
ANEXO 4 – DADOS DA ETE 4	91

1. INTRODUÇÃO

Esgotos sanitários são as águas servidas provenientes de residências, edifícios residenciais, comerciais e públicos, clubes esportivos, restaurantes, hospitais e instalações sanitárias das indústrias. São originados a partir do uso da água para higiene pessoal, cocção de alimentos, lavagem de utensílios, roupas, pisos e limpeza em geral. Apresenta uma composição pouco variável e predomínio de matéria orgânica biodegradável. Outros componentes comumente encontrados nos esgotos sanitários são os microrganismos, como vírus e bactérias, nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos, graxas e detergentes (ASHBY, 2013).

As tendências modernas registradas nas duas últimas décadas apontam que no futuro os grandes centros urbanos priorizarão a utilização de estações compactas de tratamento de esgotos, mas que possuam operação estável, baixo impacto ambiental (inclusive odores, ruídos e impacto visual) e que possuam capacidade de remoção de matéria orgânica, de nutrientes, baixa produção de lodo, custo operacional compatível com o poder aquisitivo dos usuários, remoção de patogênicos e geração de efluente que atendam a legislação ambiental. Assim, maioria dos esforços de estudos recentes tem se centrado no desenvolvimento de novas tecnologias capazes de obter efluentes de melhores qualidades, com especial atenção à redução de nitrogênio e dos custos de tratamento (RUSCALLEDA *et al*, 2011).

Pode-se afirmar que a tecnologia anaeróbia, pode atender a quase todos os requisitos das novas tendências, tais como capacidade de remoção de matéria orgânica, baixa produção de lodo, baixo custo e facilidade operacional. No entanto, apesar das vantagens, na maioria dos casos, os processos anaeróbios isoladamente não produzem efluentes que atendam à legislação ambiental, demandando de uma ou mais unidades de pós-tratamento (GONÇALVES; ARAÚJO; CHERNICHARO, 1993 e SANTOS *et al.*, 2016).

A elevada remoção de matéria orgânica presente no esgoto bruto em etapa anaeróbia, por reatores anaeróbios tipo UASB, seguidos de pós-tratamento, tem sido reconhecida e amplamente reportada em vários trabalhos, conforme apresentado por Kassab *et al.* (2010). Essa combinação tem sido comercialmente aplicada para o tratamento de esgotos sanitários em empreendimentos comerciais, industriais e residenciais. Entre as tecnologias aeróbias aplicadas como pós-tratamento tem-se o filtro biológico percolador (FBP), filtro biológico aerado (FBA), o lodo ativado, o MBBR, entre outros.

O filtro biológico percolador é uma alternativa interessante, pois além de implicarem em baixa demanda de energia e complexidade operacional ainda tem resistência a choques de carga e toxicidade, gerando efluente final compatível com os padrões de lançamento de países em desenvolvimento, como o Brasil (ALMEIDA; OLIVEIRA; CHERNICHARO, 2011).

Em se tratando de Moving Bed Biofilm Reactors (Reatores Biológicos com leito Móvel), conhecido pela sigla MBBR, usado como pós tratamento ao reator UASB, tem-se que ele utiliza todo o volume do tanque para crescimento da biomassa, sua operação é contínua, não é necessária a retro lavagem do meio, é pouco suscetível ao entupimento e não precisa de recirculação de lodo (RUSTEN *et al.*, 2006; METCCALF; EDDY, 2003). Sendo assim, sua implantação é, relativamente, simples. Além disso, requer pouca área quando comparado com LA, possui operação simples, o risco de perder toda a biomassa é pequeno devido à fração aderida, é menos dependente da temperatura do meio e menos sensível a cargas tóxicas (WANG *et al.*, 2005; ALMOMANI *et al.*, 2014). Ele também pode operar com alta carga orgânica e é menos sensível à sobrecarga hidráulica (BORKAR *et al.*, 2013).

Já o sistema de lodos ativados é utilizado em situações em que é necessária alta qualidade do efluente e disponibilidade de área limitada, estando presente em torno de 90% das ETES de médio e grande portes nos países desenvolvidos (CAMPOS, 1994 apud MENDONÇA, 2002; VON SPERLING, 1997). No entanto, o sistema de lodos ativados é mais mecanizado do que outros sistemas de tratamento, envolvendo uma operação mais sofisticada e gerando alto consumo de energia elétrica para aeração (VON SPERLING, 1997).

Dessa forma essa pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho de quatro estações compactas de tratamento de efluentes domésticos, em operação, sendo um em empreendimento comercial e três em empreendimentos residenciais, que utilizam a sistema biológico anaeróbio-aeróbio, visando avaliar a remoção de matéria orgânica e patogênicos, assim como também suas características operacionais.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o desempenho técnico e operacional de quatro sistemas de tratamento biológicos anaeróbios tipo UASB com diferentes tecnologias de pós-tratamento aeróbio, tratando esgoto sanitário doméstico e comercial.

Objetivos Específicos

- Levantar as características dos quatro sistemas, identificando as principais dificuldades operacionais encontradas.
- Avaliar o desempenho de um sistema combinado biológico UASB seguido de MBBR, tratando de esgoto comercial.
- Avaliar o desempenho de um sistema combinado biológico UASB seguido de lodos ativados, tratando de esgoto doméstico.
- Avaliar o desempenho de um sistema combinado biológico UASB seguido de filtro aerado, tratando de esgoto doméstico.
- Avaliar o desempenho de um sistema combinado biológico UASB seguido de filtro percolador, tratando de esgoto doméstico.
- Comparar o desempenho dos sistemas de tratamento com diferentes pós-tratamento na remoção de matéria orgânica e coliformes, entre as quatro estações analisadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Esgotos sanitários

Ao se realizar as atividades cotidianas, como tomar um banho ou lavar uma roupa, a água limpa se transforma em água servida – mais conhecida como esgoto. Segundo a NBR 8160/1999, cada pessoa, ao consumir em média 200 litros de água por dia, converte cerca de 160 litros (80%) em esgoto. Os 40 litros restantes podem voltar à atmosfera através da evaporação ou se infiltrar no solo ao se lavar o quintal ou irrigar jardins, por exemplo.

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), os principais constituintes de esgotos, originados de fontes doméstica, municipal e industrial, são: excreta humana, águas de banho, de processamento de alimentos e de produtos de manutenção pessoais e domésticos, juntos a uma grande variedade de constituintes que podem ser encontrados no esgoto, é prática comum caracterizar o esgoto segundo suas propriedades físicas e de seus constituintes químicos e biológicos. A Tabela 3.1 mostra os principais constituintes de importância no tratamento de esgotos.

Tabela 3.1 - Principais constituintes dos esgotos

CONSTITUINTES	RAZÃO DE IMPORTÂNCIA
Sólidos Suspensos	Sólidos suspensos podem provocar depósitos de lodo e condições anaeróbias quando esgoto bruto é descarregado no ambiente aquático
Orgânicos Biodegradáveis	Contendo principalmente proteínas, carboidratos e gorduras, os orgânicos biodegradáveis são mais comumente medidos em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Se lançado sem tratamento ao ambiente, suas estabilizações biológicas podem levar a depleção dos recursos de oxigênio natural e ao desenvolvimento de condições sépticas.
Patógenos	Doenças transmissíveis podem ser transmitidas por organismos patogênicos que podem estar presentes no esgoto.
Nutrientes	Associados ao carbono, tanto nitrogênio como fósforo são elementos essenciais para o crescimento. Quando descartados em meio aquático, esses nutrientes podem levar ao crescimento de espécies aquáticas indesejáveis. Quando descarregados no solo em grandes quantidades, podem, também, provocar a poluição de águas subterrâneas.
Poluentes Prioritários	Compostos orgânicos e inorgânicos selecionados com base em suas conhecidas ou suspeitas carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade ou elevada toxicidade aguda. Muitos desses compostos são encontrados nos esgotos.
Orgânicos Refratários	Esses orgânicos tendem a resistir aos métodos convencionais de tratamento de esgotos. Exemplos típicos incluem surfactantes, fenóis e pesticidas utilizados na agricultura.
Metais Pesados	Metais pesados são, usualmente, adicionados ao esgoto por atividades comerciais e industriais e poderá haver a necessidade de removê-los se o esgoto for reutilizado.
Orgânicos Dissolvidos	Constituintes inorgânicos, como cálcio, sódio e sulfato são adicionados à água distribuída por sistemas de abastecimento público e devem ser removidos se o esgoto for reutilizado.

Fonte: Metcalf & Eddy (2016)

Estes autores (METCALF e EDDY, 2016) comentam que a concentração desses constituintes dos esgotos varia de acordo com o perfil dos contribuintes ao sistema de coleta de esgoto, podendo ser classificado em esgoto de baixa, media e alta concentração. A Tabela 3.2 apresenta a variação da concentração dos constituintes para as três classes de concentração.

Tabela 3.2. Variação da concentração dos esgotos brutos.

CONSTITUINTE	UNIDADE	CONCENTRAÇÃO		
		BAIXA	MEDIA	ALTA
Sólidos totais (ST)	mg/L	537	806	1612
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	mg/L	374	560	1121
Fixos	mg/L	224	336	672
Voláteis	mg/L	150	225	449
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	130	195	389
Fixos	mg/L	29	13	86
Voláteis	mg/L	101	152	304
Sólidos sedimentáveis	mg/L	8	12	23
Demanda bioquímica de oxigênio, 5d. 20°C DBO	mg/L	133	200	400
Carbono orgânico total (COT)	mg/L	109	164	328
Demanda química de oxigênio (DOO)	mg/L	339	508	1016
Nitrogênio (total como N)	mg/L	23	35	69
Orgânico	mg/L	10	14	29
Amônio livre	mg/L	14	20	41
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total como P)	mg/L	3,7	5,6	11
Orgânico	mg/L	2,1	3,2	6,3
Inorgânico	mg/L	1,6	2,4	4,7
Potássio	mg/L	11	16	32
Cloretos	mg/L	39	59	118
Sulfato	mg/L	24	36	72
Óleo e graxa	mg/L	51	76	153
Compostos orgânicos voláteis totais (COVs)	mg/L	<100	100-400	>400
Coliformes totais	No./100mL	10^6 - 10^8	10^7 - 10^9	10^7 - 10^{10}
Coliformes fecais	No./100mL	10^3 - 10^5	10^4 - 10^6	10^5 - 10^8
Oocistos de Cryptosporidium	No./100mL	10^{-1} - 10^1	10^{-1} - 10^2	10^{-1} - 10^3

Fonte: Metcalf e Eddy, 2016.

3.2.Impactos do lançamento de esgotos sanitários em corpos de água

A atividade antrópica vem provocando alterações e impactos no ambiente há muito tempo, existindo uma crescente necessidade de se apresentar soluções e estratégias que minimizem e revertam os efeitos da degradação ambiental e do colapso dos recursos naturais que se observam cada vez com mais frequência. (MATEUS, 2019)

De acordo com a Agência Nacional de águas (ANA) a ocupação e o uso dos solos decorrentes de atividades humanas alteram sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais. Essas alterações ocorridas em uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas através do monitoramento da qualidade das águas superficiais, uma vez que os rios recebem efluentes domésticos, industriais e águas oriundas da drenagem de áreas de agropecuária. Nos centros urbanos, a falta de um sistema de esgotamento sanitário contribui para que parte dos dejetos chegue aos rios e reservatórios.

Os processos de degradação resultantes das atividades humanas nas bacias hidrográficas podem causar o assoreamento e a homogeneização do leito dos rios e córregos, diminuindo a diversidade de habitats e microhabitats. Outro processo que acontece é a eutrofização artificial, que é o enriquecimento por aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio e consequente perda da qualidade ambiental (ANA, 2015).

De acordo com Metcalf & Eddy (2016) os esgotos possuem em sua composição nutrientes, como nitrogênio e fósforo, estes componentes estimulam o crescimento de algas e cianobactérias, capazes de produzir toxinas com efeitos adversos à saúde, em corpos de água lânticos os efeitos podem ser ainda mais danosos. As algas aparentes na superfície do corpo hídrico, apesar de muitas vezes parecer algo natural, gera a morte dos seres vivos presentes no ecossistema aquático, já que impede a fotossíntese de organismos autótrofos e consequentemente a diminuição de oxigênio dissolvido.

Desse modo, o lançamento de efluentes ricos em nutrientes em reservatórios naturais configura um ato de degradação ambiental, prejudicial para os ecossistemas.

A resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água superficiais e sobre diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece condições e padrões para lançamento de efluentes em corpos d'água. Esta resolução define os padrões de qualidade para diversas formas de nitrogênio e fósforo, os quais são

associados às várias classes dos corpos d'água. Dependendo da classe em que o corpo d'água foi enquadrado, variam os teores máximos permitidos para nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e fósforo na água dos mananciais.

No artigo 5º da resolução CONAMA nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 está expresso que “Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento”. Em seu artigo 16º, acrescenta que, “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis”. Desse modo, não se pode descartar efluentes em qualquer corpo hídrico, ainda que tratados, é necessário que ele se enquadre nas exigências trazidas pelas resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011.

Segundo o Art. 18º da resolução CONAMA 357/2005 as águas salinas de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - Condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) materiais flutuantes virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;

e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para o cultivo de moluscos bivalves destinados à alimentação humana, a média geométrica da densidade de coliformes termotolerantes, de um mínimo de 15 amostras coletadas no mesmo local, não deverá exceder 43 por 100 mililitros, e o percentil 90% não deverá ultrapassar 88 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. Esses índices deverão ser mantidos em monitoramento anual com um mínimo

de 5 amostras. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliforme termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) carbono orgânico total até 3 mg/L, como C;

i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂; e

j) pH: 6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade.

Ainda, de acordo com a resolução CONAMA 430/2011, o Art. 16. traz que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de

autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

Os sistemas convencionais de tratamento biológico de esgoto, que são projetados visando, principalmente, à remoção de matéria orgânica, resultam em efluentes com concentrações de nitrogênio e fósforo próximas às do esgoto bruto, dificultando o atendimento às exigências do CONAMA com relação aos teores dos mesmos nos corpos d'água. Esse problema é agravado quando a diluição do esgoto no corpo receptor é baixa. Há necessidade, portanto, de que se busquem alternativas de tratamento de esgoto que resultem em maior remoção de nitrogênio e fósforo, complementando os sistemas usuais de tratamento (CHERNICHARO *et al*, 2009).

3.3.Reator anaeróbio tipo UASB

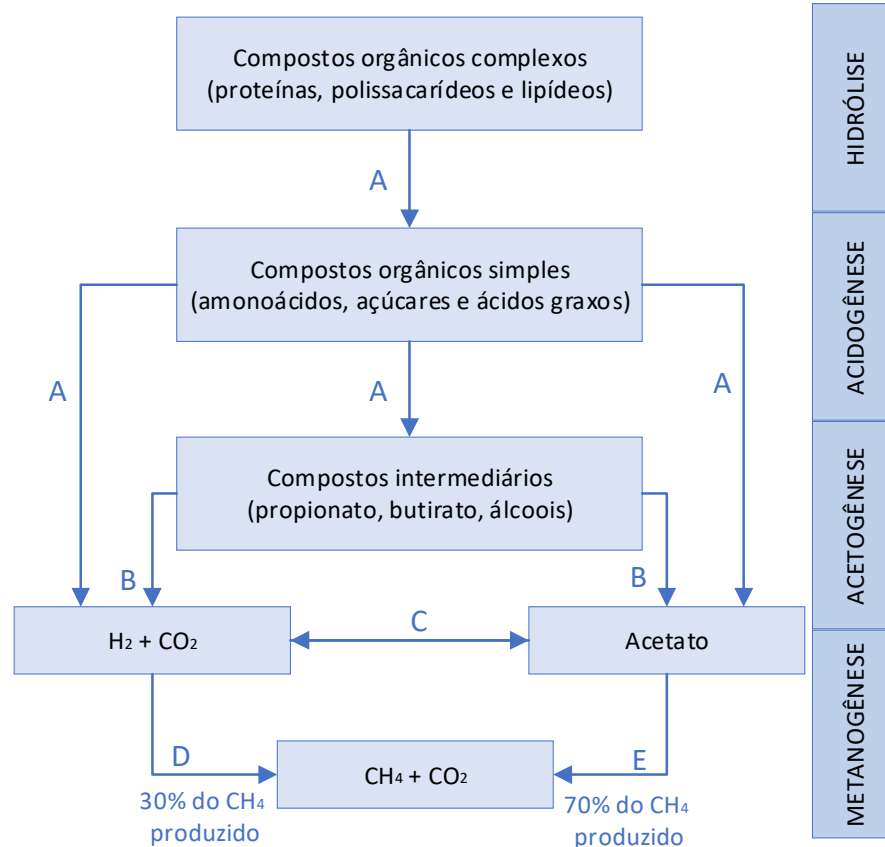
O processo anaeróbio é utilizado no tratamento de águas residuais que contêm uma grande carga de compostos orgânicos, sendo mais econômico e eficiente quando o efluente possui alta biodegradabilidade (Pauli, 2018).

O Reator UASB é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido. O esgoto afluí ao reator e após ser distribuído pelo seu fundo, segue uma trajetória ascendente, desde a sua parte mais baixa, até encontrar a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico, tendo como subproduto a geração de gases metano, carbônico e sulfídrico. Ainda em escoamento ascendente, e através de passagens definidas pela estrutura dos dispositivos de coleta de gases e de sedimentação, o esgoto alcança a zona de sedimentação. A manutenção de um leito de sólidos em suspensão constitui a manta de lodo, e em função do fluxo contínuo e ascendente de esgotos, nesta é que ocorre a decomposição do substrato orgânico pela ação de organismos anaeróbios (VOLSCHAN, 2018).

Na digestão anaeróbia há uma interação entre os microrganismos e o substrato em diferentes estágios. À luz da cinética, a digestão anaeróbia pode ser descrita como um processo de quatro etapas: hidrólise de compostos orgânicos complexos, a produção de ácidos (acidogênese e acetogênese) e a produção de metano (Metanogênese), podendo haver a inclusão de uma quinta

fase (sulfetogênese), dependendo da composição química do despejo a ser tratado, como ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia



Legenda: (A – Bactérias hidrolíticas e fermentativas; B – Bactérias acetogênicas; C – Bactérias homoacetogênicas; D – Arqueias metanogênicas hidrogeno- tróficas; E – Arqueias metanogênicas acetoclásticas).

A cinética geral de conversão da matéria orgânica é determinada pela cinética do estágio mais lento, em relação ao tratamento de esgotos, a hidrólise pode ser a etapa que controla a velocidade de degradação, dependendo da temperatura e dos compostos orgânicos presentes nas águas residuárias (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Na presença de sulfato, as bactérias redutoras de sulfato (BRS) passam a competir com os microrganismos fermentativos, acetogênicos e metanogênicos pelos substratos disponíveis. A importância dessa competição bacteriana é maior quando ocorre o aumento da concentração relativa de SO_4^{2-} em relação à concentração de DQO (SIQUEIRA, 2008).

Segundo Sperling (2014), os reatores UASB constituem-se na principal tendência atual de tratamento de esgotos no Brasil, como unidades únicas, ou seguidas de alguma forma de

pós-tratamento. O reator UASB é uma tecnologia sustentável para o tratamento de esgoto doméstico, que atinge cerca de 70% de eficiência de remoção de matéria orgânica em países de clima quente. Porém, essa tecnologia não atende aos padrões de lançamento de efluentes, necessitando assim de um pós-tratamento para degradação da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão remanescentes e remoção de nutrientes e patógenos quando necessário (KHAN *et al.*, 2011; VAN HAANDEL *et al.*, 2006).

Em uma pesquisa feita por Von Sperling (2005) em 166 ETEs nacionais verificou-se que quando os reatores UASB operaram seguidos por algum tipo de pós-tratamento, os resultados obtidos foram os que melhor se ajustaram aos valores reportados como usuais, considerando todos os constituintes. Conforme pode ser visto na tabela 3.3 abaixo.

Tabela 3.3 Concentrações e eficiências médias de remoção dos diversos constituintes

	Constituinte	Unidade	FS+FA	LF	LAN+LF	LA ⁽¹⁾	UASB	UASB+POS ⁽²⁾
DBO	Afluente	(mg/L)	665	553	510	315	371	362
	Efluente	(mg/L)	292	136	89	35	98	42
	Eficiência remoção	(%)	59	75	82	85	72	88
DQO	Afluente	(mg/L)	1398	1187	1095	575	715	713
	Efluente	(mg/L)	730	525	309	92	251	141
	Eficiência remoção	(%)	51	55	71	81	59	77
SST	Afluente	(mg/L)	479	430	411	252	289	334
	Efluente	(mg/L)	165	216	153	57	85	51
	Eficiência remoção	(%)	66	48	62	76	67	82
NTK	Afluente	(mg/L)	78	69	78	47	43	-
	Efluente	(mg/L)	61	38	45	22	48	-
	Eficiência remoção	(%)	24	44	39	50	-13	24
PT	Afluente	(mg/L)	9	9	11	3	7	7
	Efluente	(mg/L)	7	4	7	1	6	5
	Eficiência remoção	(%)	30	46	36	46	-1	23
CF (*)	Afluente	(org/100mL)	2,6x10 ⁷	5,3x10 ⁷	2,0 x10 ⁸	3,7 x10 ⁷	1,2 x10 ⁸	1,8 x10 ⁸
	Efluente	(org/100mL)	5,3 x10 ⁶	1,2 x10 ⁶	4,3 x10 ⁵	1,3 x10 ⁵	3,4 x10 ⁷	9,7 x10 ⁶
	Eficiência remoção	Unidades log	0,9	1,6	2,2	2,0	0,6	2,8

(*) Para coliformes, os valores referem-se à média geométrica das concentrações.

(1) LA incluiu as modalidades convencional e aeração prolongada;

(2) UASB+POS incluiu os pós-tratamentos: filtro aerado (FAE); filtro anaeróbio (FA); filtro biológico percolador (FBP); flotação (FLOT); lagoas facultativas (LF) e lagoas de polimento (LP).

Legenda: Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio (FS+FA), lagoas facultativas (LF), lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas (LAN+LF), lodos ativados (LA), reatores UASB sem pós-tratamento (UASB), reatores UASB seguidos de pós-tratamento (UASB+POS).

Fonte: Von Sperling (2005)

No trabalho citado, na configuração UASB+POS os resultados mostrados pelos reatores UASB, quando seguidos de pós-tratamento foram superiores, em alguns casos, aos obtidos pelos lodos ativados. Esses bons desempenhos foram observados na remoção de DBO, SST e CF.

Existe uma variedade de opções para o pós-tratamento de reator anaeróbio reportadas na literatura, sendo alguns deles: filtro percolador, biofiltro aerado submerso (BF), reator biológico rotacional, wetlands, reator sequencial batelada (SBR), tratamento primário quimicamente assistido, filtro de zeólita, flotação por ar dissolvido, lodos ativados (KHAN *et al.*, 2011). Sistemas combinados com tratamento anaeróbio e aeróbio são muito indicados para regiões de clima predominantemente quente, como o Brasil, pois favorece o tratamento por vias anaeróbias (CHERNICHARO, 2006).

De acordo com Mungray e Murthy (2014), o principal objetivo de um processo aeróbio como pós-tratamento de uma etapa anaeróbia é a melhoria da qualidade do efluente final, com vistas à proteção da saúde pública e do meio ambiente e ao reúso da água.

3.4.Filtros biológicos percoladores

Entre as diferentes alternativas de pós-tratamento de reatores anaeróbios, os Filtros Biológicos Percoladores (FBPs) destacam-se pela sua simplicidade e baixo custo operacional. Sendo sistemas aeróbios de tratamento, os FBPs são caracterizados pela aplicação contínua de esgoto sanitário em um meio suporte (pedras, cerâmicas, plásticos, entre outros materiais). A percolação do líquido permite o crescimento de microrganismos na superfície do material utilizado como meio suporte, formando uma película ativa de microrganismos comumente chamada de biofilme (Almeida *et al.*, 2011).

Nos filtros biológicos a matéria orgânica é estabilizada biologicamente pela ação de organismos aeróbios que apresentam capacidade de aderência a um meio suporte inerte (pedras e/ou plástico). Os esgotos são aplicados na superfície do filtro biológico e escoam, em sentido descendente ou ascendente, através dos espaços vazios existentes no meio suporte. Segundo a trajetória percorrida, os esgotos entram em contato com a biomassa aderida (biofilme), sendo a parcela solúvel da matéria orgânica decomposta aerobicamente (PEREIRA SANTOS, 2005).

O biofilme aderido ao meio suporte cresce à medida que o oxigênio (gradiente de temperatura entre o interior do reator e ambiente externo) e o substrato orgânico são

disponibilizados. A indisponibilidade de oxigênio e de substrato para os organismos inicialmente estabelecidos no biofilme causa o seu desprendimento do meio suporte e a formação do floco biológico para posterior remoção no decantador secundário (VOLSCHAN, 2018).

O filtro biológico percolador também é uma tecnologia compacta, operacionalmente simples, de baixo consumo de energia e custo operacional. Vários trabalhos têm sido realizados com o objetivo de contribuir para a avaliação do comportamento de reatores de manta de lodo (UASB) seguidos de filtros biológicos percoladores (FBP) tratando esgotos sanitários (NASCIMENTO, 2001; PINTO, 2001; PEREIRA SANTOS, 2005).

A filtração consiste na remoção de partículas em suspensão e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. Após certo tempo de funcionamento, há necessidade da lavagem do filtro; geralmente, realizada pela introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular com liberação das impurezas (DI BERNARDO, 2005; SALCEDO *et al.*, 2011).

Em relação à eficiência de tratamento, alguns estudos têm demonstrado que esse método possui certo potencial para ser utilizado como pós-tratamento, conferindo melhor qualidade aos efluentes tratados a nível secundário. Em três diferentes estudos, em escala piloto, usando o processo de filtração como tratamento terciário de efluentes de tratamento secundário, Kuo *et al.* (1997) reportaram 78-80% em média a redução de turbidez (residual 1,2-1,4 NTU), 81-87% redução de sólidos suspensos (residual 1,6-2,0 mg/L) e 17% de redução de DQO (residual 53-54 mg/L). Jolis *et al.* (1996), reportaram resultados similares em filtração em escala piloto de efluentes de tratamento biológico municipal, usando dois diferentes filtros.

Eles também reportaram uma redução média de 1.1 log de bactérias coliformes no processo de tratamento terciário por filtração. Nieuwstad *et al.* (1988), alcançaram cerca de 30-50% na redução de matéria orgânica (DBO e DQO), redução de 70-75% de fósforo total Ptot e sólidos suspensos, bem como uma redução de 20-70% de micróbios entéricos (*E. coli*, *estreptococos fecais* e *clostrídios redutores de sulfito*) no processo terciário de filtração. Filtração terciária (filtração direta) utilizada com o auxílio de coagulante químico férrico melhorou o desempenho do processo de filtração, alcançando cerca de 40-60% de redução de

matéria orgânica (DBO, DQO), 90% redução de fósforo total P_{tot} e redução de 80-99,4% de micróbios entéricos.

Tonetti *et al.* (2012), utilizando filtração como polimento de filtro anaeróbio obtiveram remoção média de 91%, para turbidez; 83%, para sólidos suspensos; 85%, para remoção de matéria orgânica DBO. Em relação aos microrganismos, os filtros proporcionaram densidades menores, sendo que seus efluentes variaram nas proximidades de 105 NMP/100 mL para coliformes totais e entre 104 NMP/100 mL e 105 NMP 100/mL para *E. coli*. Esses valores representam cerca de 96% de eficiência em relação a remoção dos contaminantes.

3.5.Filtro biológico aerado

Os filtros biológicos são unidades de tratamento indicados para o pós-tratamento de efluentes de unidades anaeróbias, devido a sua alta taxa de eficiência, fácil operação e baixo custo (Santos, 2018). São constituídos de tanques contendo um meio suporte, a qual a biomassa formada pelos microrganismos presentes no meio se adere, formando biofilmes. O processo de tratamento acontece através do contato do afluente com o biofilme formado, ocorrendo a eliminação do material orgânico (MENEZES, 2019).

Dentre os filtros biológicos aeróbios utilizados no tratamento de efluentes, destacam-se os filtros aerados submersos e os filtros biológicos percoladores. Nos filtros aeróbios submersos (FAS) o fluxo segue um curso ascendente, garantindo que o fluxo do afluente e dos compostos presentes no meio líquido tenham a mesma direção dentro do reator (SANTOS, 2018). O meio suporte é preenchido de material poroso, ao qual se alojam os microrganismos presentes nos biofilmes. Os tanques dos filtros aerados contam com aeradores localizados na parte inferior das unidades, garantindo a aeração do meio e promovendo o tratamento do efluente através de processos aeróbios.

As principais vantagens na utilização dos FAS é a pequena produção de lodo, possibilidade de cobertura dos tanques e alta concentração de biomassa, atribuindo um tratamento eficiente (Silva, 2016). Nos filtros biológicos percoladores o efluente é inserido pela parte superior do reator, geralmente em jatos, e segue um fluxo descendente até chegar em contato com a biomassa aeróbia, que se encontra alojada no meio suporte (Buarque, 2017).

O controle da biomassa que compõe o biofilme é feito através da velocidade de escoamento do efluente, que gera uma tensão de cisalhamento provocando o desprendimento de parte da biomassa, que é descartada junto com o efluente. A aeração nesse sistema é feita de forma natural, por convecção (Martins, 2016). Dentre as principais vantagens na utilização dos filtros biológicos percoladores, destacam-se o baixo custo para implementação, fácil sistema operacional e necessidade de pouca manutenção (Menezes, 2019). Diversos tipos de materiais são utilizados no preenchimento dos meios de suporte, dentre os mais aderidos destacam-se as britas, materiais plásticos e carvão antracito (Santos, 2018).

As unidades de filtro biológico anaeróbio se apresentam como alternativa para o pós-tratamento do efluente oriundo do tanque séptico. A fração líquida do esgoto percola através de um leito de pedras, usualmente brita 4 ou 5, podendo ser usado outro material inerte, no qual haverá o contato com culturas de microrganismos anaeróbios aderidos a esse meio suporte. O acúmulo da biomassa nos vazios e no meio suporte promove intensa atividade biológica que permite uma eficiência global de remoção da DBO na faixa de 70% a 80% no efluente do tanque séptico (JORDÃO e PESSÔA, 2017)

Os filtros biológicos aerados submersos (FAS) são conhecidos há bastante tempo, tendo utilizado como material suporte elementos de brita, coque, cerâmica, atualmente com o desenvolvimento de material suporte em plástico, onde pode haver um maior controle do índice de vazios e da relação área/volume essa alternativa tem se mostrado interessante (PAIVA, 2017).

O ar pode ser insuflado através de tubos perfurados, avaliando-se criteriosamente os orifícios e a distribuição dos mesmos no filtro ou por sistemas difusores. O crescimento dos microrganismos no meio suporte elimina a necessidade de recirculação e os conseqüentes distúrbios resultantes do bulking do mesmo. As bolhas de ar geradas no processo ao atravessarem o “leito filtrante” erodem o biofilme e desta forma impedem o processo de colmatação. A turbulência do processo assegura uma boa interação entre o substrato e o leito (PAIVA, 2017).

Gonçalves *et al.* (2000) conduziram outros trabalhos, com a associação UASB + BF, utilizando meios filtrantes minerais, com quatro formulações de brita (4,2 e 0), areia (2,5 e 1,1

mm) e cinazita (média e fina). O BF, agora dividido em quatro, operou com cargas hidráulicas de 1,2,3 m³/m² .h (secundário) e 2,4 m³ /m² .h (terciário). A eficiência de remoção de SST foi de 80% e 90% e o efluente final apresentou concentração média de 30 e 17 mg/L, respectivamente para o BF secundário e terciário. Quanto a DQO a associação foi capaz de produzir um efluente com menos de 90 mg/L. A avaliação do sistema reator UASB e filtro aerado submerso (FAS) para o tratamento de esgoto sanitário afigura-se como interessante alternativa para as condições brasileiras.

3.6.Lodo Ativado

Este sistema é utilizado em situações em que é necessária alta qualidade do efluente e disponibilidade de área limitada, estando presente em torno de 90% das ETEs de médio e grande portes nos países desenvolvidos (CAMPOS, 1994 apud MENDONÇA, 2002; VON SPERLING, 1997). No entanto, o sistema de lodos ativados é mais mecanizado do que outros sistemas de tratamento, envolvendo uma operação mais sofisticada e gerando alto consumo de energia elétrica para aeração (VON SPERLING, 1997).

O processo de lodos ativados adveio da demonstração de que a simples aeração não possibilitava o completo tratamento dos esgotos, e que era necessário provocar a atividade dos micro-organismos. Assim descobriu-se que retornando o lodo sedimentado no decantador secundário para o tanque de aeração, a atividade dos micro-organismos era garantida (IMHOFF, 1966 apud SANTOS, 2012).

O tanque de aeração, componente da etapa de lodo ativado, tem como objetivo remover os constituintes que o reator UASB não conseguiu retirar, melhorando assim a qualidade do efluente final (SALIBA, 2016).

3.7.MBBR

O sistema de MBBR consiste em uma tecnologia adaptada aos sistemas de lodos ativados com aeração prolongada, por meio da introdução de pequenas peças de plástico de baixa densidade e de grande área superficial (biomídias) no interior tanque de aeração, que atuaram como meio suporte para desenvolvimento da biomassa em suspensão e aderida, mantidos em constante circulação e mistura seja em função da introdução de ar difuso ou devido à existência

de agitadores mecanizados; não havendo a necessidade de recircular o lodo (WEF, MOP no.35, 2010; Oliveira, 2008; Rusten *et al.*, 2000; degaard *et al.* 1994).

A Tecnologia MBBR pode ser caracterizada como uma variante do processo de Lodos Ativados. Trata-se, portanto, de um processo biológico de tratamento de esgoto, aplicável para despejos domésticos e industriais. As unidades que fazem parte desse processo são:

- Tanque de aeração ou reator;
- Tanque de decantação ou decantador;
- Sistema de recirculação e de descarte do lodo.

Uma adaptação aos reatores do tipo lodo ativado vem sendo cada vez mais utilizada recentemente (JORDÃO E PESSÔA, 2011). Tanques de aeração com material suporte em seu interior (em substituição à biomassa suspensa), classificados pela NBR 12.209 (2011) como reatores biológicos com leito móvel, surgem como sistemas híbridos com características semelhantes tanto à tecnologia de lodo ativado quanto aos biofiltros aerados submersos.

Os suportes móveis, também conhecidos como biomédias ou simplesmente médias, são o coração do processo MBBR: cilindros lisos, ranhurados, com aletas internas, cubos, esferas, cerâmicas porosas, esponjas, polietileno entre outros, várias são as possibilidades, diferindo tanto no material de composição, quanto na forma, tamanho e área específica (LEVSTEK & PLAZL, 2009; QIQI *et al.*, 2012).

Várias tecnologias são classificadas atualmente como reatores biológicos com leito móvel, variando de acordo com o tipo de material suporte utilizado. Dentre essas, a mais desenvolvida é a tecnologia denominada “Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR”, com meio suporte constituído de pequenos cilindros de polietileno, com 1,0 cm de diâmetro e 0,7 cm de espessura, ranhurados, com densidade pouco menor que 1,0, com elevada superfície específica, entre 350 e 500 m²/m³ (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

Em geral, a maior aplicação da tecnologia tem como objetivo incrementar o desempenho de unidades de tratamento biológico já existentes, por meio da transformação de processos de lodos ativados em reatores MBBR ou como unidade complementar, combinada ou não a remoção físico-química (MINEGATTI, 2008).

Dessa forma, algumas vantagens do MBBR frente a outros métodos convencionais incluem a possibilidade de maior concentração de biomassa, sem sobrecarga dos decantadores, ausência de entupimento, sem necessidade de reciclo de lodo e de retrolavagem, menor requisito de área, menor perda da biomassa e operação estável e mais robusta frente a choques de carga (MARTÍN-PASCUAL *et al.*, 2012; RUSTEN *et al.*, 1995a).

3.8.Desinfecção

A gestão de recursos hídricos precisa ser estendida até o lançamento de esgotos tratados e desinfetados, pois quando lançados nos corpos d'água e/ou reutilizados, podem representar riscos à saúde pública (WANG *et al.*, 2012). A desinfecção é a inativação de microrganismos capazes de causar doenças a um nível que não seja mais significativo à saúde pública.

Efluentes domésticos, dependendo do processo de tratamento empregado, ainda possuem elevadas concentrações de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* Esses protozoários são caracterizados por apresentarem: baixa dose infectante, resistentes em ambientes desfavoráveis, eliminados em grandes concentrações por indivíduos doentes e assintomáticos (ADAM, 2001; CAREY *et al.*, 2004). Em esgoto bruto, são encontrados normalmente de 10^2 a 10^5 (oo)cistos por litro (CANTUSIO NETO *et al.*, 2006; FREGONESI *et al.*, 2012). Em efluentes após o tratamento secundário, como os lodos ativados, são reportadas concentrações acima de 10^2 (oo)cistos por litro (CASTRO-HERMIDA *et al.*, 2008; MOULIN *et al.*, 2010; FREGONESI *et al.*, 2012).

Os derivados do cloro são os desinfetantes mais utilizados no mundo para tratamento de água de abastecimento e águas residuárias. Após o processo de hidrólise, formam ácido hipocloroso (HOCl), que age, principalmente, na membrana plasmática da célula, modificando sua permeabilidade, promovendo a precipitação de proteínas, hidrólise e ruptura da célula; pode também provocar danos aos ácidos nucleicos (BITTON, 2011; WANG *et al.*, 2012).

Entre as várias técnicas e métodos de desinfecção, a cloração ainda continua sendo a mais utilizada, mesmo que estudos mostrem reações indesejáveis que acontecem com a matéria orgânica e outros compostos presentes no efluente. Estas reações acabam formando os subprodutos halogenados (trihalometanos), compostos de crescente toxicidade e menor biodegradabilidade (RIBEIRO, 2006).

Dos mais variados compostos clorados utilizados atualmente em desinfecção de esgotos domésticos, pode-se citar o uso de hipoclorito de sódio devido as suas vantagens quando comparadas aos demais. Suas vantagens incluem a capacidade de utilização sem a necessidade de armazenar grandes quantidades; custo bastante favorável em relação à maioria dos demais; não apresenta elevada formação de subprodutos; dispensa a utilização de grande espaço físico e apresenta eficiência compatível com o gás cloro (SCHERER, 2004).

O hipoclorito de sódio comercial (NaClO) é uma solução com concentrações que variam de 1 a 10%, na forma líquida e de aparência verde amarelada (CAMARGO, 2004). Seus usos são variados, a citar, branqueamento de celulose, purificação da água, fungicida, lavanderias, alvejante doméstico e obtenção de produtos químicos orgânicos (CETESB, 2013)

3.9. Padrão de lançamento de efluentes

O lançamento de efluentes domésticos não tratados em corpos hídricos é considerado um dos maiores problemas de poluição em sistemas aquáticos naturais existentes no país. Este problema é bastante comum nos municípios brasileiros, onde o tratamento de esgoto doméstico se mostra precário simplesmente inexistente. Apesar de 83,3% dos municípios brasileiros contarem com o abastecimento de água, a coleta de esgoto sanitário não atinge cerca de 50% dos municípios e apenas 42,7% destas localidades possuem algum tipo de tratamento do esgoto gerado (SNIS, 2015).

Dentre as variáveis de qualidade da água em rios e córregos naturais, o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), são consideradas as mais importantes em estudos de avaliação da poluição por lançamentos de matéria orgânica, principalmente esgotos domésticos

Ao lançar a matéria orgânica em um corpo hídrico, há aumento da atividade bacteriana aeróbia, gerando uma diminuição na quantidade de oxigênio dissolvido no meio e dificultando assim, a respiração de seres vivos de maior porte. A autodepuração dos corpos hídricos é um processo natural em que, através de mecanismos biológicos, o rio volta às suas condições iniciais depois do lançamento de um agente poluidor com alta concentração de matéria orgânica em suas águas. O processo de autodepuração em corpos d'água está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos.

Uma das etapas da avaliação do impacto que um despejo industrial causa em um corpo hídrico e da eficácia das medidas de controle é a quantificação das cargas poluidoras afluentes. Para tanto, são necessários levantamentos de campo na área em estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório e medição de vazões (VON SPERLING, 2005). Pensando na preservação dos recursos hídricos, o enquadramento é uma ferramenta essencial para a manutenção e preservação dos rios. A partir da resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, os corpos hídricos são classificados de acordo com o uso preponderante da água. A resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011, é complementar à resolução CONAMA 357 e define os parâmetros de lançamento de efluentes.

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos na resolução CONAMA 430 resguardadas outras exigências cabíveis:

I - Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
 - 1. óleos minerais: até 20 mg/L;
 - 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes; e
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

3.10. Reúso aplicáveis ao esgoto tratado

A NBR 13969 (1997) traz as classes de reúso aplicáveis ao esgoto tratado e que possivelmente será usado como reúso para fins não potáveis no meio urbano, como também os valores máximos dos parâmetros que devem ser observados para a aplicação na modalidade de reúso escolhida. A norma discorre sobre a utilização de águas servidas, as tecnologias de tratamento aplicada no processo, como também os tratamentos adicionais necessários para se obter o efluente dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 13969, como também expressa de forma resumida a utilização e aplicação do reúso, expõe a necessidade de maiores incentivos a essa prática, que reduz as cargas de poluições nos corpos receptores e diminui a demanda por água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

3.11. Experiência de aplicação de ETEs compactas no Brasil

Von Sperling (2005) cita que dentre os técnico-econômico de escolha de alternativas de estações de tratamento de esgotos estão o baixo custo de implantação; pouca dependência de energia elétrica; disponibilidade de peças e equipamentos de reposição; simplicidade operacional, de manutenção e de controle; baixos custos operacionais; adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes; baixos requisitos de área; existência de flexibilidade ao aumento de eficiência; poucas unidades integrando a estação; elevada vida útil; ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha; possibilidade de recuperação de subprodutos úteis.

Diante dos requisitos as ETEs compactas, que combinam reatores anaeróbios e aeróbios em série, os reatores anaeróbios apresentam-se como excelente alternativa para áreas urbanas de pequeno porte. Rodrigues (2006) pontua que as características favoráveis tais como o baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos conduzem esses processos anaeróbios a uma posição de destaque no Brasil, principalmente os reatores de manta de lodos tipo UASB, tanto isoladamente como primeira unidade dos sistemas combinados. Essa tendência tem sido tema de diferentes estudos tanto em escala de laboratório, quanto piloto e escala real.

Trabalho desenvolvido por Gonçalves, Araújo e Chernicharo (2015) sobre a operação de um reator UASB seguido de biofiltro aerado submerso tratando esgoto sanitário real a nível secundário

em escala de bancada obtiveram eficiência de remoção de SS, DBO5 e DQO do conjunto foram respectivamente 94%, 96% e 91%.

Freire *et al* (2020) avaliaram o desempenho de uma ETE projetada para atender uma população de 11968 habitantes e vazão média de 14,71 l/s. A tecnologia de tratamento utilizada na ETE em questão é do tipo Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) com um pós-tratamento por Filtros Submersos Aerados (FSA) e dois Decantadores Lamelares (DL). Os autores verificaram que essa ETE apresenta eficiência máxima de remoção de DQO em torno de 91,06%, em termos de valores médios, de aproximadamente 89,54%, e que a menor taxa de remoção foi de 85% garantindo um efluente tratado com elevado nível de clarificação, atingindo médias de SST = 29 mg/l, DQO = 119 mg/l, E. coli = $2,84E+03$ e pH = 7,73.

Saliba (2016) analisou o desempenho de um tratamento misto composto pelo reator UASB seguido de lodo ativado tratando esgoto sanitário, com vazão média afluyente de 514 L/s. O esgoto tratado apresentou eficiências médias globais de remoção de DBO (94%), DQO (91%), amônia (76%), sólidos sedimentáveis (95%) e em suspensão total (92%). Porém, conforme esperado, esse sistema, tal como projetado, não se mostrou eficaz para a remoção de nutrientes, fosfato (34%) e nitrogênio (38%), e coliformes (99,84%).

Pinto (2001) avaliou de um sistema de tratamento de esgoto sanitário, em escala piloto, constituído de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) seguido por um filtro biológico percolador, com volume útil de 60L. Os resultados médios de remoção de DQO e DBO nas diferentes fases operacionais variaram de 74 a 88% e de 80 a 94%, respectivamente. As médias globais de SST no efluente final foram mantidas abaixo de 40 mg/L. Satisfazendo as condições impostas pela legislação.

De acordo com Ferraz (2014), que realizou um trabalho com UASB seguido de lodos ativados com biodiscos, o estudo apresentou os resultados do seu monitoramento, através de coletas realizadas semanalmente no período de junho a dezembro de 2012. A capacidade de tratamento da ETE era de 1.620 m³/h. A ETE apresentou remoções de DBO variando entre 78,1% e 94,9 %, com média geral de 86,5%, valor este abaixo dos 90% apresentados no projeto da ETE. Os resultados mostraram que a ETE apresentou efluentes com temperaturas, pH e OD adequados, entretanto eficiências abaixo do projetado para os parâmetros DBO e SST.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Descrição das instalações de trabalho

Esta pesquisa foi desenvolvida em quatro estações de tratamento de esgotos (ETEs) compactas, com vazões distintas, sendo três tratando esgoto doméstico em condomínios residenciais privados, e uma tratando esgoto comercial de supermercado, localizadas em áreas com e sem a interferência do lençol freático, na cidade de Maceió e região metropolitana meridional, como ilustrado na Figura 4.1.



Fonte: Google Terra, 2022

As ETEs foram operadas pelas empresas responsáveis pelo monitoramento, as quais repassaram os relatórios mensalmente, durante os meses de janeiro a dezembro de 2020.

Foram selecionadas quatro ETEs compactas que utilizavam processos biológicos combinado, de tecnologia anaeróbia seguidas de diferentes alternativas de pós-tratamento. Os esgotos tratados biologicamente valem-se da capacidade dos micro-organismos promoverem a digestão dos compostos orgânicos biodegradáveis, que os transformam em subprodutos passíveis de remoção do sistema de tratamento.

Buscou-se essas ETES devido ao fato de que elas são operadas e monitoradas por empresas privadas, específicas para esse fim e devidamente licenciadas, que pudessem disponibilizar

dados secundários de monitoramento dos esgotos brutos e efluentes tratados, visto que o trabalho foi desenvolvido durante a pandemia e não foi possível a geração de dados primários.

Na Tabela 4.1 está representado um resumo das tecnologias adotadas nas estações supracitadas.

Tabela 4.1 Estações compactas de tratamento de esgoto monitorada

ETE	TIPO	CONFIGURAÇÃO
ETE 1	Mista	Reator Anaeróbio + Aeróbio (MBBR) + desinfecção
ETE 2	Mista	Reator Anaeróbio + Filtro Aerado + desinfecção
ETE 3	Mista	Reator Anaeróbio + Lodos Ativados + desinfecção
ETE 4	Mista	Reator Anaeróbio + Filtro percolador + desinfecção

Fonte: Autora, 2022.

Depois de selecionadas e mapeadas estas ETEs, foi feito um levantamento de campo para conhecer os sistemas, suas tecnologias, e seus detalhes técnicos e operacionais, bem como das características locais de sua área de atendimento, tais como área do loteamento, número de lotes, padrão habitacional, áreas de preservação e usos comunitários, etc. O levantamento de dados foi acompanhado pelo responsável pela operação das ETEs.

4.1.1. ETE 1 Reator Anaeróbio + Aeróbio (MBBR) + desinfecção

A ETE 1 trata de esgoto comercial proveniente de um supermercado de grande porte com vazão média diária de projeto de 20 m³/d (0,83 m³/h = 0,23 L/s), localizado em região sem interferência do lençol freático.

O tratamento de esgotos sanitários desse empreendimento compõe-se de pré-tratamento, tratamento secundário e tratamento terciário, assim descrito:

- Pré-tratamento constituído basicamente de gradeamento, onde acontece a remoção de sólidos grosseiros, e caixa desarenadora, onde ocorre a deposição de areia e outros materiais sólidos.
- Tratamento secundário formado por tratamento em reator anaeróbio com chicanas (RAC), e em seguida passa por um pós-tratamento formado por reator biológico de leito móvel (sistema MBBR - Moving Bed Biofilm Reactors), seguido de decantador secundário.
- Tratamento terciário é constituído por tanque de desinfecção com aplicação de Hipoclorito de sódio comercial líquido com 12% de cloro ativo.
- O efluente tratado tem como destino final o solo por meio de valas de infiltração.

A ETE 1 é construída em alvenaria, ao nível do solo, localizada nos fundos do supermercado, e funciona toda por gravidade, exceto a recirculação de lodo. A Figura 4.2 ilustra o fluxograma da ETE 1 e a Figura 4.3 apresenta uma fotografia do sistema implantado.

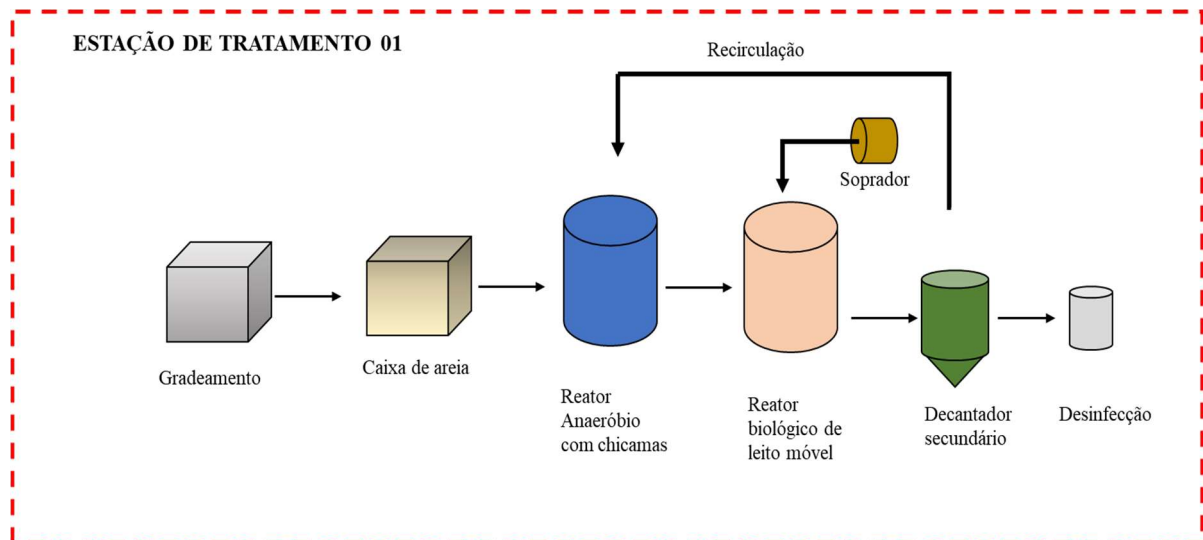


Figura 4.2 – Fluxograma de ETE 1
Fonte: Autora,2022



Figura 4.3 – Imagens fotográficas da ETE 1
Fonte: Autora,2022

4.1.2. ETE 2 – Reator anaeróbio + Filtro Aerado + desinfecção

A ETE 2 atende um residencial vertical composto por um único bloco de apartamentos, constituído por 14 pavimentos, sendo 10 pavimentos tipo, com 5 apartamentos cada, totalizando 50 unidades habitacionais de classe socioeconômica média. A vazão média diária de projeto é de 40 m³/d (1,67 m³/h = 0,46 L/s) com *per capita* de 100 L/hab.dia, localizado em região sem interferência do lençol freático.

O tratamento de esgotos sanitários desse empreendimento, também se compõe-se de pré-tratamento, tratamento secundário e tratamento terciário, assim apresentado:

- O pré-tratamento é constituído apenas de gradeamento, onde acontece a remoção de sólidos grosseiros.
- O tratamento secundário também utiliza tecnologia mista, dotado de duas linhas de tratamento em paralelo, cada uma com um reator tipo UASB seguido de correspondente a um biofiltro aerado submerso (BAS) de leito fixo constituído de aparas de eletroduto corrugado de PVC, conectado a uma câmara de decantação secundária. A ETE não dispõe de leito de secagem de lodo.
- No tratamento terciário tem-se a desinfecção com cloro por meio de aplicação de hipoclorito de sódio comercial com concentração de 12%.
- O efluente tratado é lançado na drenagem natural do terreno, no talvegue do vale existente próximo ao empreendimento.

A ETE apresenta tecnologia de tratamento é mista (aeróbia/anaeróbia) e é construída em concreto armado, funciona toda por gravidade, localizada no sub-solo do prédio, completamente enterrada sob a laje de piso da garagem, inclusive o compressor de ar, não sendo possível visualiza-la. A Figura 4.4 ilustra o fluxograma do sistema implantado.

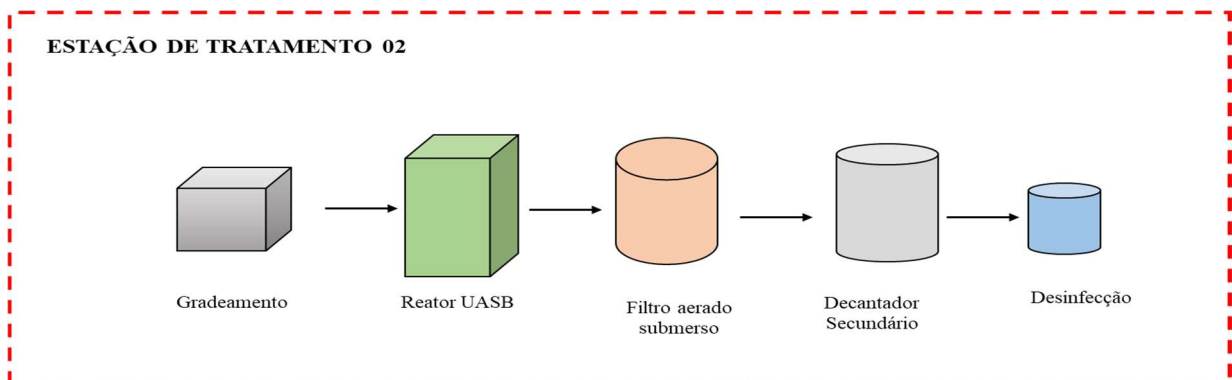


Figura 4.4 – Esquema ilustrativo ETE 2
Fonte: Autora, 2022

4.1.3. ETE 3 - Reator Anaeróbio + Lodos Ativados + desinfecção

A ETE 3 atende um residencial vertical com 108 unidades habitacionais, distribuídos em 11 pavimentos mais térreo, composto de 4 blocos, totalizando 432 unidades habitacionais de classe socioeconômica média. A população final de projeto é de 2.160 contribuintes, incluindo população flutuante. A vazão máxima horária de projeto é de 10,80 m³/h (3,0 L/s) com *per capita* de 150 L/hab.dia, localizado em região sem interferência do lençol freático.

O tratamento de esgotos sanitários desse empreendimento, também se compõe de pré-tratamento, tratamento secundário e tratamento terciário, assim descrito:

- O pré-tratamento é constituído de uma caixa de gordura os resíduos oleosos flotados associada a um gradeamento, onde acontece a remoção de sólidos grosseiros, caixa de areia, onde ocorre a deposição de sólidos sedimentáveis.
- Elevatória de poço único com bombas submersas que recalcam o esgoto pré-tratado para caixa de divisão de vazão do sistema biológico secundário.
- O tratamento secundário utiliza tecnologia mista, associando uma fase biológica primária anaeróbia, através de reatores anaeróbios tipo UASB, a fase biológica secundária através de um processo de lodos ativados. A caixa divisora de vazão encaminha o esgoto pré-tratado para as duas linhas de tratamento em paralelo, cada uma constituída por um reator aeróbio aerado por meio de compressores de ar, seguido de um decantador secundário para separar o lodo do efluente tratado. A ETE também dispõe de leito de secagem, para desidratação do lodo descartado.
- No tratamento terciário é composto de câmara o efluente segue para um tanque de desinfecção, um sistema de inativação microbiológica dos patogênicos, através da oxidação das paredes celulares pelo contato do substrato em solução de hipoclorito de sódio comercial com concentração de 12%.
- O efluente tratado é descartado na drenagem natural do terreno, um talvegue de um vale existente próximo ao empreendimento.

A ETE é toda pré-fabricada em fibra de vidro, alimentada a partir de uma elevatória, e fica ao ar livre, na área de lazer do condomínio, vizinho a quadra de esportes. Figura 4.5 ilustra o fluxograma da ETE 3 e a Figura 4.6 imagens fotográficas do sistema implantado.

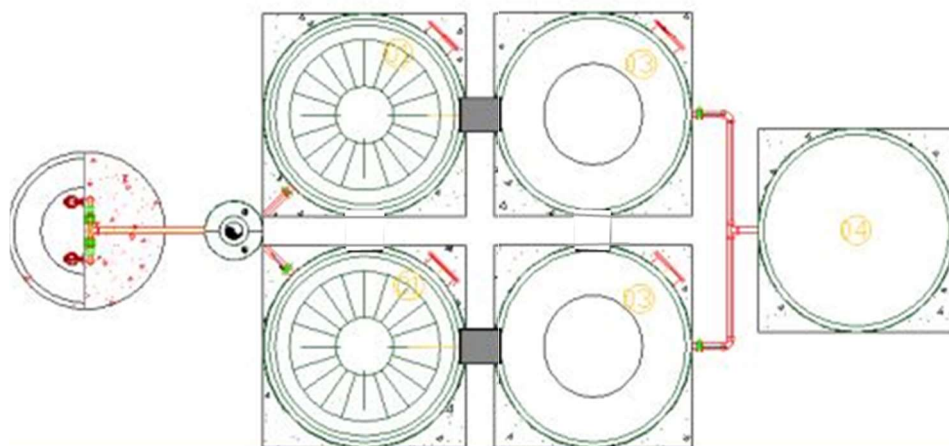


Figura 4.5 - Layout da ETE 3
Fonte: Adaptado de Fibra Técnica (2012).

Legenda: 1. Caixa de distribuição; 2. Reator UASB; 3. Lodo ativado com reator Aeróbico na parte interna e decantador no anel externo; 4. Tanque de Desinfecção.



Figura 4.6 – Disposição da ETE 3
Fonte: Autora, 2022

4.1.4. ETE 4 - Reator Anaeróbio + Filtro percolador + desinfecção

A ETE 4 atende um residencial horizontal composto por 285 unidades residenciais de padrão alto, quadras de vôlei e tênis, campo de futebol, pista de Cooper, guaritas, centro comercial, centro comunitário com piscina. Foi projetado para atender uma total (residentes e flutuante) de 1996 habitantes e vazão média diária 13,3 m³/h (3,7 L/s), com *per capita* de 200 L/hab.dia. É a maior, entre as 4 ETEs estudadas, e está localizado em região com lençol freático alto.

O tratamento de esgotos sanitários desse empreendimento, também se compõe-se de pré-tratamento, tratamento secundário e tratamento terciário, assim discriminado:

- O pré-tratamento foi projetado com um gradeamento fino, onde acontece a remoção de sólidos grosseiros, caixa de areia onde ocorre a deposição de sólidos sedimentáveis e um medidor de vazão.
- Elevatória de poço úmido e seco onde ficam bombas centrifugas que recalcam o esgoto pré-tratado para a caixa de divisão de vazão do sistema biológico de tratamento secundário.
- O tratamento secundário utiliza tecnologia mista dotada de caixa de distribuição de vazão para três linhas de tratamento em paralelo, cada uma com um reator tipo UASB seguido de filtro biológico percolador aeróbio/anaeróbio com meio suporte fixo constituído de aparas de eletroduto de PVC corrugado. A ETE também dispõe de leito de secagem, para desidratação do lodo descartado.
- No tratamento terciário tem-se a uma câmara de contato em concreto armado, onde ocorre a desinfecção com cloro por meio de aplicação de hipoclorito de sódio comercial com concentração de 12%.
- O efluente tratado tem como destino final o reúso para fins não potáveis em uso urbano irrestrito (irrigação paisagística e outros usos), e quando ocorre excedente o mesmo é descartado no corpo hídrico próximo ao empreendimento.

A ETE tem o modulo de tratamento biológico pré-fabricado em fibra de vidro e as demais unidades em alvenaria e/ou concreto armado, é alimentada a partir de uma elevatória de esgotos, e fica ao ar livre, na área de serviços, do empreendimento. A Figura 4.7 ilustra o fluxograma da ETE 4 e a Figura 4.8 apresenta imagens fotográficas do sistema implantado.

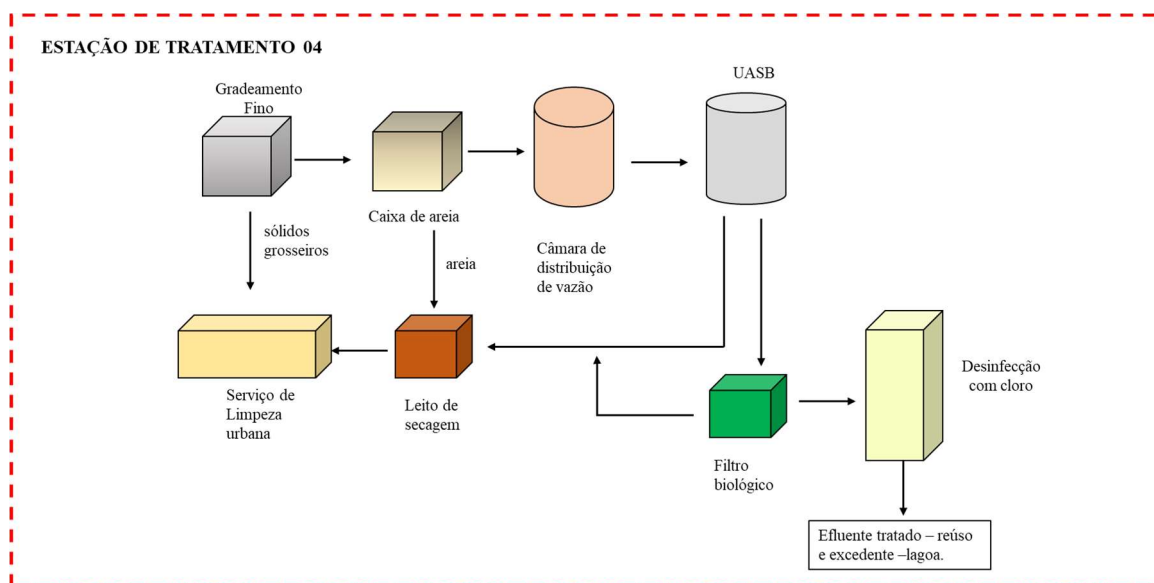


Figura 4.7 - Esquema ilustrativo ETE 4
Fonte: Autora,2022



Figura 4.8 – Disposição da ETE 4
Fonte: Autora,2022.

4.2. Avaliação do desempenho das ETEs

Para avaliar o desempenho das ETEs foi feita a caracterização do afluente e efluente das ETEs utilizando-se dados secundários fornecidos pelas empresas responsáveis pela operação e monitoramento das mesmas, levantados no período de janeiro a dezembro de 2020.

● Parâmetros e frequência de monitoramento

Foi realizada a coleta de dados envolvendo os parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Sedimentáveis, Turbidez, pH, Temperatura, Cloro residual livre, Coliformes termotolerantes. Essas análises foram realizadas em laboratório terceirizado, com frequência de análise e os respectivos métodos de determinação apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Parâmetros analisados, métodos e frequências de análises		
PARÂMETRO	MÉTODO	FREQUÊNCIA
Temperatura °C	SMEWW 2550. B	Mensal
Sólidos sedimentáveis (mg /L)	SMEWW 2540. F	Mensal
Turbidez (UNT)	Espectrofotométrico	Mensal
pH	SMEWW 4500-H+ B	Mensal
DBO _{5,20} (mg /L)	SMEWW 5210 C	Mensal
Cloro residual livre (mg/L)	COLORÍMETRO	Mensal
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Membrana Filtrante	Mensal

Fonte: Autora, 2022

● Avaliação dos dados de monitoramento

Os dados das ETEs foram organizados no programa Microsoft Office Excel versão 2019 e avaliados aplicando uma estatística descritiva básica, envolvendo o valor médio e o desvio padrão.

O cálculo das eficiências das ETEs foi feito em termos de remoção de matéria orgânica (medida em termos de DBO) e coliformes. A eficiência foi avaliada tanto mensalmente quanto pela média geral do período monitorado, cujos resultados foram comparados entre si e com dados da literatura.

Além disso, foi verificado o atendimento à Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) que dispõe sobre o lançamento de efluentes tratados em corpos d'água receptores.

Os parâmetros exigidos pela resolução são: pH, temperatura, materiais sedimentáveis, DBO, óleos e graxas e materiais flutuantes. A Tabela 4.3 mostra os limites estabelecidos pela Resolução

430 do CONAMA (BRASIL, 2011) para condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Tabela 4.3 – Padrões de lançamento para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários

PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS		
Temperatura	Materiais sedimentáveis	Materiais flutuantes	pH	DBO	Óleos e graxas
< 40°C	≤ 1 mL/L	Ausentes	Entre 5 e 9	≤ 120 mg/L*	≤ 100 mg/L

*: Admitida concentração superior a 120 mg/L desde que a eficiência de remoção seja no mínimo 60%.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2011).

A eficiência das ETEs, de remoção da carga orgânica, sólidos e coliformes termotolerantes, foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$E = 100 \times (C_e - C_s) / C_e \dots\dots\dots \text{equação 4.1}$$

Em que:

E: Eficiência de remoção (%);

C_e: Concentração na entrada (mg/L ou NMP/100mL);

C_s: Concentração na saída (mg/L ou NMP/100mL).

4.3. Levantamento operacional das ETEs

Para o levantamento operacional das ETEs foram coletadas informações durante a realização das visitas técnicas, quando foram entrevistados os operadores das ETEs, e foi observado o estado de conservação das unidades de tratamento e dos equipamentos nas ETEs, a forma de controle dos processos de tratamento dos esgotos, etc. Além disso, foi feita entrevista com os responsáveis pelas empresas que operam as ETEs. As informações obtidas foram comparadas com as formas operacionais relatadas na literatura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Operação das ETEs

Para que uma ETE atinja as eficiências adequadas ao seu nível de tratamento, faz-se necessário que, além do projeto e instalações serem desenvolvidos corretamente, a operação, a manutenção minuciosa dos equipamentos e o monitoramento do sistema, devem acontecer buscando-se o funcionamento correto de todas as unidades que a compõem. Isso se aplica a todo e qualquer tipo de sistema, independentemente da tecnologia adotada no tratamento do afluente. O mau funcionamento de um dos componentes da ETE prejudica todo o sistema e, como consequência, ocasiona o não cumprimento da legislação em vigor no País.

Neste trabalho foram avaliados 4 sistemas descentralizados, para 4 tipos de empreendimentos distintos, e cada operação unitária das ETEs demandam operação e manutenção distintas. A Tabela 5.1 apresenta a síntese das estações de tratamento estudadas e suas unidades de operação unitária.

Tabela 5.1 – Síntese das características das ETEs estudadas e suas unidades de operação unitária.

	Tipo de empreend.	Vazão (m ³ /d)	Pré-tratamento	Tratamento anaeróbio	Pós tratamento	Desinfecção	Corpo Receptor
ETE 1	Comercial	20	Gradeamento+ cx de areia + cx de gordura	Reator anaeróbio de chicanas	MBBR	hipoclorito de sódio	Valas de infiltração
ETE 2	Residencial	40	Gradeamento	UASB	Lodos Ativados	hipoclorito de sódio	Talvegue
ETE 3	Residencial	259,2	Cx de gordura + Gradeam.+ cx de areia	UASB	Filtro Aerado	hipoclorito de sódio	Talvegue
ETE4	Residencial	319,2	Gradeamento+ cx de areia	UASB	Filtro Percolador	hipoclorito de sódio	Reúso + Corpo hídrico

Fonte: Autora, 2022

Pela Tabela 5.1 verifica-se que todas são duas estações de pequeno porte com vazão de 20 m³/dia e 40 m³/dia e duas de médio porte com 259,2 m³/dia e 319,2 m³/dia. Três ETEs utilizam reatores anaeróbios tipo UASB e apenas uma, reator anaeróbio de chicanas. As tecnologias de pós-tratamento são distintas para as 4 ETEs, sendo que três usam insufladores mecânicos de ar e apenas 1 utiliza aeração natural (ETE 4) num processo aeróbio/anóxico. Quanto ao destino final dos efluentes, a ETE 1 infiltra o efluente tratado no solo, as ETEs 2 e 3 descartam o efluente tratado em talvegue de vales e apenas a ETE 4 faz reúso.

5.1.1. ETE 1 - Reator Anaeróbio + Aeróbio (MBBR) + desinfecção

O controle de estações de tratamento de efluentes está diretamente ligado à sua operação e manutenção, sendo extremamente importante para garantir a qualidade dos efluentes tratados. Nesta linha a Tabela 5.2 apresenta as atividades operacionais mínimas necessárias e realizadas para cada unidade que compõe a ETE 1, uma ETE compacta de pequeno porte (20 m³/dia).

Tabela 5.2 Atividades operacionais da ETE 1

UNIDADE	ATIVIDADES	FREQUÊNCIA REQUERIDA	FREQUÊNCIA REALIZADA
Gradeamento	Retirar sólidos grosseiros retidos na grade, acondicionar e destinar o material retirado para aterro sanitário;	Diária	Diária
Caixa de areia	Fazer a retirada da areia depositada no fundo	Semanal	Semanal
	Depositar e destinar o material retirado para aterro sanitário;		
Caixa de Gordura	Retirada do material flotado	A cada 3 horas	Diária
	Encaminhamento do material para um aterro sanitário devidamente licenciado;	Diária	
Reator Anaeróbio de Chicanas (RAC)	Inspecionar os tubos de alimentação do reator, desentupindo-os a fim de garantir a distribuição uniforme do esgoto;	Semanalmente	Sempre que necessário
	Limpar calha de recolhimento e vertedouros;	Semanalmente	Sempre que necessário
	Remover a espuma formada na superfície do reator, encaminhando-a para o aterro sanitário.	Sempre que se formar espuma	Sempre que necessário
	Retirar o excesso de lodo destinando-o ao aterro sanitário	Quando necessário.	
	Observar a ocorrência de infiltrações na estrutura do reator e repará-las;	Diariamente	Sempre que necessário
MBBR (Tanque de reação + soprador de ar)	Verificar se há lodo em excesso e proceder às descargas, com descarte para o aterro sanitário ou retorno ao RAC para digestão.	Quando necessário	Sempre que necessário
	Verificar a necessidade de recircular o efluente para desnitrificar.	Semanal	Não informado
	Verificar o nível de óleo no conjunto soprador	Semanal	Não informado
Decantador secundário	Vistoriar para verificar se a sedimentação está ocorrendo normalmente e se o líquido sobrenadante sai clarificado, sem arraste de lodo.	diário	Sempre que necessário
	Realizar limpeza das paredes e das calhas com jatos de água, visando remover incrustações	Quando necessário	
	Realizar o descarte de lodo em excesso e/ou retorno de lodo ao processo (RAC).	Periódico	Sempre que necessário
Tanque de contato	Verificar o nível do produto químico na bombona e ajustar a dosagem (hipoclorito de sódio a 12%)	Diária	Diária
	Trocar do kit de reparo da bomba dosadora	Semestral	Não informado

Fonte: Autor, 2022 (adaptado de Jordão e Pessoa, 2017)

Esta ETE funciona por gravidade recebendo os esgotos com variação de vazão ao longo do dia e sem nenhum dispositivo de medição de vazão, o que impede de aferir se ela está de fato operando com as cargas orgânicas e hidráulica de projeto.

No RAC o descarte de lodo em excesso é feito por caminhão limpa fossas sempre que se percebe, visualmente, que há acúmulo de lodo em excesso.

O tanque de aeração com leito móvel (MBBR) com meio suporte em aparas de eletroduto corrugado em PVC, embora projetado para funcionar aerando 24 h, sofre interrupções do soprador de ar. Por sua vez na casa de máquinas, apesar de ter sido previsto 2 sopradores de ar, com uso alternado, existe apenas um equipamento instalado. O lodo em excesso do decantador secundário, é retornado para o RAC para ser digerido.

No tanque de contato é aplicado hipoclorito de sódio comercial sem diluição (12% de cloro livre), por meio de uma bomba dosadora, mas como não existe medição de vazão e dosagem aplicada não é aferida, o cálculo é feito tendo como base a vazão de projeto (40 m³/dia). Mas não foi informada a dosagem aplicada.

Durante a visita técnica a ETE, a equipe que faz a operação do sistema aponta essa ETE como sendo a de mais fácil operação, pois não possui recirculação de lodo para a câmara de aeração e o MBBR consegue conter o arraste de lodo. As Figuras 5.1 a 5.4 ilustram as unidades da ETE 1.



Figura 5.1 Canal de chegada com grade e reator anaeróbio de chicanas.
Fonte: autora (2022)



Figura 5.2. Tanque de aeração com MBBR.



Figura 5.3. Decantador secundário, câmara de contato, soprador de ar e bomba dosadora.



Figura 5.4. Vista geral da ETE 1
Fonte: a autora (2022)

5.1.2. ETE 2 - Reator Anaeróbio + Filtro Aerado + desinfecção

Esta é uma ETE compacta de pequeno porte (40 m³/dia) totalmente enterrada, o que, segundo os operadores, dificulta muito a manutenção, pois a visualização das unidades é difícil, assim como também o acesso aos equipamentos. A Tabela 5.3 apresenta as atividades operacionais mínimas necessárias, e as realizadas para cada unidade que compõe a ETE 2.

Tabela 5.3 Atividades operacionais da ETE 2.

UNIDADE	ATIVIDADES	FREQUÊNCIA REQUERIDA	FREQUÊNCIA REALIZADA
Gradeamento	Retirar sólidos grosseiros retidos na grade, acondicionar e destinar o material retirado para aterro sanitário;	Diária	Diária
Reator UASB	Limpar a calha de coleta de esgoto tratado	Semanal	Sempre que necessário
	Remover a espuma formada na superfície do reator.	2 X /semana ou quando necessário.	Sempre que necessário
	Verificar as condições de passagem das tubulações de distribuição de esgoto e de coleta de biogás, para que permaneçam desobstruídas.	Diária	Sempre que necessário
	Verificar a altura da manta de lodo no reator	semanal	Sempre que necessário
	realizar descarga de lodo excedente, depois que a manta de lodo atingir o nível máximo	semanal	
Filtro submerso aerado	Verificar se há formação atípica de espuma no tanque e se há flutuação de lodo. A depender da cor da espuma deve-se tomar as providências constantes no manual de operação.	Quando necessário	Sempre que necessário
	Verificar o nível de óleo no conjunto soprador	Semanal	Não informado
Tanque de contato	Verificar o nível do produto químico na bombona e ajustar a dosagem (hipoclorito de sódio a 12%)	Diária	Diariamente
	Trocar do kit de reparo da bomba dosadora	Semestral	Não informado

Fonte: Autor, 2022 (adaptado de Jordão e Pessoa, 2017)

Esta ETE também funciona por gravidade recebendo os esgotos com variação de vazão ao longo do dia e sem dispositivo de medição de vazão, o que impede de aferir os parâmetros operacionais projeto. O ambiente onde a ETE está instalada é confinado e não se verifica dispositivos de exaustão de gases.

O tanque de aeração de leito fixo, com meio suporte de aparas de eletrodutos corrugados de PVC, também sofre interrupções de aeração devido a problemas do soprador de ar. O lodo em excesso do reator UASB e do decantador secundário, é retirado por caminhão limpa fossas sempre que se percebe que há acúmulo de lodo.

Para desinfecção é aplicado, no tanque de contato, hipoclorito de sódio comercial (12% de cloro livre) sem diluição, por meio de uma bomba dosadora. Mas não foi informada a dosagem aplicada.

5.1.3. ETE 3 - Reator Anaeróbio + Lodos Ativados + desinfecção

Esta é uma ETE compacta de médio porte (259,2 m³/dia), composta por digestores anaeróbios de fluxo ascendente associados a lodos ativados com posterior desinfecção do efluente final por cloração. Segue na tabela 5.4 o resumo das atividades de operação.

Tabela 5.4. Atividades operacionais da ETE 3.

UNIDADE	ATIVIDADES	FREQUÊNCIA REQUERIDA	FREQUÊNCIA REALIZADA
Caixa de Gordura	Retirada do material flotado	A cada 3 horas	Diária
	Encaminhamento do material para um aterro sanitário devidamente licenciado;	Diária	
Gradeamento	Retirar sólidos grosseiros retidos na grade, acondicionar e destinar o material retirado para aterro sanitário;	Diária	Diária
Caixa de areia	Fazer a retirada da areia depositada no fundo;	Semanal	Semanal
	Depositar e destinar o material retirado para aterro sanitário;		
Elevatória	Observar vibração e ruídos	Diário	Diário
	Limpeza das bombas	Semanal	Não informado
Reator UASB	Limpar os vertedores e calha de coleta de esgoto tratado	Semanal	Sempre que necessário
	Remover a espuma formada na superfície do reator.	2 X /semana ou quando necessário.	Sempre que necessário
	Verificar as condições de passagem das tubulações de distribuição de esgoto e de coleta de biogás, para que permaneçam desobstruídas.	Diária	Sempre que necessário
	Verificar a altura da manta de lodo no reator	semanal	Sempre que necessário
	realizar descarga de lodo excedente, depois que a manta de lodo atingir o nível máximo	semanal	
	Verificar o nível da água do selo hídrico e completar com água alcalina	quinzenal	Não informado
Lodos Ativados (Reator aeróbio + sopradores)	Verificar se há formação atípica de espuma no tanque e se há flutuação de lodo. A depender da cor da espuma deve-se tomar as providências constantes no manual de operação.	Quando necessário	Sempre que necessário
	Verificar o nível de óleo no conjunto soprador	Semanal	Não informado
Decantador	Vistoriar para verificar se a sedimentação está ocorrendo normalmente e se o líquido sobrenadante sai clarificado, sem arraste de lodo.	diário	Sempre que necessário
	Realizar limpeza das paredes e das calhas com jatos de água, visando remover incrustações	Quando necessário	
	Descarte de lodo e/ou retorno de lodo ao processo, para manter a idade do lodo e concentração de SV no tanque de aeração.	Frequente	Não informado
Tanque de contato	Verificar o nível do produto químico na bombona e ajustar a dosagem (hipoclorito de sódio a 12%)	Diária	Diariamente
	Trocar do kit de reparo da bomba dosadora	Semestral	Não informado

Fonte: Autora, 2022 (adaptado de Jordão e Pessoa, 2017)

Esta ETE é alimentada pela linha de recalque do esgoto pré-tratado, e funciona por pulsos, com a vazão de bombeamento, toda vez que o nível da água no poço de sucção atinge o nível máximo, e cessa a vazão quando o nível da água atinge o nível mínimo e as bombas desligam. Mas, também não dispõe de medidor de vazão. Seria interessante instalar medidor de nível no poço de sucção para medir os volumes bombeados e horímetro para quantificar e do tempo de funcionamento da bomba, para estimar a variação de vazão da ETE.

Os reatores UASB não dispõem de selo hídrico para manter o nível da água no separador de fases do reator e o descarte de lodo em excesso é feito por caminhão limpa fossas sempre que se percebe que a manta de lodo atingiu o nível máximo.

O sistema de lodo ativado tem uma configuração diferenciada, o tanque de reação aerado, com biomassa suspensa, fica no centro do reator e o decantador secundário fica no anel externo que contorna o tanque de aeração. O tanque de reação recebe aeração a partir de dois sopradores de ar, um em uso e outro reserva com uso alternado, localizados em um container metálico. No entanto, a aferição da concentração de oxigênio dissolvido e a verificação da formação de espuma e da cor do lodo desenvolvido fica difícil de ser observada devido a essa configuração física e ao fato do reator ser completamente “tampado” na parte superior, o que torna a operação e monitoramento do sistema mais difícil, inclusive no que diz respeito a recirculação do lodo decantado para o tanque de reação.

A ETE dispõe de leito de secagem, mas sem uso, pois o lodo em excesso, tanto do UASB quanto do lodo ativado, é coletado por caminhão limpa fossas, pois assim evita os odores exalados pelo lodo, visto que essa ETE fica vizinho a quadra de esportes do condomínio. Depois de tratado biologicamente, o efluente vai para o tanque de contato onde recebe aplicação de hipoclorito de sódio comercial sem diluição (12% de cloro livre), por meio de uma bomba dosadora, mas como não existe medição de vazão e dosagem aplicada não é aferida, o cálculo é feito tendo como base a vazão de projeto. Mas, também, não foi informada a dosagem de hipoclorito aplicada.

Segundo os operadores, esta é dentre as ETEs por eles operadas a de maior dificuldade operacional (Reator Anaeróbio + Lodos Ativados + desinfecção), pois além de ser composta por 2 sistemas individuais de tratamento em paralelo, o tanque de aeração e o decantador compartilham um tanque único, o que dificulta a operação, impedindo que haja uma avaliação eficiente dos parâmetros de melhor performance do equipamento. As Figuras 5.5 a 5.7 ilustram as unidades da ETE 3.



Figura 5.5 Canal de chegada com grade e elevatória de esgoto pré-tratado.
Fonte: a autora (2022)

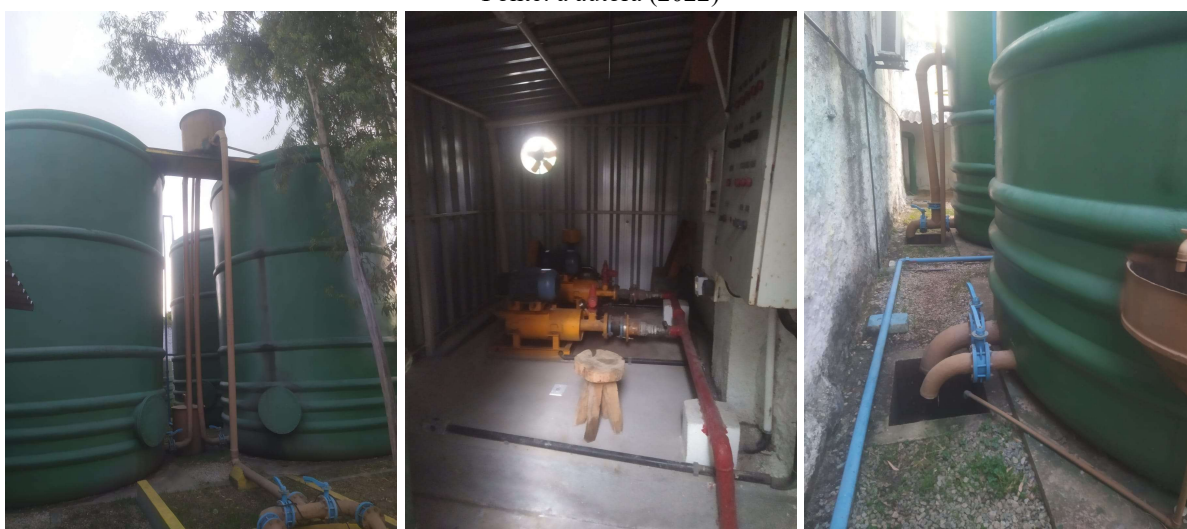


Figura 5.6 Reatores UASB e caixa divisora de vazão, compressores, e pontos de escarte de lodo.
Fonte: a autora (2022)



Figura 5.7. Tanque de lodo ativado, bomba dosadora e tanque de contato.
Fonte: a autora (2022)

5.1.4. ETE 4 - Reator Anaeróbio + Filtro percolador + desinfecção

Esta é uma ETE compacta de médio porte (319,2 m³/dia), composta por digestores anaeróbios de fluxo ascendente associados a filtros percoladores aeróbio/anóxico com posterior desinfecção do efluente final por cloração e reúso na irrigação. Segue na Tabela 5.5 o resumo das atividades de operação de cada unidade que a compõe.

Tabela 5.5. Atividades operacionais da ETE 4.

UNIDADE	ATIVIDADES	FREQUÊNCIA REQUERIDA	FREQUÊNCIA REALIZADA
Gradeamento	Retirar sólidos grosseiros retidos na grade, acondicionar e destinar o material retirado para aterro sanitário;	Diária	Periódico
Caixa de areia	Fazer a retirada da areia depositada no fundo;	Semanal	Semanal
	Depositar e destinar o material retirado para aterro sanitário;		
Elevatória	Observar vibração e ruídos	Diário	Diário
	Limpeza das bombas	Semanal	Periódico
Reator UASB	Limpar os vertedores e calha de coleta de esgoto tratado	Semanal	Sempre que necessário
	Remover a espuma formada na superfície do reator.	2 X /semana ou quando necessário.	Sempre que necessário
	Verificar as condições de passagem das tubulações de distribuição de esgoto e de coleta de biogás, para que permaneçam desobstruídas.	Diária	Sempre que necessário
	Verificar a altura da manta de lodo no reator	semanal	Sempre que necessário
	Realizar descarga de lodo excedente, depois que a manta de lodo atingir o nível máximo, destinando o lodo para o leito de secagem.	semanal	
Filtro percolador	Verificar se há acúmulo de água sobre o meio filtrante.	Semanal	Semanal
	Limpar o sistema distribuidor de vazão	Semanal	Sempre que necessário
	Fazer a retrolavagem para limpeza do meio filtrante, destinando o lodo para o leito de secagem.	Mensal	Não informado
Tanque de contato	Verificar o nível do produto químico na bombona e ajustar a dosagem (hipoclorito de sódio a 12%)	Diária	Diariamente
	Trocar do kit de reparo da bomba dosadora	Semestral	Não informado
Leito de secagem	Verificar se o lodo está seco	Semanal	Semanal
	Alcalinizar o lodo seco com cal, e destinar para reúso ou destina-lo para aterro sanitário.	Periódico	Sempre que necessário

Fonte: Autor, 2022 (adaptado de Jordão e Pessoa, 2017)

A ETE 4 também é alimentada pela linha de recalque do esgoto pré-tratado, e funciona por pulsos, com a vazão de bombeamento, toda vez que o nível da água no poço de sucção

atinge o nível máximo, e cessa a vazão quando o nível da água atinge o nível mínimo e as bombas desligam. Também não dispõe de medidor de vazão, mas está sendo instalado medidor de nível no canal de chegada do esgoto e vertedor triangular para medição de vazão na ETE.

A ETE dispõe de 3 módulos de tratamento em paralelo, composto de reator anaeróbio tipo UASB seguido de filtro percolador aeróbio/anoxico, com aeração natural. Nos reatores UASB o descarte de lodo em excesso é feito por descarga de fundo sempre que a manta de lodo ultrapassa o nível máximo, e o lodo é destinado ao leito de secagem.

Os filtros percoladores possuem distribuição uniforme do efluente na superfície por meio de calhas vertedoras, em queda livre, uniformemente distribuição na superfície aberta para receber aeração natural. O meio suporte dos filtros também é composto por aparas de eletrodutos corrugados em PVC, onde a camada superior funciona como filtro percolador aeróbio com aeração natural e a camada inferior submersa formando um ambiente anóxico/anaeróbio. O lodo retido no meio suporte foi projetado para ser periodicamente removido por lavagens em contra corrente para desprendimento do lodo excesso e descarte em leito de secagem. Porém o sistema de lavagem não foi implantado e o filtro precisa ser lavado manualmente sempre que ocorre obstrução do meio filtrante, o que ocorre com frequência anual, sendo o lodo destinado ao leito de secagem.

O lodo disposto no leito de secagem drena o percolado para o poço de sucção da elevatória de esgoto bruto e o lodo desidratado é alcalinizado e reutilizado na área da ETE ou enviado ao aterro sanitário.

Depois de tratado biologicamente, o efluente vai para o tanque de contato onde recebe aplicação de hipoclorito de sódio comercial sem diluição (12% de cloro livre), por meio de uma bomba dosadora, mas como não existe medição de vazão o cálculo dosagem é feito tendo como base a vazão de projeto de forma que resulte cloro residual de 1 mg/L buscando manter os coliformes fecais dentro dos padrões requeridos para reúso. Também, não foi informada a dosagem de hipoclorito aplicada.

Segundo os operadores, esta ETE é de fácil operação, tendo como maior dificuldade a lavagem manual periódica dos filtros percoladores (visto que o sistema de retrolavagem por bombeamento não foi implantado) e o ajuste da dosagem de cloro para atender aos padrões de reúso a que o efluente tratado se destina, pois não há medição de vazão.

As Figuras 5.8 a 5.10 ilustram as unidades da ETE 4.



Figura 5.8. Bombas da elevatória e caixa de divisão de vazão e reatores UASB.
Fonte: a autora (2022)



Figura 5.9. Selo hidráulico do UASB, canal de descarga de lodo e distribuição de vazão no filtro percolador.
Fonte: a autora (2022)



Figura 5.10. Tanque de contato, bomba dosadora e ETE com leito de secagem.
Fonte: a autora (2022)

5.2. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico

O objetivo de tratar efluentes em uma ETE é poder descartá-los sem riscos ambientais em corpos d'água, como rios, ou reutilizá-los para fins não potáveis. Para garantir que uma ETE está alcançando os seus objetivos é necessário o monitoramento, no mínimo, monitorar se os efluentes atendem aos padrões de lançamento ou reúso. As Tabelas 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 apresentam os valores médios e o desvio padrão dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, durante o período analisado, para as ETEs estudadas, os valores que estão ausentes não foram disponibilizados pela empresa responsável.

Tabela 5.6. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 1

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO		ESGOTO TRATADO		CONAMA 430/2011
	Média	DP	Média	DP	
Temperatura °C	-	-	31,3	±0,76	Máx. 40 °C
Sól. Sediment., mL/L	-	-	<1	0	Máx. 1
Turbidez, NTU	-	-	-	-	S/E
pH	-	-	7,42	±0,25	5,0 - 9,0
DBO, mg/L	989,39	432,51	118,24	±97,98	120
Cloro residual livre, mg/L	-	-	-	-	S/E
Termotolerantes, NMP/100mL	-	-	-	-	Máx. 1000

Fonte: Autora, 2022

Tabela 5.7 Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 2

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO		ESGOTO TRATADO		CONAMA 430/2011
	Média	DP	Média	DP	
Temperatura, °C	-	-	31,3	±1,39	Máx. 40 °C
Sól. Sedimentáveis, mL/L	-	-	<1	0	Máx. 1
Turbidez, NTU	-	-	61,5	±51	S/E
pH			7,05	±0,31	5,0 - 9,0
DBO, mg/L	745,83	418,1	63,78	±35,65	120
Cloro residual livre, mg/L	-	-	7,8	±2,6	S/E
Termotolerantes, NMP/100mL	-	-	352	±334	Máx. 1.000

Fonte: Autora, 2022

Tabela 5.8. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 3

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO		ESGOTO TRATADO		CONAMA 430/2011
	Média	DP	Média	DP	
Temperatura, °C	-	-	31	±0,57	Máx. 40 °C
Sól. Sedimentáveis, mL/L	-	-	<1	0	Máx. 1
Turbidez, NTU	-	-	102,13	±67,72	S/E
pH	-	-	7,18	±0,32	5,0 - 9,0
DBO, mg/L	700,00		92,02	±77,76	120
Cloro residual livre, mg/L	-		6,93	±2,98	S/E
Termotolerantes, NMP/100mL	-		194	±237	Máx. 1.000

Fonte: Autora, 2022

Tabela 5.9. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos para a ETE 4

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO		ESGOTO TRATADO		CONAMA 430/2011
	Média	DP	Média	DP	
Temperatura °C	30,1	±2,58	30,4	±2,2	Máx. 40 °C
Sól. Sedimentáveis, mL/L	1,2	±0,79	<1	±0,01	Máx. 1
Turbidez, NTU	136	±95,17	47,8	±29,5	S/E
pH	7,1	±0,41	6,9	±0,3	5,0 - 9,0
DQO, mg/L	688,3	±411,5	133,3	±53,1	-
DBO, mg/L	251,3	±129,2	31,0	±19,5	120
Cloro residual livre, (mg/L)	0	0	0,30	±0,29	S/E
Termotolerantes. NMP/100mL	>160.000	-	59.333	±61.303	Máx. 1.000

Fonte: Autora, 2022

No entanto, o monitoramento da eficiência de um sistema de tratamento deve envolver análises físico-químicas e bacteriológicas que possam avaliar não só o atendimento da qualidade do efluente tratado (na saída das ETEs) aos padrões de lançamento da CONAMA 430/2011, mas também que possam avaliar e diagnosticar os processos envolvidos em cada

unidade que compõe o sistema de tratamento (entrada e saída de cada unidade), para que seja possível a identificação de possíveis problemas antes do resultado final do tratamento.

Pelos dados apresentados nas Tabelas 5.5 a 5.7 verifica-se que o monitoramento das ETEs em estudo é feito basicamente para verificação dos atendimentos aos padrões de lançamento, com análises apenas do efluente tratado, e análise do esgoto bruto, apenas de DBO para cumprir a exigência da eficiência de remoção de matéria orgânica da ETE, com exceção da ETE4 que avalia a qualidade do esgoto bruto e tratado.

Assim, com os dados de monitoramento disponíveis para cada ETE, foi possível verificar o atendimento a algumas condições exigidas pela legislação vigente. Mas destaca-se que para uma caracterização de esgoto adequada e obtenção de um valor realista de eficiência de remoção de cargas poluidoras das ETEs, é necessário que haja um monitoramento periódico não só por amostras simples, mas também com amostras compostas, já que a concentração de poluentes varia ao longo das horas, dos dias, dos meses e anos.

A amostragem simples é uma coleta em um determinado horário do dia. Ela funciona para se ter uma noção da característica do efluente em certo momento ou picos em determinados horários ao longo do dia que podem ocorrer no tratamento de esgoto. Já a amostragem composta é uma coleta em diferentes intervalos de tempo do dia (podendo ser de uma em uma hora, de seis em seis horas, entre outros intervalos). As amostragens compostas possibilitam uma visão mais ampla do desempenho do tratamento do esgoto, porém demanda maior dedicação para que sejam realizadas adequadamente (INCT, 2022).

5.2.1. Parâmetros físicos

Para as ETEs em estudo os parâmetros físicos que fazem parte da rotina de monitoramento resumem-se a temperatura, sólidos sedimentáveis e turbidez do efluente tratado.

● Temperatura

Compreende-se que a temperatura influencia diretamente na conversão da matéria orgânica presente no esgoto. Os gráficos da Figura 5.11. apresentam a variação de temperatura ao longo do ano de 2020 para as 4 ETEs estudadas, e o intervalo (máximo e mínimo) da faixa mesofílica.

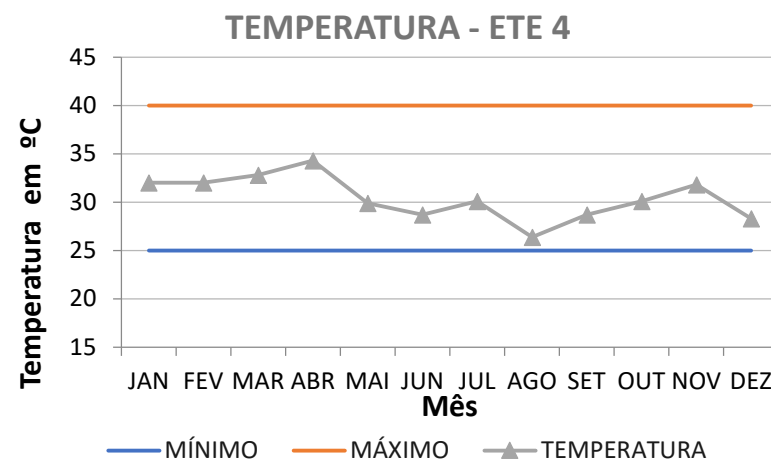
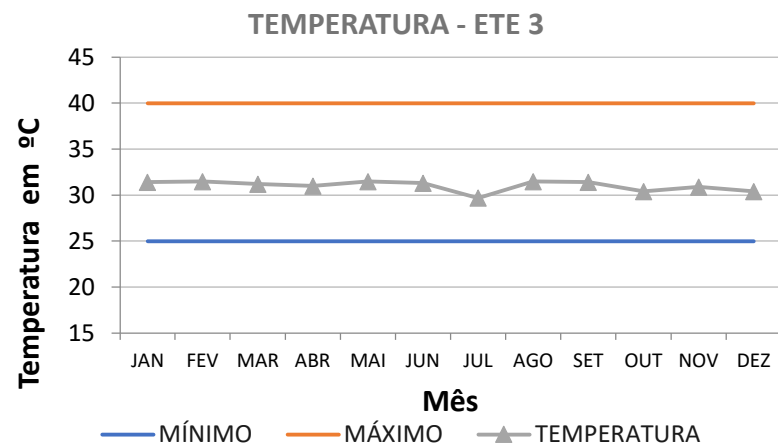
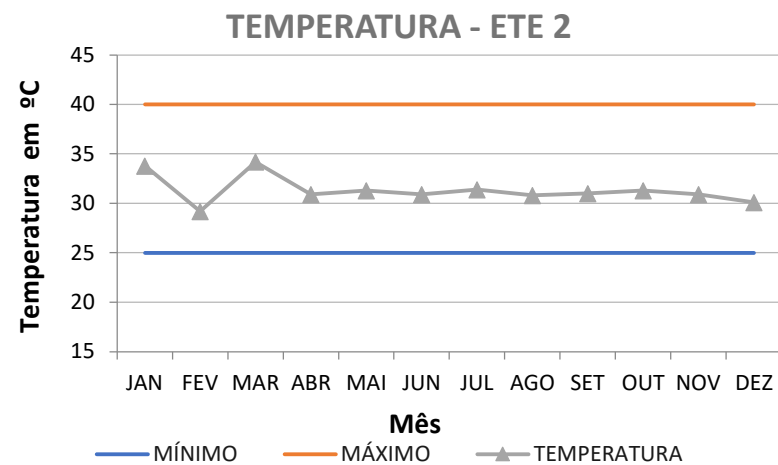
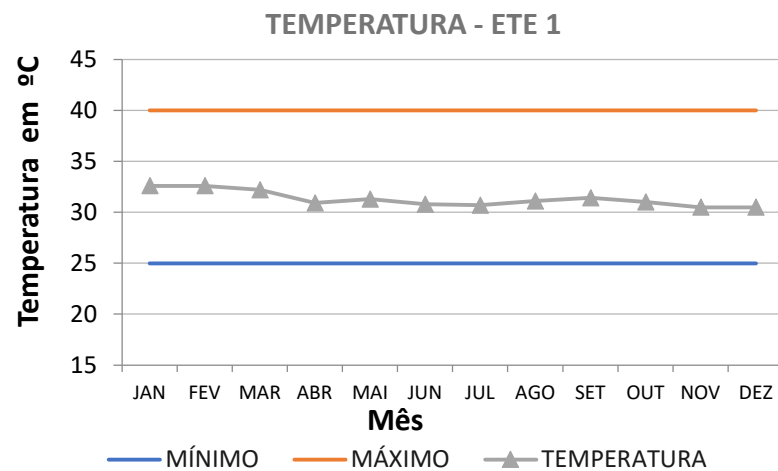


Figura 5.11. Variação da temperatura no efluente tratado para as 4 ETEs estudadas
 Fonte: Autora, 2022

Para a ETE 1, a temperatura se manteve na faixa mesofílica, com média de 31,3°C e desvio padrão de 0,76, a maior temperatura registrada foi de 32,6°C e a menor foi de 30,5°C no período analisado.

A ETE 2 apresentou média de 31,3°C e desvio padrão de 1,39, a maior temperatura registrada foi de 34,2°C no mês de março/2020 e a menor foi de 29,2°C em fevereiro/2020.

Na ETE 3 a medição de temperatura ao longo do tempo se mostrou bem uniforme, com desvio padrão de 0,57 e média de 31°C. a maior temperatura registrada foi de 31,5°C e a menor foi de 29,7°C no período avaliado.

Dentre as quatro estações, a ETE 4 foi a que apresentou maior desvio padrão, com valor de 2,23 e média de 30,4°C. A maior temperatura registrada foi de 34,3°C no mês de abril/2020 e a menor foi de 26,4°C em agosto/2020.

Do ponto de vista de processo sabe-se que as bactérias presentes no tratamento biológico aeróbio e anaeróbio de esgotos apresentam temperatura ótima de crescimento na faixa de 25 a 35°C, mesofílica (METCALF E EDDY, 2016), logo as 4 ETEs estão não apresentam limitação de processo devido a temperatura.

Sob a ótica de atendimento a legislação, a Resolução do CONAMA 430/2011 estabelece como padrão de lançamento o valor máximo de 40°C, logo, verifica-se que esses valores foram atendidos durante todo o período avaliado, para as quatro ETEs estudadas.

● Sólidos Sedimentáveis

Nas ETEs os sólidos sedimentáveis do efluente tratado apresentou-se menor que 1 mL/L durante todo o período avaliado. A Tabela 5.10 os valores médios dos sólidos sedimentáveis nas 4 ETEs durante o período de estudo, onde se verifica que apenas a ETE 4 apresenta os valores lidos com média e desvio padrão, as demais ETEs colocam apenas o limite de detecção.

Tabela 5.10. valores médios de sólidos sedimentáveis das quatro estações

	ETE 1	ETE 2	ETE 3	ETE 4
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	<1	<1	<1	0,15 ±0,12

Fonte: Autor, 2022

Salienta-se que a Resolução do CONAMA 430/2011 estabelece como padrão de lançamento o valor máximo de 1,0 mL/L de sólidos sedimentáveis, em teste de 1 hora em cone Imhoff. Segundo os dados apresentados na tabela 5.8, tem-se que a legislação foi atendida durante o período avaliado.

A baixa concentração observada no efluente tratado mostra que os 4 sistemas estudados, com diferentes tecnologias de pós-tratamento, tanto com biomassa suspensa quanto com biomassa aderida, apresentam capacidade de retenção dos sólidos sedimentáveis satisfatórias.

● Turbidez

Com relação a turbidez, a IN 001/2018 SEMARH/AL e a CONAMA 403/2011 não fazem referência a mesma, mas os padrões de reúso limitam a turbidez no máximo a 5 UNT.

A ETE 1 não apresentou dados de turbidez. A ETE 2, com biomassa aderida em meio suporte móvel possui uma turbidez média no efluente tratado de 61,5 NTU, com desvio padrão de ± 51 NTU. Já a ETE 3, com biomassa suspensa possui uma turbidez média de 102 NTU e desvio padrão de ± 67 NTU. A ETE 4, com biomassa aderida em meio suporte fixo, foi a que apresentou menor valor de turbidez remanescente, cujo valor médio foi de 47 NTU e desvio padrão de ± 29 NTU. Vale salientar que as ETEs 1, 2 e 3 possuem decantador secundário, apenas a ETE 4 que não possui. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, podem ser lançados efluentes em águas doces de classe 2, com turbidez de até 100 NTU.

A turbidez não impõe restrição de seu uso para irrigação, mas é um parâmetro importante de análise, pois pode causar obstrução do dispositivo de irrigação. Além disso, a turbidez pode estar diretamente relacionada à presença de micro-organismos patogênicos à saúde e interfere na eficiência do processo de cloração, já que as partículas em suspensão podem proteger os microrganismos dos efeitos dos agentes desinfetantes.

Os gráficos da Figura 5.12 apresentam a variação temporal da turbidez no ano de 2020. Percebe-se que nos meses de estiagem a turbidez é mais baixa, enquanto nos meses chuvosos a turbidez cresce, certamente devido ao aporte de água de chuva na rede coletora.

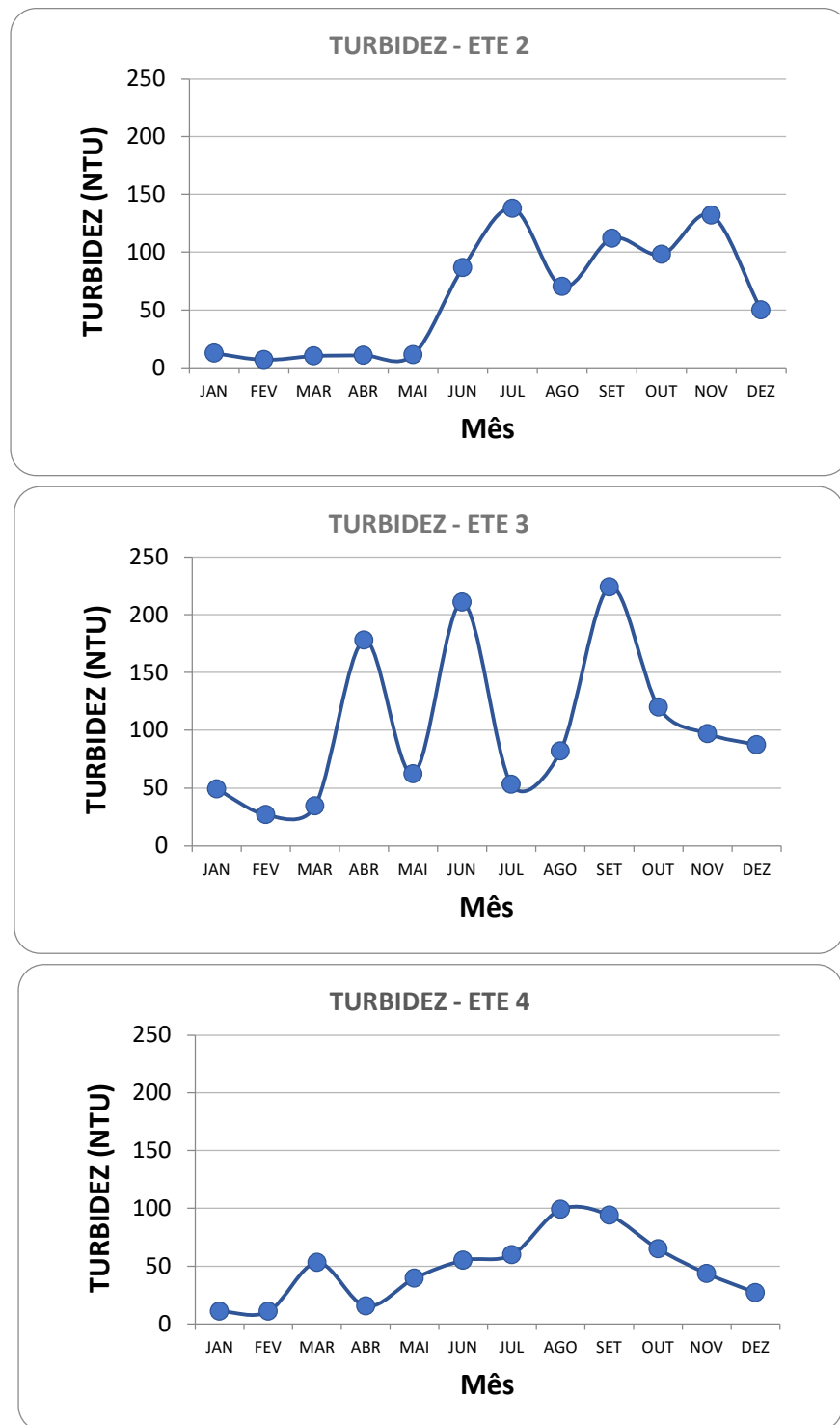


Figura 5.12. Variação temporal da turbidez nas ETEs estudadas.
Fonte: Autora, 2022

5.2.2. Parâmetros químicos

Para as ETEs em estudo os parâmetros químicos que fazem parte da rotina de monitoramento são pH, DQO, DBO e cloro residual do efluente tratado.

- pH

Os valores médios de pH, durante o período monitorado foram mensurados na faixa de 7,5 para o efluente tratado. Os gráficos da Figura 5.13 evidenciam a variação temporal do pH das ETEs estudadas. Em consonância com a Resolução CONAMA 430/2011 o pH do efluente tratado deve ser de 5 a 9 para que o mesmo possa ser lançado.

Segundo Metcalf e Eddy (2016), a faixa ótima é tipicamente entre 6 e 9, para esgoto bruto e 6,5 a 8,5 para esgoto tratado. Para Silva e Nour (2005), essa faixa é considerada ótima para as atividades das arqueas metanogênicas, estando presentes nos processos anaeróbios, pois não afeta a eficiência do reator. Dessa feita, o pH do afluente das quatro estações de tratamento se mantiveram na faixa adequada para as atividades biológicas anaeróbias, favorecendo a remoção de matéria orgânica.

Por outro lado, o pH está intimamente relacionado com a alcalinidade. No processo de amonificação, que acontece tanto em ambiente anaeróbio quanto aeróbio, ocorre a geração de alcalinidade resultando na tendencia de aumento do pH. Já nos processos aeróbios que visam a nitrificação, esse processo consome a alcalinidade resultando numa tendencia de queda do pH.

O valor próximo a neutralidade observado no efluente dos esgotos tratados pode ter dupla interpretação, ou havia alcalinidade suficiente para a nitrificação de forma que o processo de nitrificação tenha acontecido e a aplicação de hipoclorito para desinfecção tenha corrigido o pH deixando-o levemente alcalino, ou o processo de amonificação nos reatores anaeróbios não foi completo, e continuou acontecendo nas unidades aeróbias gerando alcalinidade, sem o estabelecimento de uma completa nitrificação.

Como o valor do N-amoniacal não é um parâmetro de lançamento requerido nem para o descarte em corpos de água nem para irrigação, ele não é monitorado. No entanto, sua importância vai além do controle de descarte, pois o nitrogênio na forma amoniacal interfere no processo de desinfecção com cloro, pois o cloro reage com o nitrogênio amoniacal formando cloraminas de menor poder oxidante, resultando num maior consumo de produto químico para desinfecção.

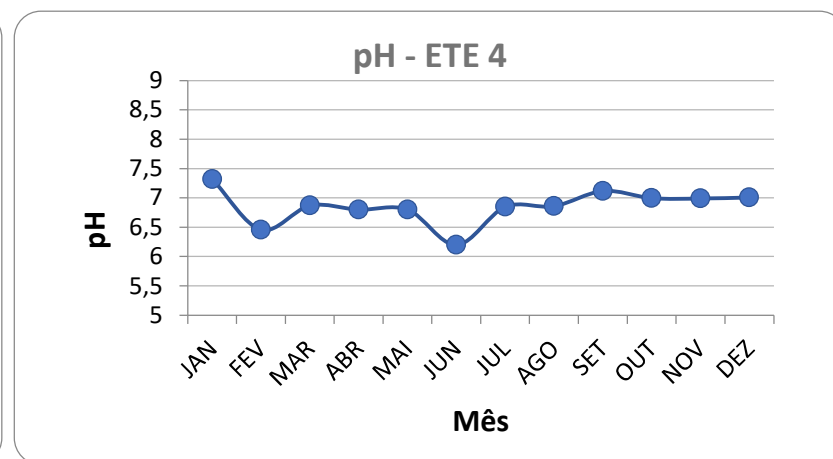
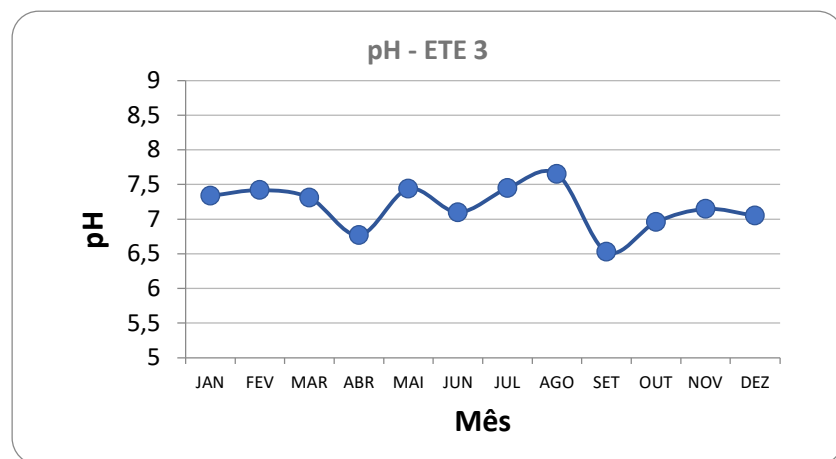
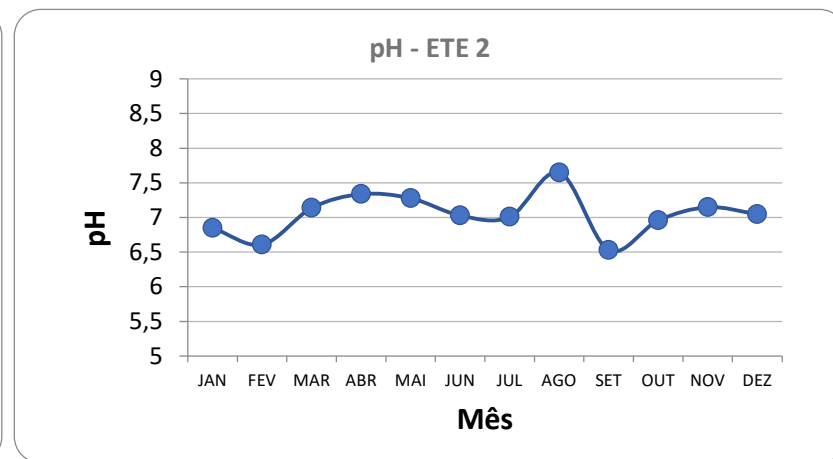
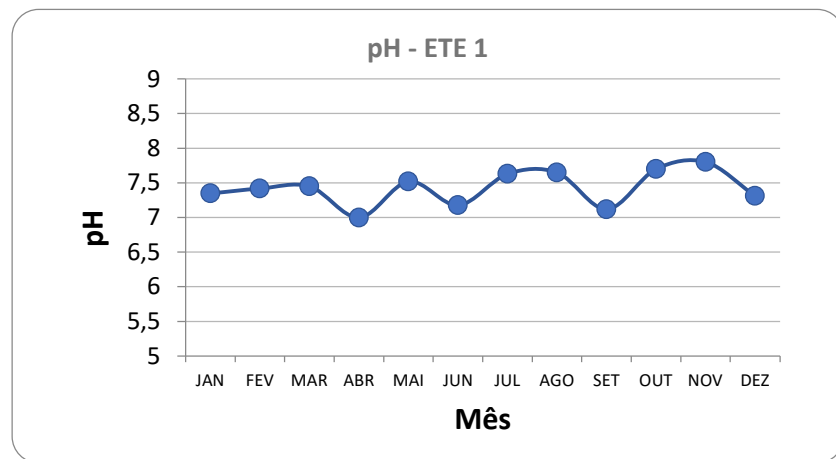


Figura 5.13 – Gráficos da variação de pH ao longo do tempo.
Fonte: Autora, 2022

- **DQO e DBO**

A DBO e a DQO ainda são os parâmetros mais utilizados para dimensionamento e avaliação de desempenho de estações de tratamento de efluentes. A DBO é responsável pela estimativa da quantidade de matéria orgânica facilmente degradável presente no esgoto, enquanto a DQO representa o conjunto da fração biodegradável e de difícil degradação. A Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) estabelece o valor máximo de 120 mg/L para o esgoto tratado e a possibilidade desse valor ser ultrapassado, desde que ocorra uma eficiência de remoção mínima de DBO de 60%.

Os gráficos do perfil temporal com a variação da $DBO_{5,20}$ das 4 ETES estudadas estão apresentados na Figura 5.14.

A ETE 1, dotada de reator anaeróbio de chicanas seguido de MBBR, apresentou uma DBO de entrada média de $989,4 \pm 432$ mg/L, demonstrando a grande variabilidade nos dados, o mês de maior e menor valor de DBO foi, respectivamente, 2037,17 e 490,07 mg/L, nos meses de fevereiro e junho, nessa ordem. A DBO média de saída foi de 118,24 mg/L, abaixo de 120mg/L conforme preconiza a legislação (CONAMA 430). O menor e maior valor de DBO de saída foram 24,55 e 416,76 mg/L respectivamente, nos meses de maio e abril, nessa ordem, não atendendo esse mês o valor máximo de 120 mg/L de DBO para lançamento.

A DBO no efluente bruto da ETE 2, dotada de reator UASB seguido de Filtro biológico aeróbio, apresentou concentração entre 295,94 e 1074,15 mg/L, com valor médio de $745,83 \pm 418,1$ mg/L, enquanto no efluente tratado o valor da DBO oscilou entre 32,22 e 118,1 mg/L, com valor médio de $63,78 \pm 35,65$ mg/L. O efluente tratado atendeu sempre ao respectivo valor limite de DBO previsto na Resolução CONAMA nº 430/2011, indicando que este dispositivo essa configuração foi capaz de remover a carga orgânica presente nos efluentes domésticos.

De modo análogo, a DBO no efluente bruto da ETE 3, dotada de reator UASB seguido de lodo ativado, apresentou concentração entre 246,76 e 982,08 mg/L, com valor médio de $700 \pm 290,1$ mg/L, enquanto no efluente tratado o valor da DBO oscilou entre 27,62 e 317,02 mg/L, com média de $92,03 \pm 77,76$ mg/L. O efluente tratado atendeu sempre ao respectivo valor limite de DBO previsto na Resolução CONAMA nº 430/2011, exceto no mês de abril cujo valor foi superior ao limite máximo de 120 mg/L de DBO para lançamento.

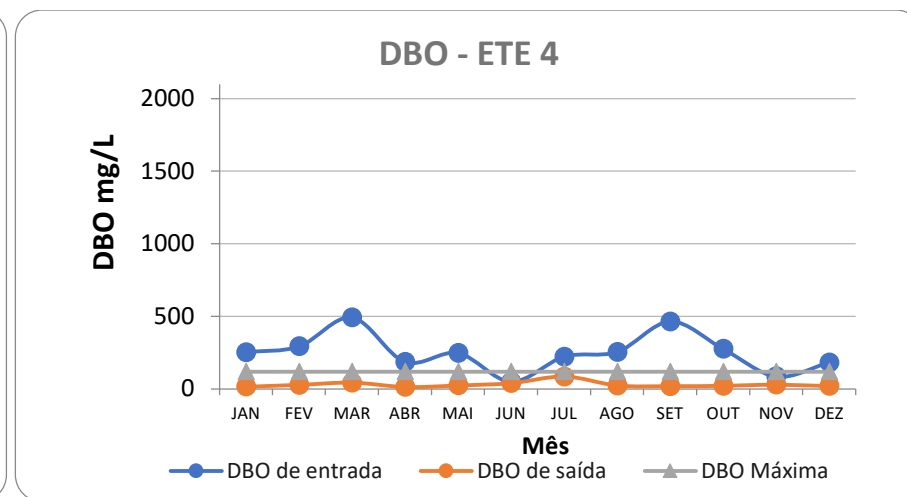
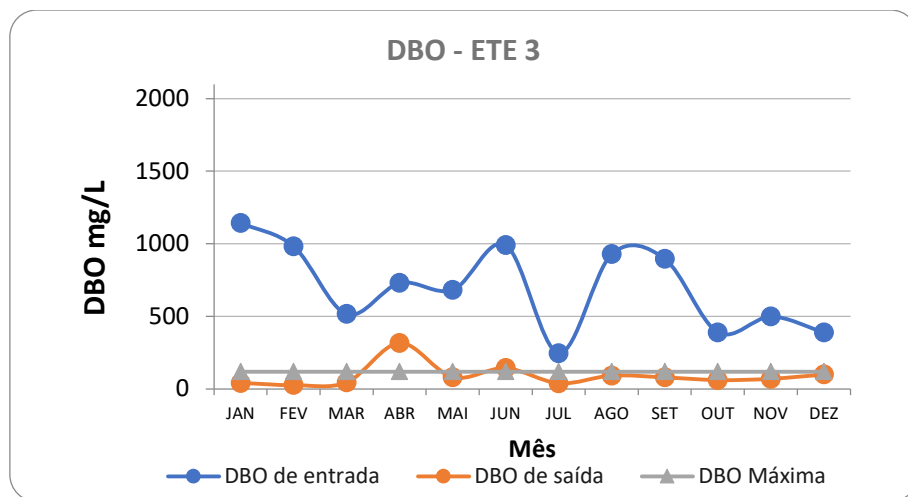
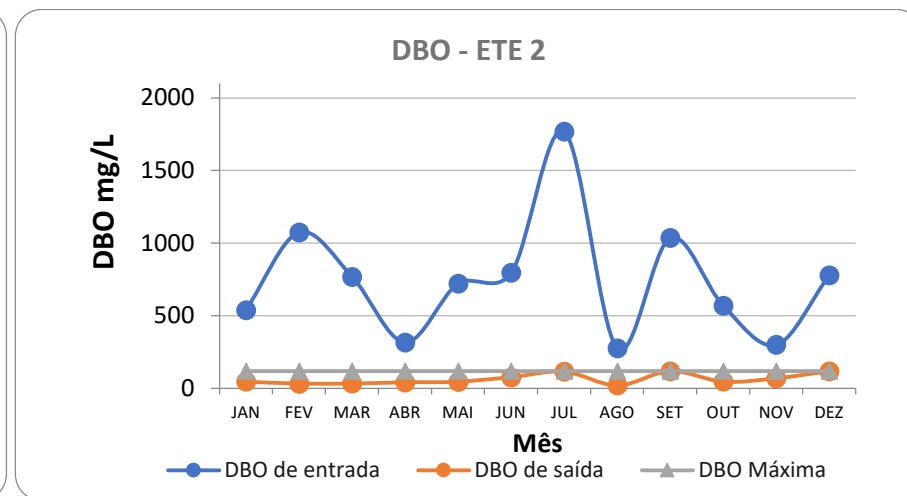
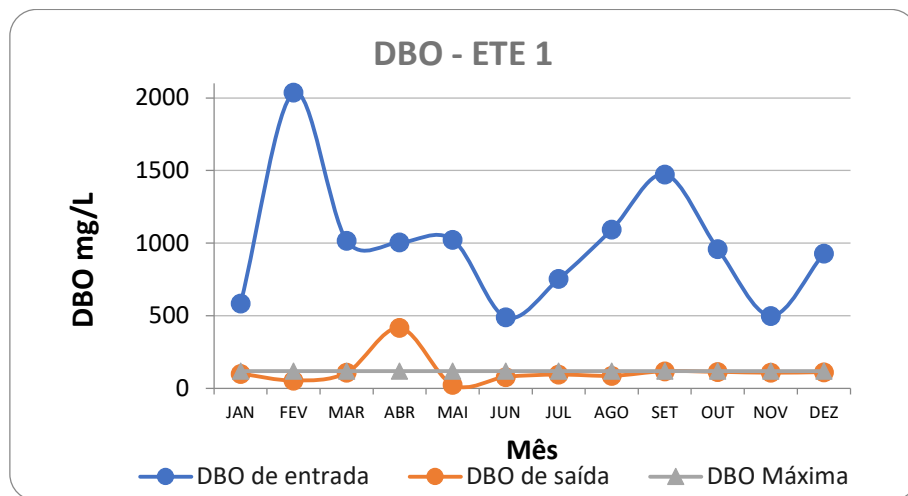


Figura 5.14 – Gráficos da variação de DBO efluente ao longo do tempo.
Fonte: Autora, 2022

Na ETE 4, dotada de reator UASB seguido de filtro biológico percolador, o valor médio da DBO do esgoto bruto foi de DBO média de $251,33 \pm 129,24$ mg/L, com valor máximo de 493 mg/L e valor mínimo de 50 mg/L. Já o efluente tratado o valor médio foi de $31 \pm 19,5$ mg/L, mostrando que durante o período estudado o efluente tratado atendeu ao valor limite de DBO previsto na Resolução CONAMA nº 430/2011, indicando que este dispositivo essa configuração foi capaz de manter o enquadramento do efluente tratado dentro dos padrões de lançamento.

Como o efluente dessa ETE é reutilizado na irrigação paisagística, o efluente da ETE 4 também deve se enquadrar dentro dos padrões de reúso. Os critérios de qualidade para reúso não potável não é um assunto bem consolidado no Brasil, observa-se de maneira mais geral no mundo, que o documento da United States Environmental Protection Agency (USEPA) de 2012 permanece até hoje umas das referências prevaletentes em vários países, entre eles o Brasil, a qual limita o valor da DBO em 10 mg/L, assim, tendo como referência a USEPA o efluente tratado não atendeu aos padrões de reúso no período estudado. No entanto, a NBR 13969/97 não faz referência ao valor da DBO em seus padrões de reúso.

Com relação a DQO, somente a ETE 4 faz o monitoramento, os dados do esgoto bruto mostram valor médio anual de $688,3 \pm 411,47$ mg/L, com relação DQO/DBO de 2,74, considerada intermediária (2,5 a 4), indicando o aporte de uma carga orgânica de difícil degradação. Já para as características do esgoto tratado mostram que a relação DQO/DBO de 4,3, indicando que a matéria orgânica remanescente já não é fácil degradação, como a presente no esgoto bruto quando a relação era de 2,74.

Avaliando a presença de matéria orgânica medido como DBO, presente no esgoto bruto das 4 ETES, de $989,4 \pm 432$ mg/L para a ETE 1, de $745,83 \pm 418,1$ mg/L para a ETE 2, de $700 \pm 290,1$ mg/L para a ETE 3 e de $251,33 \pm 129,24$ mg/L para a ETE 4, verifica-se, de acordo de Metcalf e Eddy (2016), que o esgoto bruto da ETE 1 que trata esgoto sanitário de um supermercado tem característica típica de esgoto de alta concentração, que o esgoto bruto das ETES 2 e 3 que tratam esgotos sanitário de condomínios verticais tem características de esgoto sanitário de média concentração, enquanto o esgoto sanitário bruto da ETE 4, que é proveniente de um condomínio residencial horizontal, tem característica típica de esgoto sanitário de baixa concentração. Essa característica de esgoto de baixa concentração da ETE 4 pode estar associada a interferência do lençol

freático, pois é a única cuja rede coletora está em zona baixa com lençol freático alto, ou pelo maior consumo *per capita* de água, que diluem o esgoto bruto.

- **Cloro residual**

Um dos objetivos do tratamento terciário de efluentes é a eliminação de patógenos, e a cloração ainda é a alternativa mais atraente, em razão de maior domínio tecnológico e viabilidade econômica. As concentrações de cloro nas soluções se alteram com o tempo. Isto é mais evidente nos momentos iniciais de aplicação, pois passa por transformações rápidas, desde a forma livre até as formas combinadas. Esta é uma das razões principais da determinação do cloro residual livre (CRL) como parâmetro de controle, que deve variar entre 1 e 3 mg/L, visando assegurar a qualidade microbiológica do efluente tratado, geralmente verificada pela presença de coliformes termotolerantes, estando esses parâmetros intimamente relacionados.

No entanto, efluentes que apresentam elevado conteúdo de nitrogênio orgânico, a eficácia do cloro na desinfecção tende a ser menor que em águas limpas. É sabido também que sólidos em suspensão, partículas diversas, e o conteúdo orgânico dos efluentes podem exercer demanda de cloro, impedindo sua ação como desinfetante (WINWARD *et al.*, 2008). Logo, além do cloro residual livre é frequente o emprego do parâmetro turbidez no controle da qualidade de efluentes, como observado em Bento *et al.* (2005). Daí a importância do controle da turbidez e de nitrogênio orgânico nos efluentes tratados, mesmo que não seja uma exigência da CONAMA 430/2011.

Para as 4 ETEs estudadas, a ETE 1 embora faça a desinfecção com hipoclorito de sódio, ela não fez controle do cloro residual. Apenas as ETEs 2, 3 e 4 que realizam esse controle, cujos dados estão apresentados nos gráficos da Figura 5.15.

Na ETE 2 a aplicação de cloro no esgoto tratado resultou em concentrações de cloro residual livre com valores de $7,8 \pm 2,6$ mg/mL. Mas o controle desse parâmetro foi realizado apenas em 3 meses do ano de 2020. Na ETE 3 a aplicação de cloro no esgoto tratado resultou em concentrações de cloro residual livre variando de 3,4 a 10,0 mg/L ($6,9 \pm 3,0$ mg/L). Esta ETE apresentou monitoramento em apenas 5 meses do ano.

Já a ETE 4, que destina seu efluente tratado para reúso urbano não potável e precisa desse controle, é que faz o monitoramento mensal, com valor médio de $0,30 \pm 0,29$ mg/L.

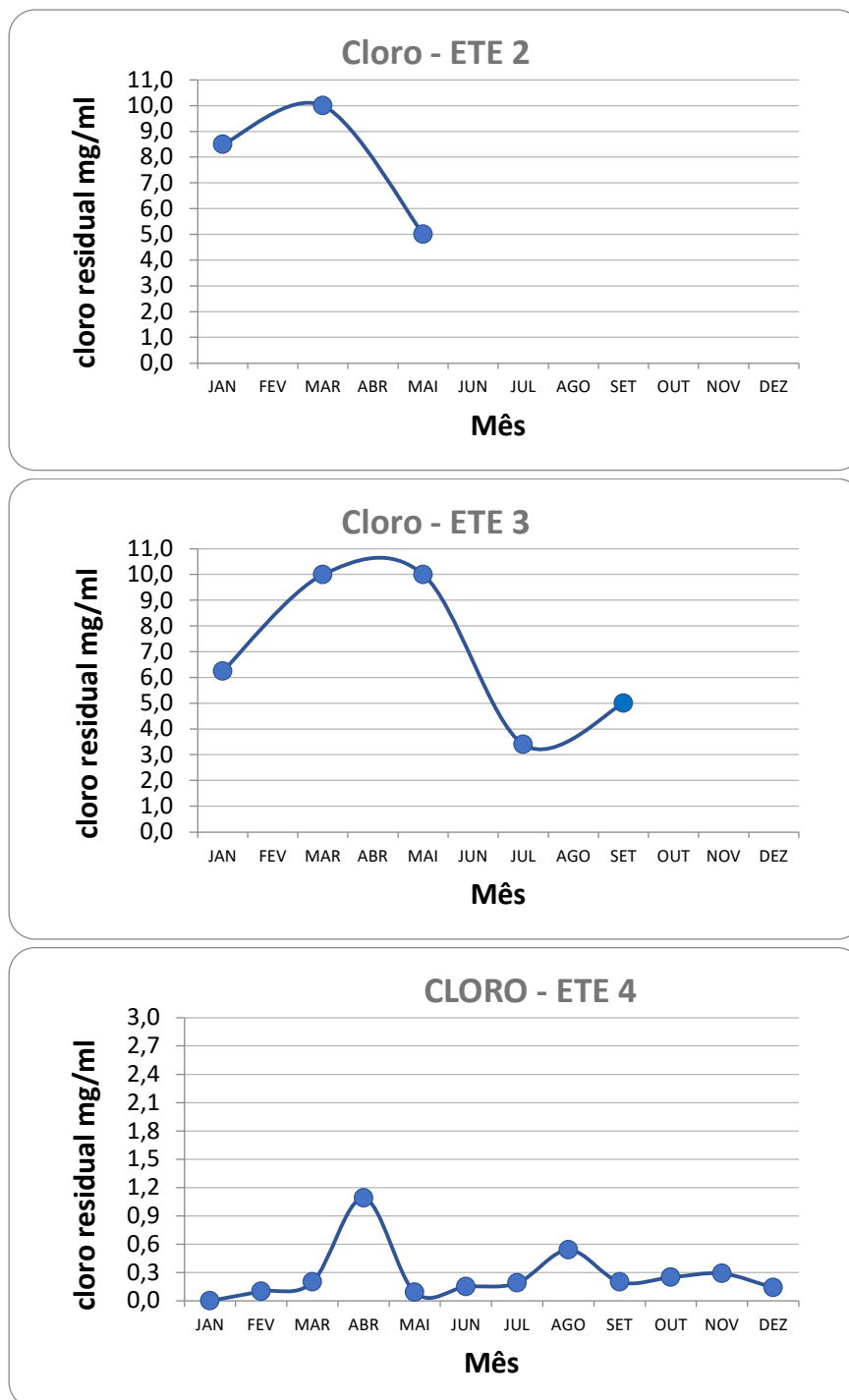


Figura 5.15 – Variação de concentração de cloro residual no efluente das ETEs estudadas.
Fonte: Autora, 2022.

Para as ETEs 2 e 3 verifica-se que o cloro residual está acima dos valores citados na literatura para efluentes tratados. Já para a ETE 4 os valores estão abaixo do recomendado, inclusive para os padrões de reúso que cita o valor mínimo de 1,0 mg/L (USEPA, 2012).

5.2.3. Parâmetros biológicos

No quesito de parâmetros bacteriológicos (coliformes fecais), sabe-se que este funciona como indicador de patogênicos de veiculação hídrica, presente no esgoto.

Para as 4 ETEs estudadas, a ETE 1 não fez ou não apresentou o controle desse parâmetro, apenas as ETEs 2, 3 e 4 que realizam esse controle, cujos dados estão apresentados nos gráficos da Figura 5.16.

Na ETE 2 a aplicação de cloro, com CRL no esgoto tratado variando de 5 a 10 mg/L, resultou em número de coliformes termotolerantes com valores variando de 18 a $8,3 \times 10^2$ NMP/100 mL, com valor médio de 352 ± 334 NMP/100 mL.

Na ETE 3 a aplicação de cloro, com CRL no esgoto tratado variando de 3,4 a 10 mg/L resultou em número de coliformes termotolerantes com valores variando de 18 a 7×10^2 NMP/100 mL, com valor médio de 194 ± 237 NMP/100 mL.

Na ETE 4 a aplicação de cloro, com CRL no esgoto tratado de $0,3 \pm 0,29$ mg/L no esgoto tratado, resultou em número de coliformes termotolerantes com valores variando de 8×10^3 a $1,6 \times 10^5$ NMP/100 mL, com valor médio de 59.333 ± 61.303 NMP/100 mL.

Verifica-se que as ETEs com elevadas concentrações de CRL, superiores aos valores citados na literatura (1 a 3 mg/L) resultaram em número de termotolerantes inferiores a 10^2 e dentro dos padrões de balneabilidade citado pela CONAMA 274/2000. Já a ETE 4 que apresentava CRL inferior ao valor citado pela literatura apresentou número de termotolerantes acima dos padrões de balneabilidade citado pela CONAMA 274/2000 de 1.000 NMP/100 mL, fora do requerido para o reúso urbano não potável de 500 NMP/100 mL requerido pela NBR 13.969/97 e de reúso em outras culturas e pastagens da Resolução CONAMA Nº 503/2021 de 10.000 NMP/100mL. Percebe-se na Figura 5.22 que a partir do mês de abril os valores de coliformes no efluente caíram, visto que dosagem de cloro aplicado foram corrigidos buscando atender a legislação.

Vale ressaltar que influenciam na desinfecção, não apenas a dosagem de aplicação de cloro, mas também o tempo de contato e que para as ETEs estudadas não foi possível avaliar esses parâmetros, visto que, a ausência de medição de vazão impossibilita esse levantamento de dados.

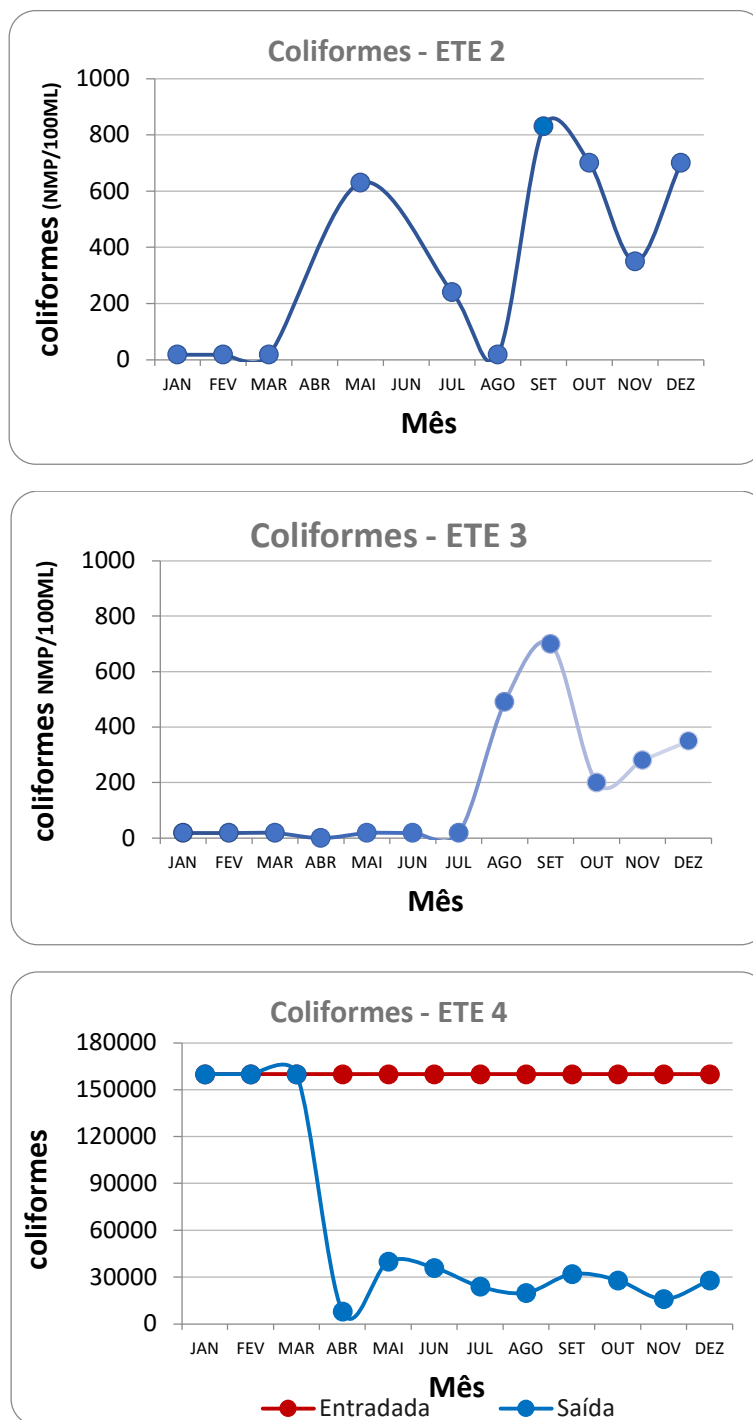


Figura 5.16. Gráficos da variação de coliformes no efluente tratado nas ETEs estudadas.
Fonte: Autora, 2022

5.3. Avaliação da eficiência de remoção de DQO e DBO.

Não existe apenas uma variável responsável pela avaliação do desempenho de uma ETE e da qualidade e variabilidade do efluente tratado. De maneira geral a eficiência de uma ETE depende das variações na carga afluente, das condições ambientais nos reatores, da natureza do esgoto a ser tratado, da presença de substâncias tóxicas, da variabilidade inerente aos processos de tratamento biológico, entre outros. No entanto para as ETEs estudadas, devido a disponibilidade de dados, a avaliação do desempenho foi feita apenas em termos de remoção de matéria orgânica, como DBO.

As 4 ETEs estudadas, tem como tratamento secundário reatores anaeróbios seguidos de pós-tratamento aeróbio. Von Sperling (2014), cita que quando o reator anaeróbio é bem operado, mesmo sem pós-tratamento, sua eficiência na remoção de DBO varia entre 60 e 75%. Segundo Jordão e Pessoa (2009), a eficiência do tratamento anaeróbio para remoção de DBO está entre 45 a 85% e que essa variação está diretamente relacionada ao tempo de detenção hidráulica (TDH). O pós-tratamento aeróbio visa a remoção da matéria orgânica remanescente, e em alguns casos a remoção de nutrientes. Mas, também não foi possível avaliar cada unidade independente. A avaliação da eficiência das ETEs foi realizada em termos de remoção global de matéria orgânica de cada sistema estudado, visando verificar se atenderam a CONAMA 430/2011 durante o período monitorado. A Tabela 5.11. apresenta os dados de DBO afluente e efluente, assim como também a eficiência de remoção de matéria orgânica e os gráficos da Figura 17 apresenta a variação mensal da remoção de matéria orgânica de cada ETE.

Tabela 5.11. Valores comparativos da eficiência atingida nas ETEs em estudo.

Parâmetro	ETE 1	ETE 2	ETE 3	ETE 4
DBO esgoto bruto, mg/L	989,8±432,5	745,8±418,1	700±290,1	251,3±129,3
DBO efluente tratado, mg/L	118,2±97,9	63,8±35,7	92,03±77,8	31±19,5
Eficiência de remoção de mat. Orgânica, %	86,3±10	90,3±5	85,4±11	86,5±11,6

Fonte: A autora (2022)

Para a ETE 1, averiguou-se que a média de DBO no esgoto bruto foi de 989,8±432,5 mg/L e do tratado de 118,2 ±97,9, apresentando uma eficiência média na remoção de matéria orgânica correspondente a 86,28±10%. A eficiência mínima foi de 58,6% no mês de abril, sendo o único mês do ano de 2020 que não atendeu o mínimo de 60% (CONAMA 430) de remoção de DBO.

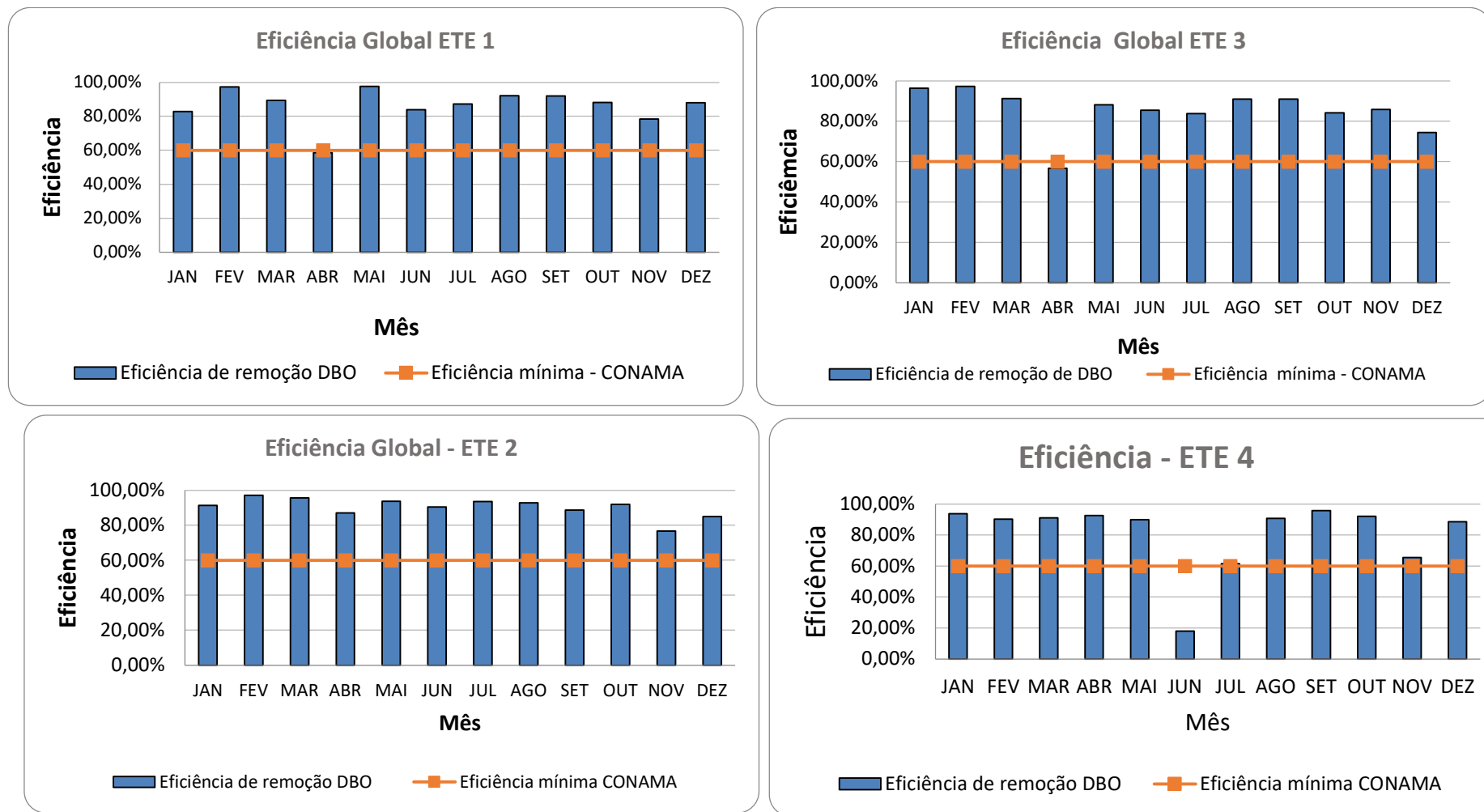


Figura 5.17 – Gráfico de eficiência global das ETEs.
 Fonte: Autora, 2022

A ETE 2 foi a que apresentou a maior eficiência dentre as quatro estações estudadas, com valor médio de 90,3% e desvio padrão de 5%. A variação temporal no ano de estudo foi mínima, se mantendo na maioria dos meses acima de noventa por cento, apenas os meses de abril, setembro e novembro se mantiveram abaixo, sendo o mês de novembro o de menor eficiência, mas ainda com valor satisfatório de 76,7%, em se tratando de concentração, todos os meses a DBO do efluente tratado se manteve abaixo de 120 mg/L. A eficiência depurativa manteve-se na faixa de 76,7% a 97%, em média de 90,26% (± 5).

Na ETE 3 a análise permitiu verificar que a eficiência média na remoção de matéria orgânica correspondeu a 85,4%. O desvio padrão foi de 11%, demonstrando uma baixa variação desse parâmetro ao longo do tempo. Todos os meses se mantiveram com uma eficiência acima de 60%, exceto o mês de abril cuja eficiência baixou para 56% e o efluente tratado apresentou concentração de 317 mg/L.

A análise permitiu verificar que a eficiência média na remoção de matéria orgânica correspondeu a 86,5% $\pm$ 11,6% para a ETE 4. Nessa ETE foi possível observar que o esgoto bruto apresentou grande variabilidade na concentração de DBO e DQO, com desvio padrão de 129 e 411, respectivamente, enquanto o efluente final não apresentou picos significativos, indicando se tratar de uma tecnologia de tratamento estável que consegue absorver essas variações afluentes.

A eficiência de remoção global do sistema permaneceu elevada em todo o período de estudo, tendo um valor discrepante no mês de junho, com 18% de remoção de DBO, certamente devido a um erro analítico da DBO do esgoto bruto, e, portanto, a eficiência desse mês não foi considerada no cálculo da média. O mês de julho apresentou 61% de eficiência, mesmo assim atende a legislação que exige 60% de remoção de DBO ou valor máximo de 120 mg/L. Assim, conforme esperado, as duas etapas de tratamento permitem um sistema confiável quanto à remoção de DBO e DQO. Além disso, a legislação foi atendida em todo o período de monitoramento, tanto quanto ao que se refere à concentração do efluente, como ao desempenho do sistema.

Mediante a apresentação gráfica dos resultados obtidos, tem-se que a eficiência de remoção de matéria orgânica em todas as ETEs estudadas foi bastante satisfatória, estando acima dos valores de projeto. De acordo com a Figura 5.17, compreende-se que os resultados obtidos atenderam o padrão exigido durante todo o período avaliado.

5.4. Comparação das ETEs estudadas

Na tabela 5.12 está representada as concentrações de saída do esgoto tratado das respectivas ETEs, como também a eficiência atingida para remoção de matéria orgânica em termos de DBO.

Tabela 5.12. Valores comparativos da eficiência atingida por processos biológicos diferentes

Parâmetro	ESGOTO TRATADO			
	ETE 1	ETE 2	ETE 3	ETE 4
Turbidez (UNT)	-	61,5±51	102,1±67,72	47,8±29,5
Temperatura (°C)	31,3±0,76	31±1,36	31,3±0,57	30,4±2,23
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	<1	<1	<1	<1
pH	7,43±0,25	7,05±0,31	7,18±0,32	6,9±0,29
DBO (mg/L)	118,24±97,9	63,78±35,65	92±77	31±19,5
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	-	352±334	194±237	59.333±61.303
Cloro residual livre	-	7,8 ± 2,6	6,9 ± 3,0	0,3±0,3
Eficiência de remoção de mat. Orgânica	86,28%±10%	90,3%±5%	85,4%±11%	86,5%±11,6%

Fonte: Autor, 2022

Diante dos resultados obtidos na Tabela 5.9, percebe-se que as ETEs apresentaram eficiências de remoção de DBO semelhantes 87,2±2,2%, tanto para as ETEs aeradas mecanicamente quanto para a ETE com aeração natural, indicando que a forma de aeração não interferiu na eficiência de remoção de matéria orgânica.

Em termos de parâmetros físicos, como a cor, turbidez e sólidos sedimentáveis, todas as ETEs atenderam aos parâmetros exigidos, na Resolução do CONAMA 430/2011, a qual estabelece como padrão de lançamento o valor máximo de 40°C para temperatura e de 1,0 mL/L de sólidos sedimentáveis.

Quanto ao parâmetro químico pH, as quatro ETEs mantiveram valores médio de pH, em torno de 7. A estação que apresentou menor DBO no efluente tratado (30,4±2,23) foi a ETE 4, composta por reator UASB mais filtro percolador e desempenho médio de 86,5%.

A Tabela 5.9 mostra a eficiência atingida em cada processo biológico, para a remoção de matéria orgânica, e que o processo misto composto pelo reator UASB mais filtro aerado (ETE 2) apresentou melhor desempenho para esses parâmetros em termos de DBO com 90,3%. A eficiência atingida nas demais ETEs satisfazem a legislação e está de dentro da faixa esperada para DBO segundo a literatura. O lodo ativado convencional apresentou boa eficiência, com valor de 85,4% geralmente esse processo está em torno de 75% a 95% (METCALF e EDDY, 2016; JORDÃO e PESSOA, 2009).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto no presente trabalho, quanto ao monitoramento, pode-se concluir que:

- A ETE 1 (UASB+MBBR+Desinfecção) é a estação de mais fácil operação, pois não possui recirculação de lodo para a câmara de aeração e o MBBR consegue conter o arraste de lodo.
- A ETE 2 (UASB+Filtro aerado+Desinfecção) é compacta, de pequeno porte (40 m³/dia), totalmente enterrada, o que, segundo os operadores, dificulta muito a manutenção, pois a visualização das unidades é difícil, assim como também o acesso aos equipamentos.
- A ETE 3 (UASB+LA+Desinfecção) é dentre as ETEs estudada apontada como a de maior dificuldade operacional, pois além de ser composta por 2 sistemas individuais de tratamento em paralelo, o tanque de aeração e o decantador compartilham um tanque único, o que dificulta a operação, impedindo que haja uma avaliação eficiente dos parâmetros de melhor performance do equipamento.
- A ETE 4 (UASB+filtro percolador+Desinfecção) é de fácil operação, tendo como maior dificuldade a lavagem manual periódica dos filtros percoladores (visto que o sistema de retrolavagem por bombeamento não foi implantado) e o ajuste da dosagem de cloro para atender aos padrões de reúso a que o efluente tratado se destina, pois não há medição de vazão.
- Através da análise realizada, foi possível avaliar a eficiência das ETEs, quanto a remoção de matéria orgânica, mensurando-se em termos de DBO, bem como a remoção de patogênicos. As quatro ETEs apresentaram eficiências de remoção de matéria orgânica semelhantes $87,2 \pm 2,2\%$, tanto para as ETEs aeradas mecanicamente quanto para a ETE com aeração natural, indicando que a forma de aeração não interferiu na eficiência de remoção de matéria orgânica.
- Quanto ao cloro residual livre (CRL) as medições disponibilizadas foram cerca de 3 a 5 meses do ano de 2020, atingindo valores satisfatórios para a ETE 2 e 3. Já a ETE 4 apresentou um CRL inferior ao valor citado pela literatura (de 1 a 3 mg/L) e também apresentou número de termotolerantes acima dos padrões de

balneabilidade citado pela CONAMA 274/2000 e fora do requerido para o reúso urbano não potável de 500 NMP/100 mL requerido pela NBR 13969/97.

- A baixa concentração de sólidos sedimentáveis observada no efluente tratado mostra que os 4 sistemas estudados, com diferentes tecnologias de pós-tratamento, tanto com biomassa suspensa quanto com biomassa aderida, apresentam capacidade de retenção dos sólidos sedimentáveis satisfatórias.
- O monitoramento da qualidade do efluente das ETEs estudadas visa apenas verificar o cumprimento dos padrões de descarte, sem preocupação com o monitoramento dos processos anaeróbio e aeróbio. A principal limitação ocorre pela ausência de medição de vazão afluente as ETEs o que impede verificar os parâmetros operacionais e o ajuste da dosagem de hipoclorito de sódio.
- Do ponto de vista operacional, dentre as estações estudadas, a ETE 1 e a ETE 4 possuem operação e manutenção mais prática. Ressaltando que, a função do tratamento aeróbio nas associações propostas nas ETEs restringe-se sobretudo à remoção de compostos solúveis remanescentes no efluente anaeróbio, o que leva a formação de lodo e a necessidade de lavagem do meio suporte para remoção de biomassa em excesso reduzida. Esse lodo é removido periodicamente por caminhão limpa fossa nas ETEs 1, 2 e 3 e apenas a ETE 4 faz a desidratação em leito de secagem.

Diante do exposto no presente trabalho, faz-se algumas recomendações, visando a uma melhoria no monitoramento das ETEs e controle dos parâmetros de tratamento de esgoto.

- É recomendado que haja a medição da vazão nas estações de tratamento de esgoto, a fim de saber os horários de maior e menor vazão, para que se possa ajustar a dosagem de cloro, sem haver desperdício de material ou uma dosagem insuficiente. Os medidores de vazão mais utilizados em estações de tratamento de água e efluentes são os ultrassônicos, o uso de calha parshall, e os medidores eletromagnéticos.
- Efetuar o monitoramento dos processos das ETEs e não apenas o padrão de lançamento.

7. REFERÊNCIAS

- AEIPRO. (2016). 20th International Congress on Project Management and Engineering: Abstracts - Resúmenes. July, 13–15.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios. Disponível em <<http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2227>> . Acesso em 03/03/2020.
- ALMEIDA, P. G. S. de, Ribeiro, T. B., Silva, B. S. da, Azevedo, L. dos S., & Chernicharo, C. A. de L. (2018). Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 6: Qualidade do efluente. *Revista DAE*, 66(214), 90–108. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.043>
- ALMEIDA; OLIVEIRA; CHERNICHARO, 2011; Operação de filtros biológicos percoladores pós- reatores UASB sem a etapa de decantação secundária. *Eng Sanit Ambient* | v.16 n.3 | jul/set 2011 | 271-280.
- APHA/AWWA/WEF, 2005, STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 21a Edição, Washington DC.
- ASHBY, M. F. Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão/coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gasparini Fernandes Cunha. EESC-USP © 2013.
- ØDEGAARD, H., RUSTEN, B., WESTRUM, T., A NEW MOVING BED BIOFILM REACTOR – APPLICATIONS AND RESULTS, *Water Science and Technology*, v. 29, n. 10-11, pp. 157-165, 1994.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Brasília*, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 19 mar 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430/2011. 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, Brasília*, 16 maio 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 19 mar. 2020.
- BUARQUE, P. M. C. Avaliação da remoção de micropoluentes emergentes e nitrogênio em sistemas anaeróbios e microaeróbios seguidos de filtros biológicos percoladores sujeitos à aeração natural e forçada. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017. (Tese de doutorado).
- CANTUSIO NETO, R.; SANTOS, L. U.; FRANCO, R. M. B. Evaluation of activated sludge treatment and the efficiency of the disinfection of Giardia species cysts and Cryptosporidium oocysts by UV at a sludge treatment plant in Campinas, southeast Brazil. *Water Science and Technology*, v. 54, n. 3, p. 89-94, 2006. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2006.453>
- CARMO Calijuri, Davi Gasparini Fernandes Cunha. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- CASTRO-HERMIDA, J. A.; GARCÍA-PRESEDO, I.; ALMEIDA, A.; GONZÁLEZWARLETA, M.; CORREIA, C. J. M.; MEZO, M. Contribution of treated wastewater to the contamination of recreational river areas with Cryptosporidium spp. and Giardia duodenalis. *Water Research*, v. 42, n. 13, p. 3528-38, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.05.001>

- CHAVES, V. S., Schneider, E. H. M., Lima, A. S. P., & Mendonça, L. C. (2018). Desempenho das estações de tratamento do esgoto de Aracaju. *Revista DAE*, 66(209), 51–58. <https://doi.org/10.4322/dae.2017.014>
- CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E. *et al.* Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção/Francisco Suetônio Bastos Mota e Marcos von Sperling(coordenadores). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.: il. Projeto PROSAB. ISBN: 978-85-7022-164-3.
- CHERNICHARO, C. A. Tratamento Secundário De Esgoto Sanitário Através Da Associação Em Série De Reatores Uasb E Biofiltros Aerados Submersos. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 450–462, 1993.
- DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2ª ed. São Paulo: RIMA, 2005.
- EDUARDO Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa. **Tratamento de esgotos domésticos** – ABES. 8ª EDIÇÃO. Rio de Janeiro. 2017
- FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 7-15, 2006.
- FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 5, n. 1, p. 3-19, 2006
- FREGONESI, B. M.; SAMPAIO, C. F.; RAGAZZI, M. F.; TONANI, K. A. A.; SEGURAMUÑOZ, S. I. Cryptosporidium e Giardia: desafios em águas de abastecimento público. *O Mundo da Saúde*, v. 36, n. 4, p. 602-609, 2012.
- FREIRE, Renata Carlos, Fernando José Araújo da Silva; Romildo Lopes de Oliveira Filho; Jane Mary Targino; Maria das Graças Monteiro Silva. *Brazilian Journal of Develop.*, Curitiba, v. 6, n.12, p102760-102773 dec. 2020. ISSN 2525-8761
- GONÇALVES, R. F., Araújo, V. de L., & Chernicharo, C. A. (1993). Tratamento Secundário De Esgoto Sanitário Através Da Associação Em Série De Reatores Uasb E Biofiltros Aerados Submersos. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 450–462.
- GONÇALVES, R. F. ; PASSAMANI, F. R. F. ; SALIM, F. P. ; SILVA, ^a L. B. ; MARTINELLI, G. ; BAUER, D. G. Associação de um Reator UASB e Biofiltros Aerados Submersos para o Tratamento de Esgoto Sanitário. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios; Coletânea de Trabalhos Técnicos. Carlos Augusto Lemos Chernicharo (Coordenador). Belo Horizonte, 2000, p. 119-34.
- INCT ETEs Sustentáveis – Monitoramento no tratamento de esgotos. Disponível em: <https://etes-sustentaveis.org/monitoramento-no-tratamento-de-esgoto/> acessado em março de 2022.
- JOLIS, D., HIRANO, R.A., PITT, P.A., MÜLLER, A., MAMAI, D. Assessment of tertiary treatment technology for water reclamation in San Francisco, California. *Water Science and Technology*, 33 (10-11), 181-192. 1996.
- JORDÃO, E. P.; ALEM SOBRINHO, P. Lodo de Fossas Sépticas: Uma Análise Crítica. In: ANDREOLI, V. A. Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: ABES, 2009, p. 375-383.
- KASSAB, G. *et al.* Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater - A review. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 10, p. 3299–3310, 2010.

- KHAN, A.A.; GAUR, R.Z.; TYAGI, V.K.; KHURSHEED, A.; LEW, B.; MEHROTR, I.; KAZM, A.A. Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review - Resources, Conservation and Recycling, 55, (12), 1232–1251, 2011.
- KUEHN, G. PROGRAMA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS MEDIANEIRA 2015. [s.l: s.n.].
- KUO, J.F., DODD, K.M., CHEN, C.L., HORVATH, R.W., STAHL, J.F. Evaluation of tertiary filtration and disinfection systems for upgrading high-purity oxygen-activated sludge plant effluent. Water Environment Research, 69 (34), 34-43. 1997.
- LEVSTEK, M.; PLAZL, I. “Influence of carrier type on nitrification in the moving-bed biofilm process”. Water Science and Technology, v. 59, n. 5, p. 875–882, 2009.
- MACKERETH, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F., 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. Dorset, Freshwater Biol. Ass. 121 p.
- MARTÍN-PASCUAL, J. *et al.* “Comparative kinetic study of carrier type in a moving bed system applied to organic matter removal in urban wastewater treatment”. Water, Air, and Soil Pollution, v. 223, n. 4, p. 1699–1712, 2012.
- MARTINS, V. F. Influência do meio suporte e da presença de vegetação no desempenho de filtros biológicos percoladores. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2016. (Dissertação Magister Scientiae).
- MATEUS, Bensal. Impacto dos Desastres no Subdesenvolvimento das Comunidades: Caso de Lobito. 2019. Paco Editorial.
- MENDONÇA, L.C. (2002). Microbiologia e Cinética de Sistema e Lodos Ativados como Pós-tratamento de Efluente de Reator Anaeróbio de Leito Expandido. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 219p., São Carlos, SP.
- MENEZES, R. O. A influência da recuperação no processo anammox em um filtro biológico percolador utilizando espumas de poliuretano como meio suporte. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2019. (Dissertação de mestrado).
- METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill, 5ª edição, 2016.
- MEYER, S. T. Chlorine Use in Water Disinfection, Trihalomethane Formation, and Potential Risks to Public Health. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, Jan/Mar, 1994.
- MUNGRAY, A. K.; MURTHY, Z. V. P. Post-treatment of up-flow anaerobic sludge blanket reactor effluents in activated sludge process-based system for anionic surfactants. Water and Environment Journal, v. 28, n. Cpcb 2001, p. 84–94, 2014
- NAGALLI, A.; DUARTE NEMES, P. Estudo Da Qualidade De Água De Corpo Receptor De Efluentes Líquidos Industriais E Domésticos. Revista Acadêmica: Ciência Animal, v. 7, n. 2, p. 131, 2017.
- NASCIMENTO, M.C.P. (2001). Filtro Biológico Percolador de Pequena Altura de Meio Suporte Aplicado ao Pós-Tratamento de Efluente de Reator UASB. Tese de M.Sc. 68 Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 124p.
- OLIVEIRA, S. M. A. C., & Sperling, M. Von. (2005). Evaluation of 166 treatment plants operating in Brazil, comprising several technologies. Part 1-Performance analysis. Eng. Sanit. Ambient, 10(4), 347–357.
- OLIVEIRA, Daniel Vieira Minegatti De. Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR) [Rio de Janeiro] 2008.

- XII, 91p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, MSc., Engenharia Civil, 2008) Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- PAIVA, Marcella Vianna Cabral *et al.* Avaliação Da Eficiência Da Estação De Tratamento De Esgoto- Ete Centro, Município De Petrolina- Pe, Brasil. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. 2017.
- PAULI, A. R. Tratamento em duas fases na purificação de efluentes de lixiviados pela integração dos processos de eletrocoagulação e oxidação biológica. Toledo: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018. (Tese de doutorado).
- PEREIRA, A. R. (2016). Reator Biológico Com Membrana (Mbr) Aplicado Ao Tratamento De Esgotos Gerados Por Unidades Residenciais Unifamiliares. 113.
- PEREIRA SANTOS, ANA SILVIA Avaliação de Desempenho de um Filtro Biológico Percolador em Diferentes Meios Suporte Plásticos [Rio de Janeiro] 2005 IX, 81p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Civil, 2005) Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE 1. Tratamento de Esgotos Domésticos I. COPPE/UFRJ II. Título (série)
- QIQI, Y.; QIANG, H.; IBRAHIM, H. T. “Review on Moving Bed Biofilm Processes”. Pakistan Journal of Nutrition, v. 11, n. 9, p. 706–713, 2012.
- RIBEIRO, J. C., & Silva, G. H. R. da. (2018). Acompanhamento operacional e avaliação de uma estação compacta de tratamento de esgoto sanitário: reator UASB seguido de filtro aerado submerso. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 23(1), 27–31. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018164458>
- RIBEIRO, J. T. Sub-produtos da desinfecção de efluentes de estações de tratamento de esgoto sanitário. Boletim Técnico Da Faculdade De Tecnologia De São Paulo, São Paulo, p 21-30, 2006.
- RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. Journal of water pollution control federation, v. 58, n.5, p. 406-411. 19
- RUSCALLED, Maël & BALAGUER, Marilós & COLPRIM, Jesús & PELLICER-NÀCHER, Carles & Ni, Bing-Jie & Smets, Barth & Sun, Sheng-Peng & Wang, Rongchang. (2011). 6.27 - Biological Nitrogen Removal from Domestic Wastewater. 10.1016/B978-0-08-088504-9.00533-X.
- RUSTEN, B., Hellstrom, B. G., Hellstrom, F., Sehested, O., Skjelfoss, E., Svendsen, B., Pilot Testing And Preliminary Design Of Moving Bed Biofilm Reactors For Nitrogen Removal At The Frevar Wastewater Treatment Plant, Water Science And Technology, V. 42, N. 4/5, Pp. 13-20, 2000.
- RYBICKI, S.M. 1997. Monograph: Phosphorus Removal From Wastewater. A Literature Review; Stockholm, Royal Institute of Technology.
- SALCEDO, J. C.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. Processo da retrolavagem em filtros de areia usados na irrigação localizada. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.6, p.1226-1237, nov./dez. 2011.
- SALIBA, P. D. (2016). Avaliação do desempenho de sistema de tratamento de esgoto sanitário composto de reator UASB seguido de lodo ativado: estudo de caso da ETE Betim Central-MG. Dissertação. UFMG. 2016.
- SANTARÉM, D. E. Caracterização Do Sistema De Esgotamento Sanitário Do Município. 1–5.2020.

- SANTOS, J. V. T. S. Avaliação do desempenho de filtro biológico como pós-tratamento de reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo visando ao reúso de esgoto sanitário. Delmiro Gouveia: Universidade Federal de Alagoas, 2018. (Trabalho de conclusão de curso).
- SANTOS, Luciana Silva dos. A influência da salinidade nos processos de tratamento de efluentes por lodos ativados. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- SILVA, T. M. R. Aplicação de sistema combinado por filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso ao tratamento de esgotos sanitários de unidades residenciais unifamiliares. Brasília: Universidade de Brasília, 2016. (Dissertação de mestrado).
- SIQUEIRA, Laura Maria. Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaerobia da vinhaça em reator de leito fluidizado. São Carlos: UFSCar, 2008.
- SCHERER, L. H. A eficiência desinfetante do hipoclorito de sódio em efluentes de pequenas comunidades. 2004. 118f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Departamento de Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto ALEGRE, 2004.
- TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; NICOLAU, C. E.; BARBOSA, M.; TONON, D. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. Eng. Sanit. Ambiental, v.17 n.3, jul/set 2012, p. 287-294.
- TORRES, P. Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- VAN HAANDEL, A. C.e LETTINGA, G. (1994) Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente. Epgraf. Campina Grande, PB.
- VOLSCHAN, Isaac. Reator UASB. Disponível em <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/infraestrutura/reator-usab>> Acesso em 03/03/2020.
- VON SPERLING, Marcos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados, v.04. Minas Gerais: ABES, 1997.
- VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA - UFMG. 3a ed. 456 p. 2005.
- VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4.ed.- Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
- WEF, BIOFILM REACTORS, Manual of Practice No. 35, Water Environment Federation, Alexandria, Virginia, 2010
- WINWARD, G. P.; AVERY, L. M.; STEPHENSON, T.; JEFFERSON, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: effect of organics and particles. Water Research, v. 42, n. 1-2, p. 483-491, 2008.

ANEXO 1 – DADOS DA ETE 1

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jan/2020	DBO - Entrada	585,37	mg/L	S/E
	DBO - Saída	100,57	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,35	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	32,6	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica:				82,82%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Fev/2020	DBO - Entrada	2037,17	mg/L	S/E
	DBO - Saída	54,2	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,42	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	32,6	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica:				97,34%

mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Mar/2020	DBO - Entrada	1017,98	mg/L	S/E
	DBO - Saída	108,94	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,45	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	32,2	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				89,30%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Abr/2020	DQO - Entrada	1006,36	mg/L	S/E
	DQO - Saída	416,76	mg/L	S/E
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,9	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				58,59%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Mai/2020	DBO - Entrada	1023	mg/L	S/E
	DBO - Saída	24,55	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,52	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,3	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	20	mg/L	Máx. 100
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				97,60%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jun/2020	DBO - Entrada	490,07	mg/L	S/E
	DBO - Saída	78,84	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,18	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,8	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				83,91%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jul/2020	DBO - Entrada	754,32	mg/L	S/E
	DBO - Saída	95,85	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,63	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,7	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	37,6	mg/L	Máx. 100
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			87,29%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Ago/2020	DBO - Entrada	1094,33	mg/L	S/E
	DBO - Saída	86,57	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,65	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,1	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			92,09%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Set/2020	DBO - Entrada	1474,08	mg/L	S/E
	DBO - Saída	118,19	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,12	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,4	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			91,98%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Out/2020	DBO - Entrada	960	mg/L	S/E
	DBO - Saída	114	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,7	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	41,2	mg/L	Máx. 100
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			88,13%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Nov/2020	DBO - Entrada	499,96	mg/L	S/E
	DBO - Saída	108,43	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,8	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,5	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	12	mg/L	Máx. 100
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			78,31%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Dez/2020	DBO - Entrada	930	mg/L	S/E
	DBO - Saída	112	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	pH	7,31	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,5	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			87,96%

ANEXO 2 – DADOS DA ETE 2

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jan/2020	DBO - Entrada	539,46	mg/L	S/E
	DBO - Saída	46,7	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	12,6	NTU	S/E
	pH	6,85	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	33,8	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	8,5	mg/L	S/E
	Coliformes termotolerantes	18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				91,34%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Fev/2020	DBO - Entrada	1074,15	mg/L	S/E
	DBO - Saída	32,22	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	6,9	NTU	S/E
	pH	6,61	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	29,2	°C	Máx. 40 °C
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				97,00%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Mar/2020	DBO - Entrada	768,37	mg/L	S/E
	DBO - Saída	34,03	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	10,1	NTU	S/E
	pH	7,14	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	34,2	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	>10,00	mg/L	S/E
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				95,57%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Abr/2020	DBO - Entrada	317,02	mg/L	S/E
	DBO - Saída	41,29	mg/L	S/E
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	10,8	NTU	S/E
	pH	7,34	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,9	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				86,98%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Mai/2020	DBO - Entrada	722,3	mg/L	S/E
	DBO - Saída	46,16	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	11,2	NTU	S/E
	pH	7,28	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,3	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	5	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	36	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	630	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				93,61%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jun/2020	DBO - Entrada	796,32	mg/L	S/E
	DBO - Saída	76,98	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	86,5	NTU	S/E
	pH	7,03	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,9	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				90,33%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jul/2020	DBO - Entrada	1770	mg/L	S/E
	DBO - Saída	115,5	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	138	NTU	S/E
	pH	7,01	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,4	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	20	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	240	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				93,47%
Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Ago/2020	DBO - Entrada	275,94	mg/L	S/E
	DBO - Saída	19,95	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	70,3	NTU	S/E
	pH	7,07	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,8	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			92,77%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Set/2020	DBO - Entrada	1036,44	mg/L	S/E
	DBO - Saída	118,07	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	112	NTU	S/E
	pH	7,12	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	830	NMP/100mL	Máx. 1000
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			88,61%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Out/2020	DBO - Entrada	570	mg/L	S/E
	DBO - Saída	46,5	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	98	NTU	S/E
	pH	7,02	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,3	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	20	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	700	NMP/100mL	Máx. 1000
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			91,84%

Data	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Nov/2020	DBO - Entrada	300	mg/L	S/E
	DBO - Saída	70	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	132	NTU	S/E
	pH	6,88	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,9	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	32	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	350	NMP/100mL	Máx. 1000
	A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			76,67%

Data	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Dez/2020	DBO - Entrada	780	mg/L	S/E
	DBO - Saída	118	mg/L	Máx. 120,0
	DQO - Saída	138,09	mg/L	S/E
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	49,9	NTU	S/E
	pH	6,84	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,1	°C	Máx. 40 °C
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	700	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				84,87%

ANEXO 3 – DADOS DA ETE 3

Data do ensaio	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jan/2020	DBO - Entrada	1143,78	mg/L	S/E
	DBO - Saída	42,28	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	49,2	NTU	S/E
	pH	7,37	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,4	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	6,25	mg/L	S/E
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				96,30%

Data do ensaio	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Fev/2020	DBO - Entrada	982,08	mg/L	S/E
	DBO - Saída	27,62	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	27,1	NTU	S/E
	pH	7,42	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,5	°C	Máx. 40 °C
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				97,19%

Data do ensaio	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Mar/2020	DBO - Entrada	516,87	mg/L	S/E
	DBO - Saída	45,62	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	34,4	NTU	S/E
	pH	7,31	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,2	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	10	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	24	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				91,17%

Data do ensaio	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Abr/2020	DQO - Entrada	730,62	mg/L	S/E
	DQO - Saída	317,02	mg/L	S/E
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	178	NTU	S/E
	pH	6,77	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				56,61%

Data do ensaio	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
----------------	--------	-----------	---------	---------------

Mai/2020	DBO - Entrada	683,1	mg/L	S/E
	DBO - Saída	81,34	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	62,2	NTU	S/E
	pH	7,44	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,5	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	10	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	50	mg/L	Máx. 100
	Coliformes termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				88,09%

Data do ensaio	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jun/2020	DBO - Entrada	992,3	mg/L	S/E
	DBO - Saída	144,58	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Coliformes Termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
	Turbidez	211	NTU	S/E
	pH	7,1	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,3	°C	Máx. 40 °C
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				85,43%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Jul/2020	DBO - Entrada	246,76	mg/L	S/E
	DBO - Saída	40,1	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	53,1	NTU	S/E
	pH	7,45	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	29,7	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	3,4	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	26,8	mg/L	Máx. 100
	Coliformes Termotolerantes	<18	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				83,75%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Ago/2020	DBO - Entrada	929,34	mg/L	S/E
	DBO - Saída	92,14	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	82,2	NTU	S/E
	pH	7,65	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	31,5	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	-	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	Coliformes Termotolerantes	490	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:				90,90%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Set/2020	DBO - Entrada	896,4	mg/L	S/E

DBO - Saída	80,68	mg/L	Máx. 120,0
Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
Turbidez	224	NTU	S/E
pH	6,53	-	5,0 - 9,0
Temperatura	31,4	°C	Máx. 40 °C
Cloro residual livre	5	mg/L	S/E
Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
Coliformes Termotolerantes	700	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			91,00%

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Out/2020	DBO - Entrada	390	mg/L	S/E
	DBO - Saída	62	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	120	NTU	S/E
	pH	6,96	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,4	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	-	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	44	mg/L	Máx. 100
	Coliformes Termotolerantes	200	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			84,10%	

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Nov/2020	DBO - Entrada	498,8	mg/L	S/E
	DBO - Saída	70,92	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	97,1	NTU	S/E
	pH	7,15	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,9	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	-	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	36	mg/L	Máx. 100
	Coliformes Termotolerantes	280	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			85,78%	

Mes	Ensaio	Resultado	Unidade	Especificação
Dez/2020	DBO - Entrada	390	mg/L	S/E
	DBO - Saída	100	mg/L	Máx. 120,0
	Sólidos sedimentáveis	<1	mL/L	Máx. 1
	Turbidez	87,3	NTU	S/E
	pH	7,05	-	5,0 - 9,0
	Temperatura	30,4	°C	Máx. 40 °C
	Cloro residual livre	-	mg/L	S/E
	Óleos e Graxas	-	mg/L	Máx. 100
	Coliformes Termotolerantes	350	NMP/100mL	Máx. 1000
A eficiência na remoção de matéria orgânica foi de:			74,36%	

ANEXO 4 – DADOS DA ETE 4

DATA	Tipo	Temp. (oC)	Turbidez	Sól. Sed.	DBO	DQO	pH	Salinidade	Cloro Resi- dual	Coli Fecal
jan/20	Bruto	31,0	82	0,5	253	650	7,05	0,21	-	>160.000
	Trat.	32,0	11	0,1	16	100	7,32	0,15	0,05	160.000
fev/20	Bruto	31,0	77,2	0,5	294	460	6,25	0,24	-	>160.000
	Trat.	32,0	10,9	0,1	29	84	6,46	0,14	0,06	160.000
mar/20	Bruto	32,1	245	2,5	493	720	7,12	0,27	-	>160.000
	Trat.	32,8	53,1	0,1	44	68	6,87	0,15	0,15	160.000
abr/20	Bruto	32,8	87	1,2	187	651	7,2	0,15	-	>160.000
	Trat.	34,3	15,4	0,1	14	84	6,8	0,10	1,09	8.000
mai/20	Bruto	31,1	89,6	0,2	248	364	7,6	0,14	-	>160.000
	Trat.	29,9	39,6	0,1	25	92	6,8	0,09	0,29	40.000
jun/20	Bruto	23,0	61,8	1,5	50	208	6,4	0,08	-	>160.000
	Trat.	28,7	55,2	0,5	41	204	6,2	0,10	0,15	36.000
jul/20	Bruto	28,4	84,3	0,5	223	384	6,94	0,13	-	>160.000
	Trat.	29,4	60	0,1	86	153	6,85	0,11	0,19	24.000
ago/20	Bruto	28,8	265	1,2	256	850	7,2	0,2	-	>160.000
	Trat.	26,4	99,2	0,1	24	198	6,86	0,14	0,54	20.000
set/20	Bruto	29,6	112	1,8	465	1751	7,2	0,14	-	>160.000
	Trat.	28,7	94	0,2	20	175	7,12	0,14	0,22	32.000
out/20	Bruto	30,8	96	1,2	277	1102	7,4	0,15	-	>160.000
	Trat.	30,1	65	0,15	22	180	7	0,22	0,25	28.000
nov/20	Bruto	32	79,7	0,5	87	464	7,61	0,16	-	>160.000
	Trat.	31,8	43,7	0,1	30	184	6,99	0,33	0,14	16.000
dez/20	Bruto	30,2	352	2,5	183	656	7,21	0,16	-	>160.000
	Trat.	28,3	27	0,1	21	78	7,01	0,13	0,29	28.000