

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



ALDO CÉSAR ROSA DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS EM ESTAÇÕES  
COMPACTAS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL URBANO EM  
MACEIÓ/AL**

Maceió  
2018

ALDO CÉSAR ROSA DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS EM ESTAÇÕES  
COMPACTAS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL URBANO EM  
MACEIÓ/AL**

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

Orientador: Prof. Dr. Antônio Pedro de  
Oliveira Netto

Co-Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Nélia Henriques  
Callado

Maceió  
2018

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário Responsável: Janis Christine Angelina Cavalcante

- S586c Silva, Aldo César Rosa da.  
Caracterização dos efluentes tratados em estações compactas para reuso direto não potável urbano em Maceió/AL / Aldo César Rosa da Silva. – 2018.  
94 f. : il. grafs., tabs.
- Orientador: Antônio Pedro de Oliveira Netto.  
Coorientadora: Nélia Henriques Callado.  
Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2018.
- Bibliografia: f. 89-94.
1. Tratamento de efluentes. 2. Esgoto – caracterização. 3. Reuso – Prática – Modalidade - Diretrizes. I. Título.
- CDU: 628.31



## Folha de Aprovação

ALDO CÉSAR ROSA DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS EM ESTAÇÕES COMPACTAS  
PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL URBANO EM MACEIÓ/AL

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

Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto (Orientador- PPGRHS)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nélia Henriques Callado (Coorientadora- PPGRHS)

### Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim  
(Examinador interno – PPGRHS/CTEC/UFAL)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Norma Candida dos Santos Amorim  
(Examinadora externa – IFAL)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho principalmente a Deus e meus pais, por estar sempre comigo em cada momento de minha vida, e por seu incansável amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus fonte de toda sabedoria e amor, por ter permitido tudo isso acontecer em minha vida, e não somente nestes anos como mestrando, mas também em todos os momentos de minha vida, pois ele sempre será a maior fonte de conhecimento, amor, sabedoria e paz que pode existir na vida do ser humano.

A esta Instituição, ao corpo docente, direção e administração pela oportunidade, a mim concedido, foi através de vocês que hoje vislumbro um horizonte superior, e cheio de expectativa para um mundo melhor profissionalmente.

O Orientador Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto e Co-Orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nélia Henriques Callado pelo suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Agradeço a todos os professores por mim proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, não somente por terem mim ensinado, mas por ter me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados os quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Aos meus pais, em especial minha mãe a Sra. Maria Rita pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Meus agradecimentos a minha namorada, os meus irmãos e colegas na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com toda certeza.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

A crescente demanda por água e os lançamentos de esgoto está provocando a contaminação e poluição dos corpos d'água. O reúso de esgoto doméstico tratado minimiza a demanda da água potável, e contribui com a diminuição do lançamento de efluentes em corpos de água. Este trabalho tem por objetivo a caracterização e enquadramento do efluente tratado de estações de tratamento de esgotos (ETEs), na modalidade de reúso direto não potável para fins urbanos. Para tanto foram avaliadas a eficiência de três ETEs, do tipo compactas, na cidade de Maceió por tratamento anaeróbio, aeróbio e misto, cujos efluentes tratados foram caracterizados e comparados com os padrões para as modalidades de reúso constantes na Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). O tratamento anaeróbio apresentou boa remoção DBO e DQO de 71,54% e 72,34%, ineficiente na remoção de nutriente e patogênicos. O tratamento aeróbio apresentou baixa remoção de DBO e DQO de 67,37% e 66,72%, e ineficiente na remoção de nutrientes e patogênicos. O tratamento misto apresentou boa remoção de DBO e DQO de 77,57% e 75,59%, não houve remoção de nutrientes e boa desinfecção. O efluente da ETE A, atendeu exigências para reúso no meio urbano os parâmetros: o fósforo total e o pH. O efluente da ETE B atendeu exigências para reúso no meio urbano os parâmetros: fósforo total, pH, nitrito e nitrato. O efluente da ETE C atendeu exigências para reúso no meio urbano os parâmetros: fósforo total, pH, nitrito, nitrato e os coliformes fecais. Diante dos resultados encontrados nas três ETEs monitoradas faz-se necessário adotar pós-tratamento, vislumbrando o reúso no meio urbano, visto que essas estações não são fabricadas e otimizadas para prática de reúso.

**Palavras-chave:** Caracterização de esgoto; Eficiência, Prática de reúso, Modalidade de Reúso; Diretrizes para reúso.

## ABSTRACT

The increasing demand for water and sewage launches is causing contamination and pollution of water bodies. The treated domestic sewage reuse minimizes the demand for potable water and contributes to the reduction of effluent discharge into bodies of water. The objective of this work is to characterize and fit the treated effluent from sewage treatment plants (ETEs), in the form of non - potable direct reuse for urban purposes. The efficiency of three compact type TEEs in the city of Maceió was evaluated by anaerobic, aerobic and mixed treatment, whose treated effluents were characterized and compared to the standards for the reuse modalities contained in Resolution 54/2005 of National Council of Water Resources (CNRH). The anaerobic treatment showed good BOD and COD removal of 71.54% and 72.34%, inefficient in the removal of nutrients and pathogens. The aerobic treatment showed low removal of BOD and COD of 67.37% and 66.72%, and inefficient removal of nutrients and pathogens. The mixed treatment had good removal of BOD and COD of 77.57% and 75.59%, there was no nutrient removal and good disinfection. The ETE A effluent, met requirements for reuse in the urban environment the parameters: total phosphorus and pH. The ETE B effluent met requirements for reuse in the urban environment parameters: total phosphorus, pH, nitrite and nitrate. The ETE C effluent met requirements for reuse in the urban environment parameters: total phosphorus, pH, nitrite, nitrate and fecal coliforms. In view of the results found in the three TEEs monitored, it is necessary to adopt post-treatment, observing the reuse in the urban environment, since these stations are not manufactured and optimized for reuse practice.

Keywords: Sewage characterization; Efficiency, Reuse practice, Reuse mode; Reuse Guidelines.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema de um reator anaeróbio de manta de lodo de fluxo ascendente .....	21
<b>Figura 2</b> - Fluxograma das fases do tratamento terciário ou avançado .....	26
<b>Figura 3</b> - Esquema da planta da estação de tratamento de esgoto .....	42
<b>Figura 4</b> - Vista do reator UASB (esquerda) e da caixa de divisão de fluxo (direita).....	44
<b>Figura 5</b> - Configuração das wetlands, e a disposição do efluente vindo do reator UASB.....	44
<b>Figura 6</b> - Ilustração da localização das estações estudadas na parte alta de Maceió .....	47
<b>Figura 7</b> - Fluxograma da estação de tratamento de esgoto anaeróbio A.....	48
<b>Figura 8</b> - Fluxograma da estação de tratamento de esgoto aeróbio (B) .....	49
<b>Figura 9</b> - Fluxograma da estação de tratamento de esgoto misto (C) .....	50

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Atendimento e déficit de acesso a abastecimento de água e esgotamento sanitário .....	18
<b>Quadro 2</b> - Atendimento e déficit por componente do saneamento básico no Brasil em 2010 .....	18
<b>Quadro 3</b> - Principais características físicas, químicas e biológicas dos esgotos sanitários ...	19
<b>Quadro 4</b> - Níveis de tratamento e os principais poluentes removidos .....	20
<b>Quadro 5</b> - Características gerais do tratamento aeróbio por lodo ativado .....	23
<b>Quadro 6</b> - Experiências nacionais e internacionais de reúso aplicado em diferentes setores	30
<b>Quadro 7</b> - Modalidade de reúso estabelecida na resolução de nº 54/2005 .....	34
<b>Quadro 8</b> – Estações compactas de tratamento de esgoto monitorada.....	48
<b>Quadro 9</b> - Parâmetros analisados, métodos e frequências de análises.....	52
<b>Quadro 10</b> – Propostas para água de reúso tratadas em ETEs de condomínios.....	86

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Temperatura do afluente e efluente do processo anaeróbio da ETE A .....	56
<b>Gráfico 2</b> – Perfil temporal e eficiência por processo anaeróbio.....	57
<b>Gráfico 3</b> - Perfil temporal e eficiência na remoção de matéria orgânica em termo de DQO	58
<b>Gráfico 4</b> – Perfil temporal e eficiência na remoção de matéria orgânica em termo de DBO	58
<b>Gráfico 5</b> – Perfil temporal e eficiência do afluente e efluente por tratamento anaeróbia. ....	59
<b>Gráfico 6</b> – Perfil temporal e eficiência da remoção de fósforo total por tratamento anaeróbio .....	59
<b>Gráfico 7</b> - Temperatura do afluente e efluente do processo anaeróbio da ETE B .....	62
<b>Gráfico 8</b> – Perfil temporal e eficiência dos sólidos sedimentáveis por processo aeróbio.....	63
<b>Gráfico 9</b> - Perfil temporal e eficiência da DQO na ETE B no período monitorado. ....	65
<b>Gráfico 10</b> – Perfil temporal e eficiência da DBO na ETE B no período monitorado .....	65
<b>Gráfico 11</b> - Variação e eficiência da remoção Nitrogênio Total por processo aeróbio. ....	66
<b>Gráfico 12</b> - Perfil temporal e eficiência da remoção de fósforo da ETE B.....	67
<b>Gráfico 13</b> - Variação da temperatura do esgoto bruto e tratado.....	69
<b>Gráfico 14</b> – Perfil temporal e eficiência da remoção de sólidos sedimentáveis .....	70
<b>Gráfico 15</b> - Eficiência da remoção de matéria orgânica em termos de DBO .....	71
<b>Gráfico 16</b> - Eficiência da remoção de matéria orgânica em termos de DQO .....	71
<b>Gráfico 17</b> - Remoção e eficiência do nitrogênio total presente no afluente e efluente .....	72
<b>Gráfico 18</b> - Perfil temporal e eficiência da remoção de fósforo total pela ETE C.....	73
<b>Gráfico 19</b> - Valores comparativos de eficiência das estações estudadas .....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tempo de detenção hidráulica de esgotos (em dia), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em °C), para tratamento anaeróbio .....	23
<b>Tabela 2</b> - Modalidades de reúso, tratamento recomendado e concentração esperada de alguns parâmetros .....	25
<b>Tabela 3</b> - Parâmetros para água de reúso - Classe 1,2 e 3.....	37
<b>Tabela 4</b> - Parâmetros para água de reúso - Classe 4 .....	38
<b>Tabela 5</b> - Composição típica de esgoto não tratado .....	38
<b>Tabela 6</b> - Classificações e respectivos valores para esgoto tratado – NBR 13969 .....	39
<b>Tabela 7</b> - Qualidade da água de reúso adotados para o Parque Temático-SP e ETE -ABC ..	40
<b>Tabela 8</b> - Diretrizes e padrões adotados para reúso por vários países .....	40
<b>Tabela 9</b> - Limites máximo permitido para reúso urbano e irrigação adotado por alguns países .....	41
<b>Tabela 10</b> - Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação A .....	55
<b>Tabela 11</b> - Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação B .....	61
<b>Tabela 12</b> – Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação C.....	68
<b>Tabela 13</b> - Valores comparativos da eficiência atingida por processos biológicos diferentes .....	74
<b>Tabela 14</b> - Valores máximos dos parâmetros utilizados por vários países praticantes de reúso de água.....	77
<b>Tabela 15</b> - Sugestões de valores máximos de parâmetros adotados para o reúso direto não potável para fins urbanos em Maceió .....	86

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIESP	Centro de Indústrias do Estado de São Paulo
C. TOTAIS	Coliformes Totais
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NH <sub>3</sub>	Nitrogênio Amoniacal
OMS / WHO	Organização Mundial de Saúde / World Health Organization
PO <sub>4</sub>	Fósforo Total
SACs	Sistema alagado construído
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
T ° C	Temperatura em graus Celsius
TDH	Tempo de detenção hidráulica
THM	Trihalometanos
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (reator anaeróbico de manta de lodo e fluxo ascendente)
ONU	Organização das Nações Unidas

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	OBJETIVO GERAL.....	16
2.1.	Objetivos Específicos.....	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1.	O Fenômeno da Urbanização.....	17
3.2.	Panorama do esgotamento sanitário no Brasil.....	17
3.3.	Esgoto Sanitário.....	19
3.4.	Aspectos gerais de contaminação por esgoto.....	19
3.5.	Tratamento de esgoto.....	20
3.5.1.	Tratamento Anaeróbio de esgoto.....	21
3.5.2.	Tratamento Aeróbio de esgoto.....	23
3.6.	Pós-Tratamento aplicado ao polimento de efluente tratado.....	24
3.7.	Panorama do uso da água.....	28
3.8.	Impactos das alterações climáticas na água do planeta.....	29
3.9.	Reúso de Água.....	30
3.9.1.	Histórico da aplicação do reúso direto para fins não potável.....	30
3.9.2.	Legislação, normas e diretrizes sobre reúso de água.....	31
3.9.3.	Diretrizes nacionais e internacionais para o reúso de esgoto doméstico tratado.....	36
3.10.	Aplicações de reúso.....	42
3.10.1.	Estudo de caso: Reúso de esgoto doméstico tratado por sistema combinado destinado ao reúso urbano.....	42
3.10.2.	Aplicação de <i>wetland</i> para o polimento de efluente de reator UASB.....	43
3.10.3.	Aplicação de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte.....	45
4.	METODOLOGIA.....	47
4.1.	Área de trabalho.....	47
4.2.	Caracterização das ETEs e das suas áreas de atendimento.....	47
4.2.1.	ETE por processo anaeróbio - A.....	48
4.2.2.	ETE por processo aeróbio - B.....	49
4.2.3.	ETE por processo misto - C.....	50
4.3.	Levantamento do potencial das alternativas para a reuso local.....	51
4.4.	Caracterização dos afluentes e efluentes.....	51
4.5.	Avaliação da eficiência das ETEs.....	53

4.6. Avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente gerado.....	53
4.7. Diretrizes para tomada de decisão na implantação de ETEs.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1. Caracterização do afluente e efluente das ETEs e eficiência dos sistemas.....	55
5.1.1.ETE compacta por processo anaeróbio (A) .....	55
Parâmetro .....	55
Unidade .....	55
Eficiência.....	55
5.1.2.ETE por processo aeróbio (B) .....	61
Parâmetro .....	61
Unidade .....	61
Eficiência.....	61
5.1.3.ETE compacta por processo misto (C) .....	68
5.1.4.Comparação das ETEs estudadas .....	74
5.2. Potencial de reúso das estações compactas de tratamento de esgoto .....	76
5.2.1.ETE compacta com processo anaeróbio .....	79
5.2.2.ETE compacta por lodo ativado convencional.....	80
5.2.3.ETE compacta por processo misto (anaeróbio/aeróbio) .....	81
5.3. Sugestões de Pós tratamento para melhoria da qualidade do esgoto tratado nas ETEs.....	83
5.4. Proposta de diretrizes para reúso direto não potável para fins urbanos em Maceió.....	84
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	89
REFERÊNCIAS DE LITERATURA .....	91

## 1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, o planeta vem enfrentando grande problema de possível escassez de recursos naturais. A demanda por matéria prima para produção industrial, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, causa impacto direto onde o consumo em proporções elevadas contribui para a escassez definitiva dos recursos naturais. A produção industrial em larga escala, nas últimas décadas, teve um aumento alarmante juntamente com o crescimento populacional, que atualmente ultrapassa os 7,3 bilhões de habitantes.

Dentre os recursos naturais, a água vem sendo consumida de maneira alarmante e descartada sem o tratamento adequado para o lançamento no meio ambiente. Dessa forma, a preocupação aumenta pois, o planeta dispõe de menos de 1% de toda a água existente acessível e com os padrões de potabilidade aceitáveis, e, dessa parcela, a maior parte vai para irrigação (70%), ou seja, produção de alimentos, outra parte para indústria (24%) e consumo humano (6%). Diante desse cenário, é necessário buscar alternativas para carência, e uma possibilidade é o reúso direto não potável para fins urbanos (SOUSA FILHO, 2013).

Conforme Cuba (2015), estudos na área de saneamento e reutilização de águas servidas fazem referência e incentivam a adoção do esgoto doméstico tratado como uma nova alternativa para a irrigação na agricultura, para fins urbanos não potável, na indústria e na construção civil. Pois a reciclagem dessa água contribui significativamente para redução dos lançamentos de esgoto bruto em corpos d'água, minimiza a demanda de água captada nos mananciais destinada a irrigação, melhora as condições de potabilidade dos recursos hídricos destinados ao abastecimento humano e dessedentação animal e a intrusão salina.

Essa nova alternativa possibilita o reúso do esgoto sanitário reduzindo significativamente vazões lançadas diariamente nos corpos d'água, tornando-o economicamente e ambientalmente amigável, e eliminando a imagem de negatividade que está associada a essa prática. Dessa forma, cria-se um novo panorama na concepção de se utilizar água de reúso no Brasil, visto que atualmente não há grande aceitação por parte das pessoas ao uso de esgoto doméstico tratado, nas américas. No entanto o reúso de água não potável é uma prática recorrente no Japão, China e Indonésia, essas objeções sofrem influências religiosas e socioculturais (HESPANHOL 2002).

O tratamento de esgoto adequado e planejado é um ponto forte na prática do reúso. Estudos apontam para uma significativa redução da intrusão da cunha salina, índices positivos de erradicação de doenças de veiculação hídrica, maior produtividade agrícola, melhores



condições de vida da população. Mas esse cenário necessita de bastante atenção visto que o excesso de exposição de esgoto tratado pode causar poluição do solo por nitrato, e sua percolação pode contaminar o lençol freático, refletindo nos corpos d'água, pela manutenção direta dos mananciais com o reabastecimento provenientes dos aquíferos.

A resolução do CONAMA N° 430/2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água, como também complementa e altera a resolução CONAMA 357/2005, apresenta os limites máximos para o lançamento de efluentes diretamente nos mananciais, emissário, e em rede coletora, no qual o efluente não pode modificar as características presentes do corpo receptor, e deve obrigatoriamente seguir os valores estabelecidos no Art.21, desta resolução (CONAMA, 2011).

A resolução N° 54 de 28 de novembro de 2005, que dispõe sobre as modalidades para o reúso direto de água não potável auxiliando na tomada de decisão e incentivo ao reúso, como alternativa ao combate da escassez de água que o país vem apresentando (RESOLUÇÃO N° 54, 2005).

Maceió está situada na zona costeira, banhada por praias, rios e o complexo lagunar estuarino mundaú-manguaba, no qual recebem contribuições de lançamentos de esgoto, ocasionando a poluição e contaminação desses mananciais e de suas praias. Atualmente Maceió cresceu bastante e apresenta espaço para se expandir cada vez mais aumentado o volume de esgoto lançado nos corpos d'água. Hoje o município necessita de melhorias no saneamento básico, para destinar corretamente o esgoto que é produzido, e evitar a poluição e a contaminação dos seus corpos d'água e suas praias. Esse trabalho apresenta-se como uma referência, apresentando a possibilidade de reúso do esgoto tratado por estações descentralizadas no meio urbano.

Nesse aspecto, esse trabalho tem como objetivo caracterizar e enquadrar do ponto de vista qualitativo o esgoto doméstico tratado em estações compactas de esgoto nas modalidades de reúso, estabelecidas pelas normas brasileiras e internacionais, assim como apresentar medidas mitigadoras visando os órgãos governamentais para evitar a contaminação dos corpos d'água e dá a destinação correta do esgoto.

## **2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é investigar o potencial de reúso dos efluentes tratados em estações compactas na cidade de Maceió para fins urbanos não potáveis, assim como também seus potenciais consumidores.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- ✓ Caracterizar o afluente e efluente das estações monitoradas;
- ✓ Analisar a eficiência das estações de tratamento de esgoto compactas, e correlacionar com o tipo de tratamento e configuração;
- ✓ Classificar e enquadrar os efluentes em classes de reúso;
- ✓ Avaliar a necessidade de pós-tratamento do efluente tratado;
- ✓ Apresentar alternativas para a reúso desses efluentes;
- ✓ Disponibilizar diretrizes para tomada de decisão na implantação de ETEs.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. O Fenômeno da Urbanização**

Com a revolução industrial, o mundo passou por um processo de modernização e desenvolvimento, que alavancou a migração das pessoas da zona rural para o meio urbano, em busca de melhores condições de vida. Com essa migração, surge a necessidade de ampliação no meio de locomoção, nas moradias, no abastecimento de água e no saneamento dessas cidades, ou seja, começa a aparecer problemas que antes não havia. Diante desse cenário aumenta a preocupação com a questão do saneamento básico e conseqüentemente a disposição final do esgoto doméstico (UNFPA, 2007 p.6-9; LEAL; FARIAS e ARAÚJO, 2008).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU; UNFPA, 2007 p.6-9), a uma projeção que à população habitando as cidades em 2030 atingirá em média 5 bilhões de habitantes, e 80 % das pessoas que habitarão as cidades residirão nos países em desenvolvimento. Para Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2000), o Brasil é o quinto país que abriga maior número de pessoas no meio urbano.

Para Leal, Farias e Araújo (2008), o processo de urbanização do Brasil ocorreu, logo após o período pós-guerra com a industrialização acelerada que surgiu e conseqüentemente uma série de regras ambientais foram desrespeitadas ou negligenciadas, pois o foco era o desenvolvimento da urbanização. Em meados dos anos 50 até 90, houve um acréscimo na população de 36% para 75%, resultando numa série de poluição, dentre elas a poluição sonora, visual, ar e hídrica.

O crescimento urbano trouxe consigo inúmeros efeitos negativos, dentre eles os problemas ambientais, como a falta de infraestrutura para o saneamento ainda não era adequada, os problemas foram se agravando, pois o lançamento de esgoto provocou efeitos deletérios ao meio ambiente, como poluição do solo, dos mananciais, rios, lagos, lagoas e conseqüentemente sérios problemas a saúde da população urbana, pela falta de tratamento adequado dos esgotos domésticos (LEAL, FARIAS e ARAÚJO, 2008).

#### **3.2. Panorama do esgotamento sanitário no Brasil**

Em 2010, uma fração da população do Brasil não possuía coleta de esgoto adequada. Os números são alarmantes, apenas 53% da população brasileira tem rede de coleta de esgoto

com coleta e tratamento adequado. Apenas uma fração desse esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento, 35% da população não recebe coleta de esgoto adequada, geralmente são dispostos em fossas rudimentar, rio, lago, mar, vala e outros destinos e/ou não possui banheiro no domicílio (PLANSAB, 2013).

**Quadro 1 - Atendimento e déficit de acesso a abastecimento de água e esgotamento sanitário**

COMPONENTE	ATENDIMENTO ADEQUADO	DEFICIT	
		Atendimento precário	Sem atendimento
ABASTECIMENTO DE ÁGUA	Fornecimento de água potável por rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, em qualquer caso sem intermitências (paralisações ou interrupções).	Dentre o conjunto com fornecimento de água por rede e poço ou nascente, a parcela de domicílios que:	
		Não possui canalização interna;	
		Recebe água fora dos padrões de potabilidade;	
		Tem intermitência prolongada ou relacionamentos;	
		Uso de cisterna para água de chuva, que forneça água sem segurança sanitária e, ou, em quantidade insuficiente para a proteção à saúde;	
		Uso de reservatório abastecido por carro pipa.	
ESGOTAMENTO SANITÁRIO	Coleta de esgotos seguida por tratamento;	Coleta de esgoto não seguida de tratamento;	
	Uso de fossa séptica.	Uso de fossa rudimentar.	
		Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas consideradas inadequadas.	

Fonte: PLANSAB, 2013.

As informações no Quadro 1 apresenta a situação para o abastecimento de água e seu fornecimento para a população, necessitando de melhorias quali-quantitativa no atendimento.

**Quadro 2 - Atendimento e déficit por componente do saneamento básico no Brasil em 2010**

Componente	Atendimento Adequado		Déficit			
			Atendimento Precário		Sem Atendimento	
	(x 1.000hab)	%	(x 1.000hab)	%	(x 1.000hab)	%
Abastecimento de Água	112.497	59,4	64.160	33,9	12.810	6,8
Esgoto Sanitário	75.369	39,7	96.241	50,7	18.180	9,6

Fonte: PLANSAB, 2013.

No Quadro 2 é apresentado a porcentagem de coleta de esgoto, percebe-se, que ainda há um déficit de 50,7% para a coleta do esgoto sanitário, esse número é alarmante visto que a disposição inadequado do esgoto, pode causa efeitos deletérios a saúde da população, e a poluição do meio ambiente.

### 3.3. Esgoto Sanitário

A origem dos esgotos sanitários vêm dos despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais que infiltra, e uma pequena parcela de despejos industriais. São de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. A composição básica do esgoto é água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (JORDÃO e PESSOA, 2009).

**Quadro 3** - Principais características físicas, químicas e biológicas dos esgotos sanitários

<b>FÍSICOS</b>	<b>QUÍMICOS</b>	<b>BIOLÓGICOS</b>
Temperatura	Sólidos Totais	Microrganismos
Cor	Matéria Orgânica	
Odor	Nitrogênio Total	
Turbidez	Fósforo	
	pH	
	Alcalinidade	
	Cloretos	
	Óleos e Graxas	

**Fonte:** Adaptado de (Jordão e Pessoa, 2009).

O esgoto sanitário é constituído basicamente por água cerca de 99,9%. A fração de 1% é constituída de materiais orgânicos e inorgânicos, em suspensão e dissolvidos, e microrganismo, cujos principais parâmetros de caracterização estão apresentados no Quadro 3 (JORDÃO e PESSOA, 2009).

### 3.4. Aspectos gerais de contaminação por esgoto

Conforme estudos nessa área pelo IBGE (Atlas de Saneamento 2011), as práticas de tratamento de esgoto sanitário e efluentes industriais, e sua destinação final, ainda querer muitos estudos nessa área, e investimento em abastecimento e saneamento. O tratamento de efluentes líquidos de modo geral, atinge valores de remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos totais, nutrientes e outros componentes presentes como metais pesados, ainda em proporções variadas, dependendo de cada tecnologia aplicada ao tratamento e geralmente

esses efluentes precisam de pós tratamento antes da destinação final. A cultura de lançamento de esgoto sem tratamento ainda prevalece em boa parte dos países em desenvolvimento.

Os principais danos causados pelo lançamento de despejos de esgoto sanitário e industrial é a poluição dos rios, lagos, lagoas e o lençol freático, afetando diretamente a saúde da população, causando efeitos deletérios. A coleta de esgoto e seu tratamento ainda é precária no Brasil. A destinação final é o lançamento em rios, lagos e lagoas, provocando a indisponibilidade de captação nos corpos d'água, aumentando a demanda por novas fontes água. Essa prática reflete diretamente no aumento das doenças de veiculação hídrica (KRONEMBERGER *et al.* 2011).

### 3.5. Tratamento de esgoto

Para o tratamento de esgoto há os níveis de tratamento e suas contribuições, cada nível remove uma parcela dos componentes presentes nos esgotos. No Quadro 4, está resumido os níveis de tratamento. Há também o pré-tratamento, diferentemente do tratamento preliminar, esse é aplicado ao esgoto em qualquer nível para adequar o esgoto e dá a destinação cabível, esse tratamento é recorrente em esgoto industrial.

**Quadro 4** - Níveis de tratamento e os principais poluentes removidos

NÍVEL	REMOÇÃO
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros que ficam retidos nas grades, areia que fica retida na unidade de desarenação e, eventualmente, gordura e óleo (caixas de gordura).
Primário	Sólidos em suspensão. Podem ser removidos pelo uso de decantadores, flutuadores e processos físico-químicos de coagulação-floculação.
Primário avançado	Remoção acelerada de sólidos pela adição de químicos ou através de filtração.
Secundário	DBO em suspensão não removida no tratamento primário ou DBO solúvel (sólidos dissolvidos)
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos)
Terciário	Nutrientes, patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, sólidos em suspensão remanescente.
Avançado	Remoção de material suspenso e dissolvido remanescente, visando ao reuso da água. Exemplo: adsorção por carvão, eletrólise, troca iônica, membranas etc.

**Fonte:** Esgotamento sanitário: qualidade da água e controle da poluição: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Salvador: ReCESA, 2008. 87 p.

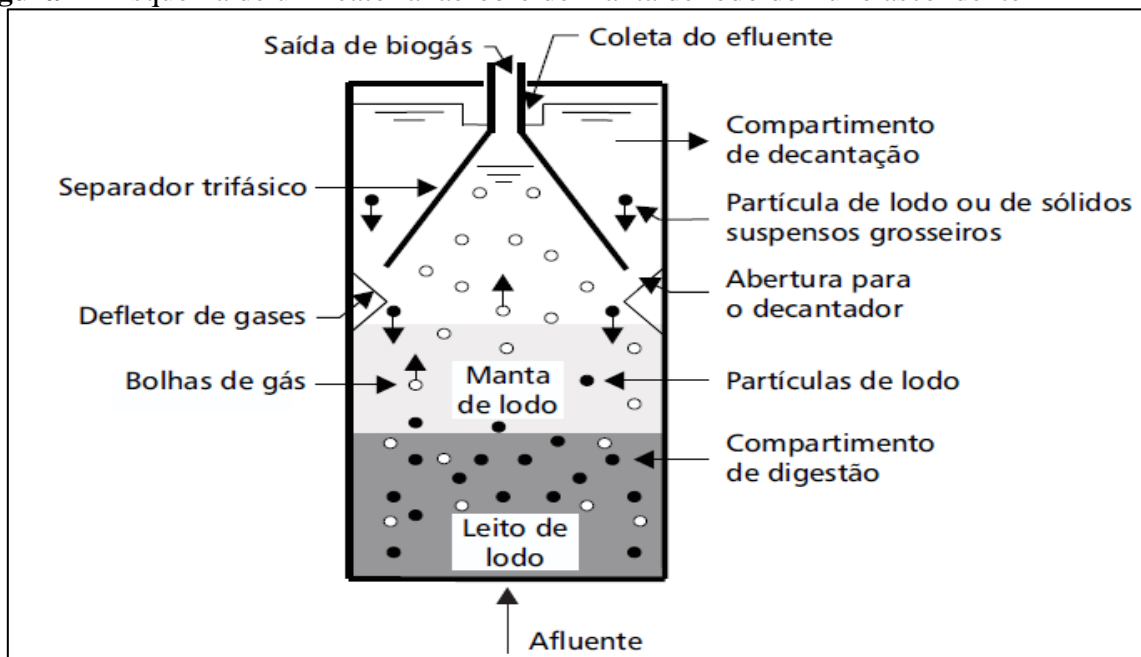
### 3.5.1. Tratamento Anaeróbico de esgoto

Há vários reatores utilizados para tratamento anaeróbico de esgoto, dentre eles merece destaque o reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo *UASB* (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), Figura 1, por apresentar fácil operação, manutenção e alto teor de remoção de matéria orgânica (FERREIRA, 2013).

Esse tratamento tem baixo custo de instalação e operação, área de implantação reduzida, alta retenção de biomassa, baixo tempo de detenção hidráulica, redução no consumo de energia, baixa produção de lodo, suporta altas cargas de matéria orgânica. É um sistema que apresenta um bom desempenho em regiões tropicais e subtropicais como o Brasil (CAMPOS, 1999; CHERNICHARO, 2007; FERREIRA, 2013).

Diante das vantagens apresentadas pelo tratamento anaeróbico em comparação com o aeróbico, a cada dia aumenta a sua utilização no Brasil. Ao longo do tempo a visão negativa do tratamento anaeróbico reduz diante de pesquisas teóricas e práticas, contribuindo de forma significativa para o aprimoramento e expansão no Brasil (CHERNICHARO, 2007).

**Figura 1** - Esquema de um reator anaeróbico de manta de lodo de fluxo ascendente



**Fonte:** FERREIRA, 2013. Apud CAMPOS, 1999

O processo anaeróbio é realizado por quatro principais etapas. Na hidrólise, o material orgânico é convertido em compostos dissolvidos, as proteínas são degradadas por meio de peptídeos para formar aminoácidos, os carboidratos são transformados em açúcares (mono e dissacarídeos), e os lipídeos em ácidos graxos de longa cadeia carbônica (C15 E C17) e glicerina. Na acidogênese os compostos dissolvidos gerados no processo de hidrólise são absorvidos por bactérias fermentativas e excretadas como substâncias orgânicas simples ácidos graxos voláteis de cadeia curta, ácido láctico e compostos minerais como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, etc. A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, das quais a maioria é anaeróbia obrigatória. Acetogênese é a conversão dos compostos formados pela acidogênese em substrato para a produção do metano e o acetato. A metanogênese produz o metano a partir de bactérias acetotróficas reduzindo o ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas a partir do hidrogênio e do dióxido de carbono (DEMIREL, et al. 2008).

**Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica:**



**Metanogênese hidrogenotróficas:**



O tratamento biológico anaeróbio é adequado para esgotos de alta concentração de demanda química de oxigênio (DQO), se adequando melhor a carga orgânica acima de 4000mg/L. O tratamento anaeróbio a taxa de crescimento dos microrganismos é baixa, como também a produção de lodo é baixa, e o esgoto tratado por esse tipo de tratamento biológico geralmente para ser obter uma qualidade melhor do efluente se aplica um pós-tratamento, (CHAN, et al. 2009).

A aplicação do processo anaeróbio leva em consideração três parâmetros, o pH, temperatura e o tempo de retenção, e geralmente operam em temperatura de 35 °C, quando essa temperatura reduz a menos de 15 °C, torna-se mais lenta a digestão, devido a velocidade de remoção do substrato. A maioria dos sistemas empregados ocorrem nas faixas mesofílica (30 a 35 °C) e termofílica (50 a 55 °C), embora atividade metanogênica tenha sido reportada em temperaturas abaixo de 15 °C e acima de 65 °C (ZHANG et al, 2006). O pH deve está na



faixa de neutralidade entre 6,5 e 7,5, e o tempo de retenção depende do substrato a ser degradado (ALEXIOU *et al.* 2003). A Tabela 1 apresenta dados do tempo de detenção aplicados em processo anaeróbio para diferentes vazões, em função da temperatura.

**Tabela 1** - Tempo de detenção hidráulica de esgotos (em dia), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em °C), para tratamento anaeróbio

Vazão L/dia	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15 °C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1 500	1,17	1,0	0,92
De 1 501 a 3 000	1,08	0,92	0,83
De 3 001 a 4 500	1,00	0,83	0,75
De 4 501 a 6 000	0,92	0,75	0,67
De 6 001 a 7 500	0,83	0,67	0,58
De 7 501 a 9 000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9 000	0,75	0,50	0,50

Fonte: Adaptado de FERREIRA, f. D.; CORAIOLA, M. 2008

### 3.5.2. Tratamento Aeróbio de esgoto

O processo de tratamento aeróbio consiste no uso de oxigênio livre ou dissolvido pelos microrganismos (bactérias aeróbios) na conversão de matéria orgânica em biomassa e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O processo biológico aeróbio é comumente utilizado na remoção de matéria orgânica com a finalidade de maior eficiência do sistema. Geralmente são adequados para esgoto de baixos valores de demanda química de oxigênio (DQO), menor 1000 mg/L. No Quadro 5 constam alguns parâmetros do tratamento aeróbio por lodo ativado citado na literatura (CHAN, *et al.* 2009).

**Quadro 5** - Características gerais do tratamento aeróbio por lodo ativado

Tempo de retenção celular (dias)		Relação Alimento/Microrganismo (kgDBO/SVT/dia)		Tempo de detenção hidráulica (horas)	
SPERLING, 1996	METCALF, 1991; QASIM, 1985	SPERLING, 1996	METCALF, 1991; QASIM, 1985	SPERLING, 1996	METCALF, 1991; QASIM, 1985

-	-	-	Fluxo pistão	Mistura completa	-	Fluxo pistão	Mistura completa
Entre 4 e 10	Entre 5 e 15	Entre 0,3 e 0,8	Entre 0,2 e 0,4	Entre 0,2 e 0,6	Entre 6 a 8	Entre 4 a 8	Entre 3 e 5

Fonte: Adaptado de Ferreira e Coraiola (2008).

Os microrganismos aeróbios transformam os compostos orgânicos de alta energia de carbono, em compostos de baixa energia, o dióxido de carbono. A matéria orgânica presente nos esgotos sanitários são compostas por carboidratos, gorduras, proteínas, ureia, sabões e detergentes. Todos estes compostos contêm carbono, hidrogênio e oxigênio. As águas residuais domésticas também incluem azoto, enxofre e fósforo ligados organicamente. Durante a degradação bioquímica por bactérias decompositoras, estes três elementos são oxidados biologicamente da forma orgânica para forma mineralizada, isto é, N-NH<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> e PO<sub>4</sub> (BUCHANAN et al. 2004).

Vários Fatores que interferem diretamente no processo aeróbio, são eles: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, e outros fatores afetam a seleção natural, sobrevivência e crescimento de microrganismos e sua taxa de oxidação bioquímica.

A temperatura influencia na taxa de bio-oxidação. Várias espécies microbianas têm temperaturas ótimas para sobrevivência e síntese celular. Os microrganismos psicófilos prosperam em uma faixa de temperatura de - 2 a 30 °C e a temperatura ideal é de 12 a 18 ° C. Microrganismos mesofílicos prosperam em uma faixa de temperatura de 20 a 45 °C. e a temperatura ideal é de 25 a 40 °C. Os microrganismos termofílicos prosperam em uma faixa de temperatura de 45 a 75 ° C e a temperatura ideal é de 55 a 65 °C. Em geral, com o aumento da temperatura, a atividade microbiana aumenta (BUCHANAN et al. 2004).

Outro fator determinante no sistema aeróbio é o pH, geralmente o crescimento microbiano no seu estado ótimo é com o pH variando entre 6,5 e 7,5. Nota-se que as bactérias têm um melhor crescimento em meio ligeiramente alcalino (BUCHANAN et al. 2004).

### 3.6. Pós-Tratamento aplicado ao polimento de efluente tratado

O pós-tratamento auxilia na melhoria da qualidade do efluente obtido e sua destinação final. No Brasil são utilizados alguns sistemas de tratamento de esgoto doméstico, dentre eles os mais adotados são, o tratamento anaeróbio e o tratamento aeróbio. A maioria das estações de tratamento de esgoto os adotam para remoção de matéria orgânica, nutrientes e

patogênicos, ambos se enquadram no nível secundário, necessitando de um pós-tratamento para remover os nutrientes e patogênicos remanescentes, que provocam riscos à saúde pública e contaminação ao meio ambiente como mal odores, aspectos desagradáveis, eutrofização, poluição e contaminação dos corpos receptores (mananciais, lagos, lagoas, rios e mares). Na adoção do efluente tratado por processo anaeróbio e aeróbio para o reúso direto para fins não potáveis, o pós-tratamento possibilita uma melhor eficiência na qualidade do efluente tratado (MARUZZI, 2008, p. 12); (TOSETTO, 2005, p. 22) e (DIELLE, 2014, p. 7). Na Tabela 2 estão algumas das várias combinações de sistema de tratamento de esgoto com o pós-tratamento, e a eficiência na remoção de parâmetros que são encontrados no esgoto tratado.

**Tabela 2** - Modalidades de reúso, tratamento recomendado e concentração esperada de alguns parâmetros

REUSOS	Tratamento recomendado	Concentração esperada de alguns parâmetros				
		SST (mg/L)	DBO (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	CT/100 mL
Rega de forragens, sementes	Primário	80	120	N.A	N.A	N.A
Rega de pastagens, jardins públicos, lagos ornamentais	Lodos ativados e desinfecção	20	20	N.A	N.A	< 23
	Filtro biológico, lodos ativados e desinfecção	10	10	N.A	N.A	< 23
Aplicações que demandam remoção de nitrogênio	Aeração prolongada e desinfecção	10	10	5	N.A	< 23
Aplicação agrícola parques e jardins e recreação de contato primário	Secundário e desinfecção	10	10	5	N.A	< 2,2
	Secundário, filtração e desinfecção	10	10	5	N.A	< 2,2
	Secundário, filtro dynasand e desinfecção	10	10	5	N.A	< 2,2
Piscicultura	Secundário, filtro dynasand, remoção de fósforo e desinfecção	10	10	1	2	< 2,2
Culturas Alimentícias, parques, irrigação de pátios escolares e para lagos recreacionais de acesso irrestrito	Processo Bardenpho (remoção biológica de fósforo) e desinfecção	10	10	1	2	< 2,2
Recarga de lençóis por injeção no solo e por meio de bacias de recarga	Secundário, filtro Dynasand, adsorção e desinfecção	< 2	< 2	1	2	< 2,2
Torres de resfriamento, água de processo, caldeiras e geradores de vapor	Secundário, filtro Dynasand, adsorção, osmose reversa e desinfecção	< 1	< 1	< 1	2	< 2,2

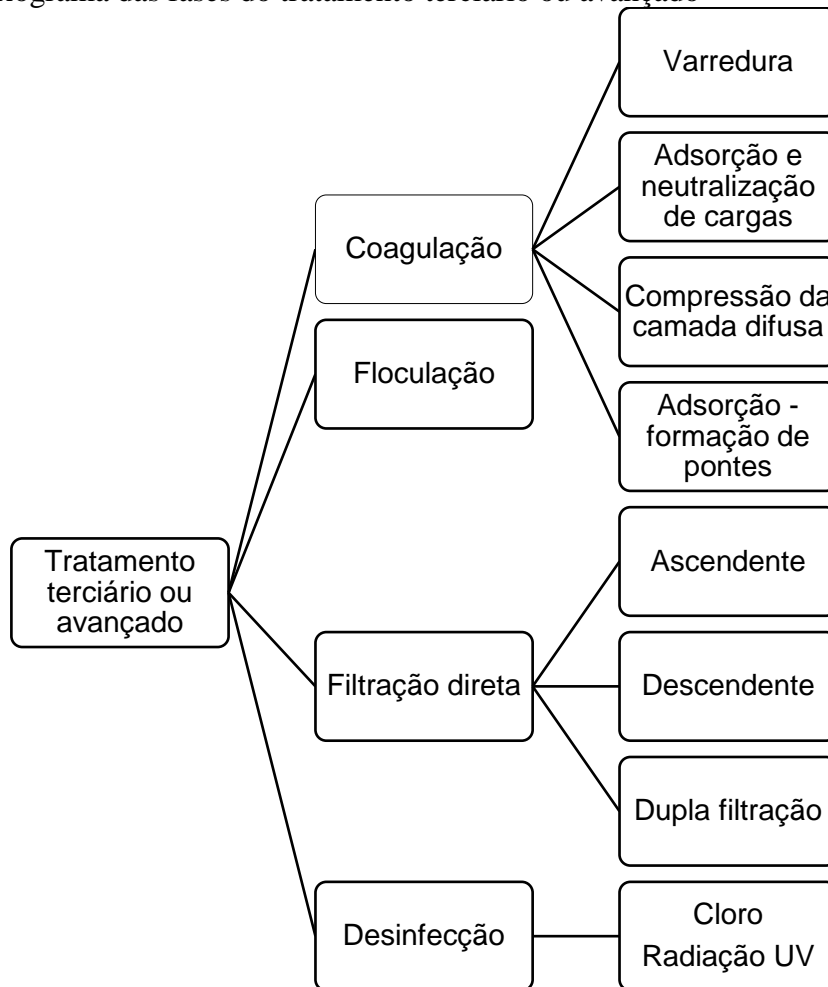
Secundário, recarbonatação, osmose reversa e desinfecção	<1	<1	< 1	2	< 2,2
--	----	----	-----	---	-------

N.A = Não Aplicável

Fonte: Adaptado de Mancuso e Santos (2003).

O esgoto doméstico tratado nos processos de sedimentação, lodo ativado ou filtro tem uma eficiência de remoção de matéria orgânica na faixa de 90 a 99%, porém remove apenas uma fração de nutrientes e patogênicos, carecendo de um tratamento terciário ou avançado, que se divide em várias etapas como apresentado na Figura 2. Geralmente é necessário quando se pretende destinar o esgoto tratado para proteção de balneários e reúso. Nesse caso o tratamento terciário ou avançado é indispensável, uma das alternativas é a utilização de processos físico-químicos, como coagulação, floculação, filtração e desinfecção (TOSETTO, 2005, p. 22).

Figura 2 - Fluxograma das fases do tratamento terciário ou avançado



Fonte: Adaptado de Tosetto (2005, p. 22, 23 e 31)

De acordo com Mujeriego e Asano (1999, apud TOSETTO, 2005, p. 21), o tratamento preliminar, primário e secundário, devido ao custo são utilizados como forma de controle de poluição das águas. O tratamento terciário se apresenta como opção avançada para fins de reúso, visto que há um custo alto para se implantar e operar um sistema de tratamento de esgoto a nível terciário.

A coagulação é uma das fases mais importante no tratamento terciário, pois é nessa fase que há formação dos flocos que irão se aglomerar e sedimentar, facilitando a filtração. Então quando não há coagulação eficiente, as fases posteriores são comprometidas, principalmente a filtração.

De acordo com Tosetto, (2005, p. 23), afirma que processos de coagulação química e floculação são conhecidos por agregar constituintes presentes no esgoto de tamanhos que variam de 0,1  $\mu\text{m}$  a cerca de 10  $\mu\text{m}$ .

São utilizados, comumente, coagulantes químicos à base de sal de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) ou de ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ), tal como sulfato de alumínio [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ], cloreto férrico [ $\text{FeCl}_3$ ] e sulfato férrico [ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ] (TOSETTO, 2005, p. 23).

A floculação acontece pela desestabilização das partículas presente e em suspensão. Após serem desestabilizadas pelos coagulantes, é fundamental que as partículas formem flocos para que sejam removidas antes da filtração. Quando não há eficiência na floculação, os filtros sujam rapidamente sendo necessário a retro lavagem com frequência, ou seja, o objetivo principal da floculação é aumentar o tempo entre as lavagens dos filtros (TOSETTO, 2005, p. 31).

Para Singer (1999, apud TOSETTO, 2005, p. 48), a desinfecção é a última fase do tratamento terciário ou avançado, sendo importantíssimo para inativação dos patogênicos (bactérias, protozoários, vírus e helmintos) remanescentes das fases antecessoras, que possibilita o esgoto tratado para diversos fins entre eles o reúso. Para a desinfecção são apresentadas duas opções, cloração e a radiação UV. A primeira é a cloração, um método consagrado e utilizado em larga escala, porém apresenta o ponto negativo, o cloro pode formar compostos organoclorados e trihalometanos – THM altamente perigoso e nocivo à saúde.

Segundo Daniel (2001), a radiação UV, apresenta-se como uma ótima opção por não formar resíduos tóxicos a saúde humana. Essa tecnologia consiste em usar o comprimento de onda UV que está na faixa de 245 a 285 nm, para a inativação dos microrganismos.

### 3.7. Panorama do uso da água

Estudos apontam que cerca de 70% de toda água captada é destinada para a irrigação da agricultura, 20% para indústria e apenas 6% para o abastecimento humano. Devido ao tipo de irrigação, a maior parte contribui para a evapotranspiração, não sendo contabilizada como efluente e causando uma redução significativa na disponibilidade hídrica dos mananciais (CUBA *et al.* 2015).

A produção agrícola é aumentada aproximadamente em 60% com a irrigação, em comparação com a produção agrícola na qual a umidade é diretamente obtida do solo proporcionada pela chuva (ROSEGRANT *et al.* 2009; BANK 2007).

A segurança alimentar está diretamente ligada a produção de alimentos, que por sua vez é dependente do sistema de irrigação e o abastecimento das cidades depende da produção agrícola. Nesse contexto, a irrigação é um insumo primordial para a agricultura em pequena, média e grande escala, mas que também causa enormes impactos ambientais (ROSEGRANT *et al.* 2012).

Atualmente 20% de toda área cultivada é irrigada atingindo uma produção alimentar de 40%. Com projeção para crescimento até 2050, estima-se que haverá um aumento de 53% de produção de cereais produzido através de irrigação. Essa demanda dar-se-á devido ao aumento da população que tende a atingir aproximadamente 9,2 bilhões de pessoas em 2050 (MOLDEN, 2007; ROSEGRANT *et al.* 2009).

O grande desafio por água irá aumentar nas próximas décadas, mediante a projeção de crescimento da população mundial. Como consequência necessitará de maior área para o cultivo de cereais, hortaliças, grãos, produção de carne e abastecimento humano, e com o aumento de 70% de pessoas nas cidades até 2050, toda cadeia de produção de alimento e demanda por abastecimento humano, resulta no aumento da demanda de água com qualidade e padrões de potabilidade adequados para suprir a necessidade da população e a produção agrícola. Isso causará fortes impactos nos recursos hídricos, escassez de água em consequência o lançamento dessas águas servidas causando a contaminação e poluição dos corpos d'água e lençóis freáticos (DELGADO *et al.* 1999).

Contudo, a grande consequência apresentada com o lançamento dos despejos inadequado, reflete diretamente na saúde pública, que a cada dia aumenta os casos de contaminação da população por doenças de veiculação hídrica, em todas as regiões do mundo, principalmente nos países em desenvolvimento que suas redes coletoras e instalações são

inadequadas para a coleta de esgoto sanitário, e o tratamento ineficiente, desencadeando a contaminação dos mananciais (MORAES, 2002).

A produção exacerbada de esgoto, e sua disposição em corpos d'água, é responsável por afetar a quantidade e qualidade da água que está disponível superficialmente e os lençóis freáticos. Essa crescente demanda por água, causa um desequilíbrio nos ecossistemas. A grande quantidade de lançamentos nos mananciais excede o limite de autodepuração dos mesmos e conseqüentemente, a água passa a condição de inapropriada para as mais diversas finalidades a qual está diretamente vinculada, causando um ciclo de causa-efeito de difícil solução (MORAES *et al.* 2002, SANTOS *et al.* 2016).

Segundo Rosegrant *at al.* (2009), com as constantes retiradas das águas subterrâneas o déficit de água necessário para o reabastecimento dos lençóis freáticos aumenta, em consequência evoluem também os problemas, como escassez e intrusão salina, nas zonas costeiras onde acontece a retirada de água subterrâneas em grandes volumes para usos diversos como para o abastecimento humano, produção industrial e em algumas regiões para a irrigação.

Com o reúso de esgoto tratado, fica evidente a possível redução nos usos preponderantes de água, que tem como finalidades usos menos nobres, visto que uma fração de toda água usada em uma residência não necessariamente necessita de água potável. Em média, 70% de toda água pode vir de reúso, podendo ser aplicado em vasos sanitários, rega de jardins, lavagens de pisos e passeios, lavagens de veículos e fins ornamentais. Diante dessa alternativa fica claro o quanto é importante estimular a cultura do reúso, para fins menos nobres.

### **3.8. Impactos das alterações climáticas na água do planeta**

As mudanças climáticas, influenciam diretamente a produção agrícola e a segurança alimentar global, por ser ainda a maior responsável pela irrigação das culturas em todas as regiões tropicais e subtropicais do planeta. Ultimamente está acontecendo instabilidade na variabilidade de precipitação e no aumento da temperatura causando uma desestabilização no ciclo hidrológico. Fenômenos raros têm sido provocados, como períodos com uma intensidade alta de precipitação e conseqüentemente regime de cheias e geadas. No período chuvoso, o regime de precipitação fica abaixo do volume esperado, está causando secas extremas, redução de vazão nos rios, impossibilitando a captação de água para irrigação, indústria, abastecimento humano como também regimes mínimos de precipitação que irrigam

uma grande quantidade de terras cultiváveis ao redor do mundo (KUNDZEWICZ *et al.* 2007; BATES *et al.* 2008; ARNELL 1999; BARNET *et al.* 2005; ROSENZWEIG *et al.* 2002).

É necessário que os gestores e instituições que fazem a gestão dos recursos hídricos se engajem em projetos e melhorias, apresentando medidas mitigadoras para gerenciar os recursos hídricos, possibilitando a harmonia para quem utiliza água como insumo na irrigação, na indústria e captação para abastecimento público, apresentando novas possibilidades de reúso para minimizar a sobrecarga dos recursos hídricos disponíveis atualmente (ROSEGRANT 2009).

### 3.9. Reúso de Água

#### 3.9.1. Histórico da aplicação do reúso direto para fins não potável

A prática do reúso, possibilitou a produção de alimentos em regiões de extremas precipitações anuais. No Quadro 6, alguns autores compilaram exemplos de aplicação de esgoto tratado, na recarga de aquíferos, na irrigação da agricultura, para fins ornamentais e na produção industrial, como também os mais variados tipos de tratamento e critérios adotados para a aplicação nesses setores. Diante desse cenário, observa-se as inúmeras oportunidades para a destinação final do esgoto tratado.

**Quadro 6 - Experiências nacionais e internacionais de reúso aplicado em diferentes setores**

Modalidade de reúso	Local	Vazão (Mm <sup>3</sup> /ano)	Aplicação	Observação
Reuso para fins urbanos	St. Petersburg, Flórida - USA	≈ 29	Usos ornamentais (urbanos e industriais), sistemas de refrigeração de ar e reserva de incêndio	A qualidade de água de reúso utilizada depende das condições meteorológicas. Um adicional de 25,5Mm <sup>3</sup> /ano é injetado no lençol subterrâneo para evitar a intrusão de água do mar.
	Irvine Ranch, Califórnia - USA	≈ 15	Usos ornamentais, irrigação de pequenas plantações, lagos ornamentais, lavagem de carro e usos industriais	A água de reúso é fornecida por um sistema de abastecimento paralelo ao sistema de abastecimento de água para fins potáveis
	Parque Temático - SP	0,0000345	Aplicação nas descargas em bacias sanitárias, e rega de jardins e gramados do parque.	Devido à localização próxima a um córrego classificado como Classe 2, a técnica de reúso com descarte zero teve que ser adotada para a implantação do parque.



Modalidade de reúso	Local	Vazão (Mm <sup>3</sup> /ano)	Aplicação	Observação
	ETE ABC - SP	*	A água de reúso é utilizada para rega e lavagem de ruas; lavagem de prédios, pátios, jardins e praças; e também para desobstrução de redes coletoras de esgotos e galerias de águas pluviais.	O tratamento realizado na Estação de Condicionamento para Reúso (ECR), consiste em uma filtração grosseira com filtros-cestos; pré-cloração com hipoclorito de sódio; coagulação e floculação com policloreto de alumínio; filtragem fina por filtro de pressão e pós-cloração.
<b>Reúso para fins ambientais</b>	África do Sul	*	A água reciclada constitui uma importante parcela da vazão de muitos rios.	Em pretória e Johannesburgo aproximadamente 50% do afluente do reservatório de abastecimento (represa) provem de água de reúso
	El Paso, Texas - USA	≈ 13	Recarga de aquífero	O tempo de detenção é de 2 anos antes da água ser bombeada para os poços de abastecimento. Não foram detectados efeitos negativos a saúde, mas a concentração de sólidos dissolvidos sofreu incremento durante o período monitorado
	Upper Occquan, Virgínia - USA	≈ 36,5	A água de reúso é descartada no reservatório que abastece o sistema de tratamento de água	A água reciclada representa de 10 a 15% do afluente ao reservatório e o tempo de detenção médio é de 26 dias
<b>Reúso para fins industriais</b>	Phoenix - USA	≈ 90	Sistema de resfriamento	A estação gera eletricidade a partir da energia nuclear. A média pluviométrica da região é de apenas 175mm/ano.
	Singapura	≈ 26	No processo de fabricação de semicondutores	Utiliza-se de processos de tratamento que empregam microfiltração, osmose reversa seguida de aplicação de UV.
<b>Reúso na agricultura</b>	Virgínia - Austrália	≤ 30	Irrigação de plantações	Parte da água reutilizada provém do tratamento de 43,8 m <sup>3</sup> /ano por tecnologias de flotação por ar dissolvido e filtração
	Monterrey, Califórnia - USA	≤ 20	Irrigação 5.000 há de plantação de vegetais	Antes do reúso, o excessivo uso de água subterrânea estava causando a intrusão de água do mar no aquífero
	Cidade do México	≈ 1.400	Irrigação de 90.000 há	90% do esgoto sanitário é utilizado para irrigação de áreas com baixa pluviosidade e solo pobre em nutrientes
	Região de Dan - Israel	≈ 130	Percolada para recarga do aquífero e posterior aplicação na agricultura.	A demanda por água em Israel supera a oferta em cerca de 1.800 m <sup>3</sup> /ano

(\*). Não informado

Fonte: Adaptado a partir de Anderson (2003); Mancuso e Santos, (2003), Sousa (2008).

### 3.9.2. Legislação, normas e diretrizes sobre reúso de água

Para embasar esta pesquisa, fez-se necessário um levantamento na literatura sobre as leis, resoluções e normas em vários países, inclusive o Brasil, que estabelecem e regulamentam a prática de reúso direto para fins não potáveis.

Em toda parte do mundo, sempre houve consumo de água por parte das cidades. Com o aumento da demanda, surge a alternativa de se usar esgoto tratado para fins menos nobres. Nessa problemática surge também a necessidade de se estabelecer padrões para o reúso de esgoto tratado. Em diversos países do mundo, como na África do Sul, Alemanha, Nova Zelândia, Japão, Israel, Turquia, México, Estados Unidos, entre outros, criaram as primeiras legislações para a prática do reúso (ASANO, 1998).

O México é um dos pioneiros na prática de reúso de água, há registros de 1890 começou-se a prática de reúso aplicada na irrigação da agricultura no vale do mezquital, contudo a primeira Norma Técnica Ecológica para a prática de reúso foi do ano de 1988, sendo atualizada em 1996 (CORTÉS, et al. 1997).

Nos Estados Unidos, os primeiros registros de reúso é de aproximadamente 1918 no estado da Califórnia, quando foi promulgada a primeira norma para reúso (ASANO, 1996).

O Japão, desde 1951, já fazia reúso de esgoto tratado. O primeiro experimento foi em uma fábrica de papel na cidade de Tóquio, no ano de 1958. O governo japonês começou a investir em sistemas de tratamento de esgoto sanitário devido à grande demanda por água nas cidades japonesas e as severas secas que assolaram a província. Em 1964 é que de fato o governo expande o reúso de esgoto tratado (ASANO, 1996).

A África do Sul desde 1956, conta com o Ato da água, é utilizado para implementação de diretrizes voltada a prática de reúso no país.

No ano de 1965 foi publicado pelo ministério da saúde de Israel, normas para a reúso de efluente tratado para fins de irrigação de plantações de vegetais que são ingeridos crus (ASANO, 1998).

No ano de 1972, foi promulgado o Ato Federal de Controle de Poluição da Águas (Federal Water Pollution Control Act), esse Ato tinha como objetivo promover a integridade física, química e biológica das águas nacionais, como também eliminar o lançamento de esgoto nos corpos d'águas, onde se desenvolvia a balneabilidade, pesca e a navegação (ASANO, 1998).

No ano de 1976, a Itália sanciona uma lei nacional – Lei nº. 319 de 1976 disponibiliza diretrizes para a prática do reúso na agricultura– “Critérios, Metodologias e Padrões Gerais de Tecnologias” de fevereiro de 1977. A Espanha também dispõe de uma legislação desde 1985

(Ley das águas), como também normas autônomas pelas províncias, não há padronização (ASANO, 1998).

Em 1989 a Organização Mundial da Saúde - OMS/WHO (2006), lançou diretrizes para a prática de reúso de esgoto tratado nas atividades de agricultura e aquicultura (WHO, 2006).

A Austrália dispõe desde os anos 1990, de várias diretrizes para reúso de água. Foram realizadas algumas mudanças nas diretrizes para melhorar a qualidade do efluente obtido pelas estações do país, são elas Gerenciamento do Efluente – “The Australian Guidelines for Sewerage Systems: Effluent Management”, o Esboço de Diretrizes para Sistemas de Esgotamento Sanitário: Uso de efluente tratado – “Draft Guidelines for Sewerage Systems: Use of Reclaimed Water” e Diretrizes para Sistemas de Esgotamento Sanitário. Todo o despejo de esgoto é regulamentado pela Autoridade de Proteção Ambiental (EPA - Environment Protection Authority), através do New South Wales NSW Protection of the Environment Operations General Regulation de 1998 (PATTERSON, 2001).

Com o avanço da urbanização da Coréia, surge um déficit por água, devido ao crescimento da população, surgindo no ano de 1991 a primeira indicação para o reúso de água, com intuito de reduzir o déficit de água no país, no início era apenas sugestão, porém passa ser obrigatório em construções de grande porte como em sua maioria indústrias, hotéis, lojas de departamentos e aeroportos, que geralmente tem área acima de 60.000m<sup>2</sup>, se implantar sistema de reúso para descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e torres de resfriamento (NOH, et al 2004).

No ano de 1996 a Comissão Nacional de água lançou um Manual de Uso, Aproveitamento e Manejo de Água Residuária para Agricultura. (CORTÉS, et al. 1997).

A Agência de Proteção Ambiental Americana – USEPA (2004), juntamente com a Agência Americana de Desenvolvimento Internacional lançaram as diretrizes para o reúso de água - “Guidelines for Water Reuse”, com o objetivo de promover o reúso no país e eliminar algumas inconsistências nas leis estaduais, no ano de 2004 houve uma atualização do “Guidelines for Water Reuse”.

Em 2004, o Departamento de Proteção Ambiental da Flórida em parceria com a Associação Ambiental de Água da Flórida no ano de 2002, lançaram Código de Boas Práticas para Água de Reúso (USEPA, 2004).

Existem também as diretrizes estaduais como o “Guidelines for the use of reclaimed Water -2003” do Governo de Victoria e o “Queensland Water Recycling Guidelines- 2005” do Governo de Queensland.

O município de Curitiba criou a Lei 10.785 de 18 de setembro de 2003, que dispõe sobre a criação do programa de conservação e uso racional da água nas edificações - PURAE, com o objetivo de promover o uso racional da água, e buscar novas fontes alternativas de captação para as novas edificações do município, tendo como métodos o armazenamento de águas de chuvas e águas servidas, e utilização de aparelhos com otimização de economia de água, vasos sanitários econômicos, lavatórios e chuveiros econômicos, outro ponto importante da lei é conscientização dos usuários no uso racional da água.

No Brasil, em 17 de março de 2005, foi criada a resolução CONAMA N° 357, que dispõe sobre a classificação dos corpos d’águas, como também apresenta as diretrizes para o lançamento dos efluentes de qualquer fonte poluidora, desde que não modifique as características naturais dos corpos d’águas. O efluente deve estar de acordo com os limites máximos estabelecidos nesta resolução, e compete aos órgãos responsáveis a penalidade e critérios para fiscalização.

O Brasil ainda não apresenta tanta maturidade na prática do reúso, visto que a primeira resolução sobre reúso foi criada em 28 de novembro de 2005, a Resolução de N° 54, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos considerando a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e 9.984, de 17 de julho de 2000, Década Brasileira da Água, instituída pelo Decreto de 22 de março de 2005, considerando ainda as diretrizes do Conselho Econômico e Social da Organização das Nações Unidas– ONU e os princípios estabelecidos na Agenda 21, estabelece padrões, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água no Brasil, abrangendo as seguintes modalidades apresentadas no Quadro 7.

**Quadro 7** - Modalidade de reúso estabelecida na resolução de n° 54/2005

Reuso para fins urbanos	Irrigação Paisagística
	Lavagem de logradouros públicos e veículos
	Desobstrução de tubulações
	Construção Civil
	Edificações
	Combate a incêndio
Reúso para fins agrícolas e florestais	Produção Agrícola
	Cultivo de florestas plantadas

Reúso para fins ambientais	Implantação de projetos de recuperação do meio ambiente
Reúso para fins industriais	Processo
	Atividades e operações industriais
Reúso na agricultura	Criação de animais
	Cultivo de vegetais aquáticos

**Fonte** - Adaptado da Resolução de N° 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

Moruzzi (2008) cita que a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1973), lançou em 1973 um documento classificando os tipos de reúso:

- ✓ Reúso indireto: quando o efluente domésticos, industriais são lançados em corpos d'água ou subterrâneas e novamente utilizado a jusante.
- ✓ Reúso direto: é o uso planejado de efluente tratado utilizado para reúso na agricultura, indústria, recarga de aquífero e água potável.
- ✓ Reciclagem interna: é o reúso da água internamente nas indústrias com o objetivo de economia de água e controle da poluição.
- ✓ Reúso potável direto: quando o efluente é tratado e novamente reintegrado no sistema de abastecimento de água potável.
- ✓ Reúso potável indireto: o efluente tratado é lançado nos corpos d'água e subterrâneas para posterior captação a jusante pelo sistema de abastecimento de água potável.

Um projeto de Lei de N° 58 de 2016 que tramita no Senado Federal, disciplina o abastecimento de água por fontes alternativas, esta lei dispõe reutilização de água, racionalização e assegurar que as futuras gerações disponham de água, uma das obrigatoriedades desta Lei é sobre a implantação para as edificações novas acima de 600m<sup>2</sup> e devem implantar projetos de reutilização de águas de chuvas e servidas como disposto no Art. 12:

Art. 12 As novas edificações residenciais, comerciais, industriais e as edificações, públicas ou privadas, construídas com recursos da União ou das agências federais de crédito ou fomento próprios ou por elas geridos, deverão dispor de sistemas de abastecimento por fontes alternativas.

§ 1º O disposto no *caput* será obrigatório para as novas edificações privadas de qualquer natureza com área construída igual ou superior a 600 m<sup>2</sup> (seiscentos metros quadrados).

§ 2º As exigências constantes no *caput* poderão ser dispensadas nos casos de inviabilidade técnica ou de excessiva onerosidade econômica, atestadas em laudo

elaborado por profissional habilitado ou em regiões com elevada disponibilidade hídrica atestada pelo respectivo órgão responsável pela gestão de recursos hídricos.

No Art. 13. Os serviços públicos de irrigação paisagística e lavagem de vias e logradouros em áreas de domínio público deverão utilizar, parcial ou totalmente, água de reúso ou de chuva como fonte de abastecimento.

No Art. 14. Os reservatórios de água destinados ao combate a incêndios de novas edificações, públicas ou privadas, deverão utilizar, parcial ou totalmente, água de reúso ou de chuva como fonte de abastecimento.

No Art. 15. Os usuários de água outorgados, nos termos do art. 12 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que adotarem sistemas de aproveitamento de água de chuva e de reúso de água receberão desconto, na cobrança pelo uso de recursos hídricos, equivalente à quantidade de água de reúso e de água de chuva utilizada a partir desses sistemas

No que diz respeito a qualidade dessas águas os padrões e orientações para reúso estão voltados, principalmente, a proteção da saúde pública, sendo geralmente baseados no controle de organismos patogênicos. Mas já existem estudos que propõem outros padrões de qualidade para diferentes modalidades de reúso.

### **3.9.3. Diretrizes nacionais e internacionais para o reúso de esgoto doméstico tratado**

Como as exigências ambientais a cada dia se torna mais restritivas, o tratamento do esgoto fica muito oneroso para quem o produz, sendo necessário encontrar alternativas para o descarte correto do esgoto tratado. Nessa perspectiva o reúso se apresenta como uma fonte alternativa para esse descarte e possível redução de custo, como também a retirada de centenas de m<sup>3</sup> de esgoto tratado dos mananciais (FIESP; CIESP, 2004).

A forma de absorção de todo esgoto tratado atualmente, encontra no reúso a melhor opção para diluir essa quantidade de esgoto tratado que se produz diariamente, que é lançado nos mananciais. Diante deste cenário faz-se necessário investir em tecnologia para a maior absorção dessa parcela de esgoto tratado (SOUSA, 2008, p. 34).

Esta pesquisa tem como finalidade a utilização de esgoto tratado para aplicação no meio urbano com fins não potáveis. Segundo Hespanhol (1999, 2003), ele os assim definem:

- Irrigação de parques e jardins públicos ou privados, centros esportivos, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias;
- Reserva para combate a incêndios;
- Sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água;
- Lavagem de veículos;
- Controle de poeira em obras de execução de aterros, terraplenagem, etc.;

- Construção civil, incluindo preparação e cura de concreto, e para estabelecer umidade ótima em compactação de solos;
- Uso interno de águas em edificações públicas, comerciais e residenciais.

De acordo com o “Guidelines for Water Reuse - EPA 1981” apud Asano (1998), o fornecimento de água tratada para fins de abastecimento público é bastante oneroso para as companhias de saneamento. Um ponto bastante representativo é que de toda a água destinada aos domicílios familiares, 28% é destinada a fins nobres, como beber e cozinhar alimentos, os 78% restantes é para fins menos nobres, ou seja, muita água potável vai pelo ralo sem necessidade. Neste contexto essa taxa de 78% pode ser substituída por fontes com qualidade menos nobre, como lavagens de veículos e calçadas, rega de jardins, descargas de vasos sanitários, na construção pode ser usada para preparo de argamassa, umidificação de terraplenagem, redução de poeira, entre outros fins menos nobres.

Para Sousa (2008), em edificações públicas como escolas, hospitais, creches, esse número passa de 28% para uma faixa de 35% a 50%, devido ao fluxo de pessoas ser maior, tanto na produção de alimentação como também na utilização de banheiros.

A FIESP e o SINDUSCON de São Paulo lançaram, em 2005, um manual de conservação e reúso de água em edificações (ANA; FIESP; SINDUSCON, 2005), que classifica e apresenta os valores máximo para os parâmetros encontrados nos esgotos tratados e que devem atender a classe de reúso pretendida para a aplicação do esgoto tratado, são apresentados nas Tabelas 3 e 4 abaixo.

**Tabela 3 - Parâmetros para água de reúso - Classe 1,2 e 3**

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3
	Descargas em bacias sanitárias; Lavagens de pisos; Fins ornamentais; Lavagens de roupas; Lavagens de veículos;	Lavagens de agregados; Preparação de concreto; Compactação de solo; Controle de poeira;	Irrigação de áreas verdes e jardins;
pH	-	-	6,0 – 9,0
Cor (uC)	≤ 10	-	< 30
Turbidez (UNT)	≤ 2	-	< 5
Coliformes fecais (NMP/100mL) (a)	Não detectáveis	≤ 1000	≤ 200
DBO (mg/L) (b)	≤ 10	≤ 30	< 20
Nitrato (mg/L)	< 10	-	-
N-Amoniacal (mg/L)	≤ 20	-	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-	-
Nitrogênio total (mg/L)	-	-	5 – 30

Fósforo total (mg/L) (c)  $\leq 0,1$

(a) esse parâmetro é prioritário para os usos considerados

(b) O controle da carga orgânica biodegradável evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função do processo de decomposição, que podem ocorrer em linhas e reservatórios de decomposição.

(c) O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques etc.

**Fonte:** Adaptado do manual de reutilização em edificações, para os parâmetros analisados nesse trabalho (ANA; FIESP; SINDUSCON, 2005).

**Tabela 4 - Parâmetros para água de reúso - Classe 4**

Parâmetros	Classe 4: Torres de resfriamento (ar condicionado)	
	Sem recirculação	Com recirculação
pH	5,0 - 8,3	6,8 - 7,2
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Não detectáveis	2,2
DQO (mg/L)	75	75
Fósforo total (mg/L)	-	1,0

**Fonte:** Adaptado do manual de reutilização em edificações (ANA; FIESP; SINDUSCON, 2005).

O limite disponível e a qualidade do esgoto tratado, como também o tipo de tratamento a ser utilizado, depende do tipo de reúso que será destinado esse efluente, pois a eficiência na remoção de carga orgânica e nutrientes, como também patógenos, está diretamente relacionado ao tipo de tratamento aplicado, ou seja, os sistemas requerem um tratamento adicional para atingir os limites estabelecidos nas normas de reúso (ASANO, 1998; SOUSA, 2008). Para fins de comparação com os parâmetros de reúso foi criado uma tabela com os possíveis parâmetros e enquadramento do esgoto bruto em três faixa como mostra a Tabela 5.

**Tabela 5 - Composição típica de esgoto não tratado**

Parâmetros	Faixa de concentração					
	Forte		Média		Fracas	
Fontes	A	B	A	B	A	B
Coliformes Totais (NMP/100mL)	$10^7 - 10^9$	-	$10^7 - 10^8$	-	$10^6 - 10^7$	-
Coliformes fecais (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-
DQO (mg/L)	1100	800	500	400	250	200
DBO (mg/L)	400	400	220	200	110	100
Nitrato (mg/L)	0	0,4	0	0,2	0	0,1



N-Amoniacal (mg/L)	50	50	25	20	12	10
Nitrito (mg/L)	0	0,1	0	0,05	0	0
Nitrogênio total (mg/L)	85	85	40	40	20	20
Fósforo total (mg/L)	15	20	8	10	4	5
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	20	-	10	-	5	-

**Fonte:** Adaptado de (A) Crook; Okun; Pincice (1994) - Estados Unidos; (B) Jordão; Pessoa (2005) – Brasil, apud SOUSA (2008).

Segundo a NBR 13969 (1997), no item 5.6 da norma apresentado na Tabela 6, 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 à 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).

**Tabela 6** - Classificações e respectivos valores para esgoto tratado – NBR 13969

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Parâmetros	Lavagem de carros e outros usos, que requerem o contato direto do usuário com a água	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Reuso nas descargas dos vasos sanitários	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual
Coliformes fecais (NMP/100mL)	< 200	<500	<500	<5000
Turbidez (UNT)	< 5	<5	<10	-
pH	6,0 – 8,0	-	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	<200	-	-	-
Cloro residual (mg Cl <sub>2</sub> /L)	0,5 – 1,5	>0,5	-	-
Oxigênio dissolvido (mg/L)	-	-	-	>2,0

**Fonte:** Adaptado da ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 13969/1997.

Para Sousa (2008), a prática de reúso de esgoto tratado para fins não potável no meio urbano no Brasil já apresenta alguns exemplos como é o caso do Parque Temático – SP, e a ETE – ABC, como são mostrados na Tabela 7.

**Tabela 7 - Qualidade da água de reúso adotados para o Parque Temático-SP e ETE -ABC**

Parâmetros	Parque Temático - SP	ETE - ABC
pH	6,5 - 8,3	6,5 - 8,5
Coliformes Totais (NMP/100mL)	≤ 2,2	≤ 2,2
Coliformes fecais (NMP/100mL)	Ausentes	Ausentes
Cor (uC)	≤ 15	< 10
Turbidez (UNT)	≤ 5	2 – 10
DQO (mg/L)	≤ 60	-
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	Ausentes	-

Fonte: Adaptado de Grull, Mancuso e Eiger (2003), Santos (2003 p.501).

Na Tabela 8 está resumido alguns dos principais parâmetros e limites máximos estabelecidos em vários países (EPA, 2004, p. 251).

**Tabela 8 - Diretrizes e padrões adotados para reúso por vários países**

País/Região	Coliformes fecais (NMP/100m L)	Coliformes Totais (NMP/100m L)	DBO (mg/L)	Turbidez (UNT)	pH
Arizona	<1	-	-	1	4,5 - 9,0
Califórnia		2,2		2	
Flórida (m)	25 p/qualquer amostra 75%	-	20	-	-
Texas (m)	75(m)	-	5	3	-
Chipre	50	-	10	-	-
França	<1000	-	-	-	-
Alemanha (g)	100(g)	500(g)	20(g)	1 - 2(m)	6,0 - 9,0
Japão (m)	10	10	10	5	6,0 - 9,0
Israel	-	2,2(50%) 12(80%)	15	-	-
Kuwait (alimento não ingerido cru)	-	10000	10	-	-
Kuwait (alimento ingerido cru)	-	100	10	-	-
Oman 11A	<200	-	15	-	6,0 - 9,0
Oman 11B	<1000	-	20	-	6,0 - 9,0
África do Sul	0(g)	-	-	-	-
Espanha (Ilhas canárias)	-	2,2	10	2	6,5 - 8,4

Austrália	<1	<2/50	>20	<2	-
Tunísia	-	-	30	-	6,5 - 8,5
Emirados árabes	-	<100	<10	-	-
Reino Unido	100(g)	500(g)	-	2(g)	6,0 - 9,0
Reino Unido (Balneabilidade)	2000(m)	10000(m)	-	1(m)	6,0 - 9,0
US EPA (g)	14 qualquer amostra, 0 para 90%	-	10	2	6,0 - 9,0
WHO Irrigação	200(g)	-	-	-	-
WHO (gramado)	1000(m)	-	-	-	-

**Legenda (g): guia / diretriz (m): mandatório / obrigatório**

**Fonte:** Adaptado de EPA Guidelines for Water Reuse (EPA, 2004).

Na tabela 9, está resumido alguns parâmetros adotados em vários países que já praticam o reúso no meio urbano e para a irrigação há alguns anos, como uma tentativa de minimizar os impactos nas fontes de abastecimento de água potáveis e reduzir o volume captado nos corpos d'água.

**Tabela 9 - Limites máximo permitido para reúso urbano e irrigação adotado por alguns países**

Parâmetros	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
pH	6,0 - 8,0	6 - 8,5	6,0 - 8,0	6,0 - 9,0	6,0	6,0 - 8,4
Cor (uC)	-	-	-	≤ 10	-	-
Turbidez (UNT)	< 0.1	< 2 - 5	<5	≤ 2	-	1,0
Coliformes fecais (NMP/100mL)	< 1 - 10 <sup>3</sup>	-	< 200	ND	-	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)	< 1 - 200	-	-	-	-	-
DBO (mg/L) (b)	< 10 - 45	20	-	≤ 10	-	10
DQO (mg/L)	< 20 - 90	-	-	-	-	-
Nitrato (mg/L)	-	-	-	<10	-	10
N-Amoniacal (mg/L)	-	-	-	≤ 20	-	-
Nitrito (mg/L)	-	-	-	≤ 1	-	-
Nitrogênio total (mg/L)	< 1 - 30	-	-	-	-	-
Fósforo total (mg/L) (c)	< 1 - 20	-	-	≤ 0,1	-	-

**Fontes:** Adaptado de SOUSA 2008. **ND** – Não detectável

(A): Estados Unidos - USEPA (2004) - Guidelines for Water Reuse

(B): Queensland / Australia - Queensland EPA (2005) - Queensland Water Recycling Guidelines –

Classe A

(C): Brasil - ABNT (1997) - NBR 13969 Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição

dos efluentes líquidos – Reúso Local - Classe 1

(D): Brasil – ANA; FIESP; SINDUSCON (2005) Conservação e Reúso da Água em Edificações - Reúso Classe 1

(E): Estados Unidos - USEPA (2004) – Limites recomendados para água de reúso para irrigação.

Adaptado de

Rowe e Abel-Magid (1995)

(F): Arábia Saudita – USEPA (2004) – Padrões de qualidade da água para irrigação irrestrita na Arábia Saudita.

### **3.10. Aplicações de reúso**

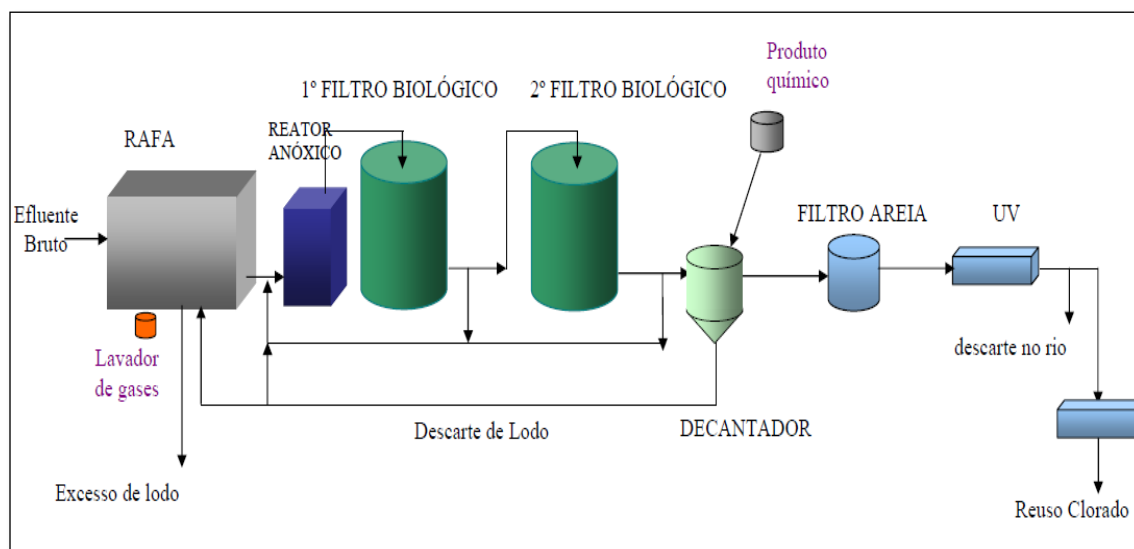
#### **3.10.1. Estudo de caso: Reúso de esgoto doméstico tratado por sistema combinado destinado ao reúso urbano**

Lucas et. al (2016), avaliando o potencial de reúso de esgoto oriundo de um lava-rápido localizado no km 24,2 da Rodovia Anhanguera, sentido Capital-Interior, no Estado de São Paulo. Analizou um sistema composto por uma unidade de desarenação e separação de óleo e água, tanque de equalização, tratamento biológico aeróbio Contator Biológico Rotativo – (CBR) com discos em material polimérico, seguido por filtro de alta taxa composto por areia e antracito, e uma camara de cloração ao final do processo. Os principais parâmetros monitorados foram cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais e DBO. O sistema de tratamento produziu um efluente com concentrações médias de cor, turbidez, SDT e DBO5 de  $45 \pm 14$  uC,  $15 \pm 6,0$  NTU,  $244 \pm 99$  mg SDT/L e  $14 \pm 7,3$  mg O2/L, respectivamente, concluindo que há eficiência do sistema para a aplicação do efluente tratado no reúso destinado para a lavagem de caminhões.

Sousa (2008), realizou um estudo, aplicando o melhor tipo de tratamento para o reúso do esgoto tratado e após consultoria do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água – CIRRA, foi adotado o tratamento combinado (biológico e físico-químico), para tratar esgoto doméstico do Loteamento Residencial Valville I, que está localizado no município de Santana do Parnaíba, Zona Oeste da Região Metropolitana de São Paulo, próximo aos Residenciais Alphaville 11 e Alphaville 12.

A pesquisa teve como objetivo obter esgoto tratado dentro dos padrões estabelecidos nas normas de controle ambiental, garantir que o efluente lançado no corpo receptor não causasse nenhum problema aos lagos localizados à jusante do ponto de lançamento e a remoção de Nitrogênio e Fósforo. Fez-se necessário para atingir a qualidade dos usos pretendidos um tratamento terciário (filtração direta). Na Figura 4 abaixo está representado a configuração da planta instalada para se obter o esgoto com os parâmetros estabelecidos.

**Figura 3** - Esquema da planta da estação de tratamento de esgoto



**Fonte:** Adaptado de SOUSA (2008).

Segundo Sousa (2008), foram estabelecidos alguns possíveis reuso para fins não potáveis no meio urbano dentre eles, descarga de vasos sanitários, irrigação das áreas verdes, lavagem de piso, construção civil e ornamentação paisagística, empregou-se os parâmetros estabelecidos pela Agência Americana de Proteção Ambiental – USEPA e a portaria do nº 518/2004 do Ministério da Saúde como referências.

Os resultados da eficiência da planta pesquisada para DBO, foram os seguintes:

- RAFA – 60%;
- 1º filtro biológico aeróbio de alta taxa – 65%;
- 2º filtro biológico aeróbio de alta taxa – 75 %;
- Desinfecção – 99,999%.

A eficiência encontrada por essa configuração de planta em média é 96,3%, com algumas ressalvas para o pH, que ficou acima do valor estabelecido e os coliformes termotolerantes que ficaram acima do estabelecido, nesse trabalho não foi analisado ovos de helmintos.

### **3.10.2. Aplicação de *wetland* para o polimento de efluente de reator UASB.**

A pesquisa ocorreu na cidade de Láuro de Freitas, Bahia, em um condomínio com 1000 habitantes. O estudo realizado utilizando reator UASB, seguido de Wetlands com recirculação interna e sem recirculação, como pós tratamento para o polimento do efluente. O objetivo da pesquisa foi avaliar o comportamento e a eficiência do sistema, e verificar se esse

tipo de sistema combinado atende aos padrões e diretrizes preconizados pela resolução do Conama N° 430/2011 (FERREIRA, 2013).

O sistema estudado era composto de um reator UASB, Figura 4a, e seguido de quatro Wetlands construídas com sistema de drenagem de fluxo subsuperficial, nas wetlands eram plantadas duas variedades de macrófitas a *Typha sp.* (taboa) e *Cyperus alternifolius* (sombriinha- chinesa), seguida de câmara de contato de cloro para desinfecção do efluente final (FERREIRA, 2013).

O esgoto chegava na estação por bombeamento após ter passado por processo de tratamento preliminar simplificado por gradeamento, era bombeado para o reator UASB, Figura 5a, o efluente era conduzido para um divisor de fluxo, Figura 5b, e dividia-se em quatro partes iguais canalizadas para as wetlands construídas, Figura 6 (FERREIRA, 2013).

**Figura 4** - Vista do reator UASB (esquerda) e da caixa de divisão de fluxo (direita)

a)



b)



Fonte: FERREIRA, 2013

**Figura 5** - Configuração das wetlands, e a disposição do efluente vindo do reator UASB.



Fonte: FERREIRA, 2013

O presente trabalho apresentou resultados satisfatórios para remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão, atendendo os parâmetros preconizados pela resolução do CONAMA N° 430/2011. Conclui-se também que a recirculação do efluente não apresentou resultados diferentes dos sem recirculação, ou seja, a recirculação não aumentou a remoção de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis. Para as variedades de macrófitas presente no experimento, os resultados não obtiveram diferença, ou seja, as macrófitas não apresentaram resultado significativos para os parâmetros analisados. Por último, foi constatado que a falta de pesquisa nessa área de sistemas de wetlands para polimento de efluentes de reatores UASB, dificulta por não ter referências (FERREIRA, 2013).

### **3.10.3. Aplicação de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte.**

Samuel (2011) realizou na cidade de Feliz /RS, banhado pelo rio Caí, na região central da bacia hidrológica do Caí, um estudo com o objetivo analisar alternativas sustentáveis para o tratamento do esgoto da cidade, visando uma redução no lançamento de efluentes domésticos no manancial que banha o município (SAMUEL, 2011).

Para a realização do estudo adotou-se a seguinte metodologia, delimitação da área geográfica, análise dos documentos, levantamento da quantidade de habitantes e domicílios presente na cidade, destinação do esgoto, apresentado sistemas de tratamento de tratamento de esgoto sanitários (SAMUEL, 2011). A cidade apresenta sistemas de coletas de esgoto por domicílios, sendo fossas sépticas, fossas rudimentares e lançamento no manancial que corta a cidade.

Para o monitoramento dos níveis de poluição do rio por esgoto lançado foram realizadas campanhas de coletas em três pontos do rio Caí, e analisados os parâmetros como

coliformes termotolerantes; demanda bioquímica de oxigênio (DBO5); demanda química de oxigênio (DQO); fósforo total; nitrogênio total Kjeldhal; nitrogênio amoniacal; nitrogênio orgânico; nitratos; sólidos totais e turbidez, e depois comparados com os padrões da resolução do CONAMA N° 357/2005, que estabelece padrões para cada classe de corpo d'água (SAMUEL, 2011).

Como ferramenta para verificar a qualidade da água foi utilizado um modelo matemático o QUAL2K, esse modelo auxiliou na tomada de decisão juntamente com os resultados dos parâmetros analisados do trecho do rio Caí. Os resultados mostraram que o esgoto na rede coletora apresenta índices inexpressivos de poluição, e que os principais poluentes do trecho urbano do rio é o esgoto lançado. Concluiu-se que é conveniente implantar sistema de tratamento de esgoto descentralizado para reduzir os níveis de poluição, tais como Terras Úmidas Construídas (*Wetlands*), UASB, Filtro Anaeróbio e Tanque Séptico (SAMUEL, 2011).

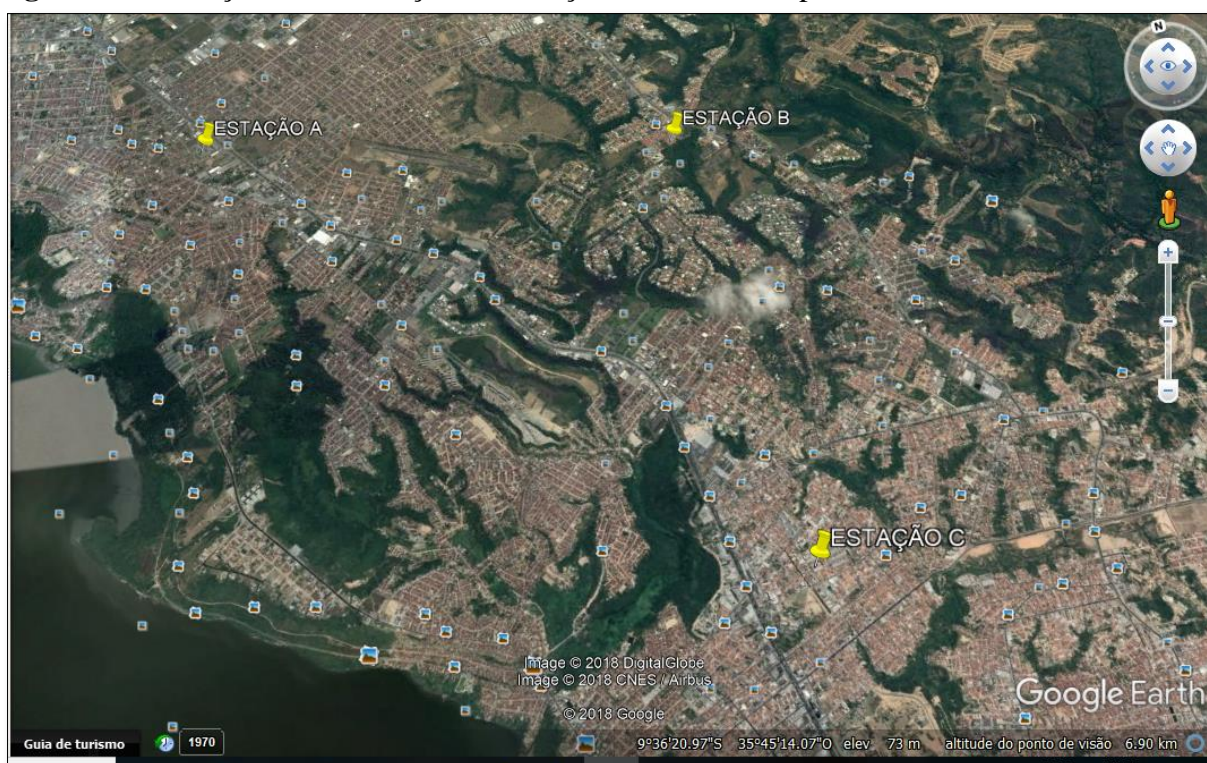


## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Área de trabalho

A área de trabalho envolveu a parte alta do município de Maceió, onde não existe rede pública de coleta de esgotos. Foram selecionadas três estações compactas de tratamento de esgoto (ETEs), todas tratando esgoto doméstico em condomínios residenciais privados, com tecnologias de tratamento diferentes: anaeróbia, aeróbia e mista (anaeróbia/aeróbia), com a finalidade de avaliar qual o efluente dessas tecnologias que melhor atende aos padrões de reuso urbano não potável. Para seleção dessas ETEs, buscou-se em Maceió empresas que operam ETEs privadas e que pudessem contribuir com a pesquisa. A Figura 7 ilustra a localização dessas ETEs em Maceió.

**Figura 6** - Ilustração da localização das estações estudadas na parte alta de Maceió



Fonte: Google Earth

### 4.2. Caracterização das ETEs e das suas áreas de atendimento

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. Assim

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. Todo esse levantamento foi acompanhado pelo responsável pela operação das ETEs.

Todas as ETEs possuem tratamento preliminar, composta por caixa de areia com gradeamento. A estação A utiliza a tecnologia anaeróbia (*UASB* + filtro biológico anaeróbio) com desinfecção por radiação ultravioleta (UV), a estação B utiliza tecnologia de lodo ativado com desinfecção por cloro, e a estação C (mista) utiliza a tecnologia anaeróbia/aeróbia com desinfecção por cloro, como apresentado no Quadro 8.

**Quadro 8** – Estações compactas de tratamento de esgoto monitorada

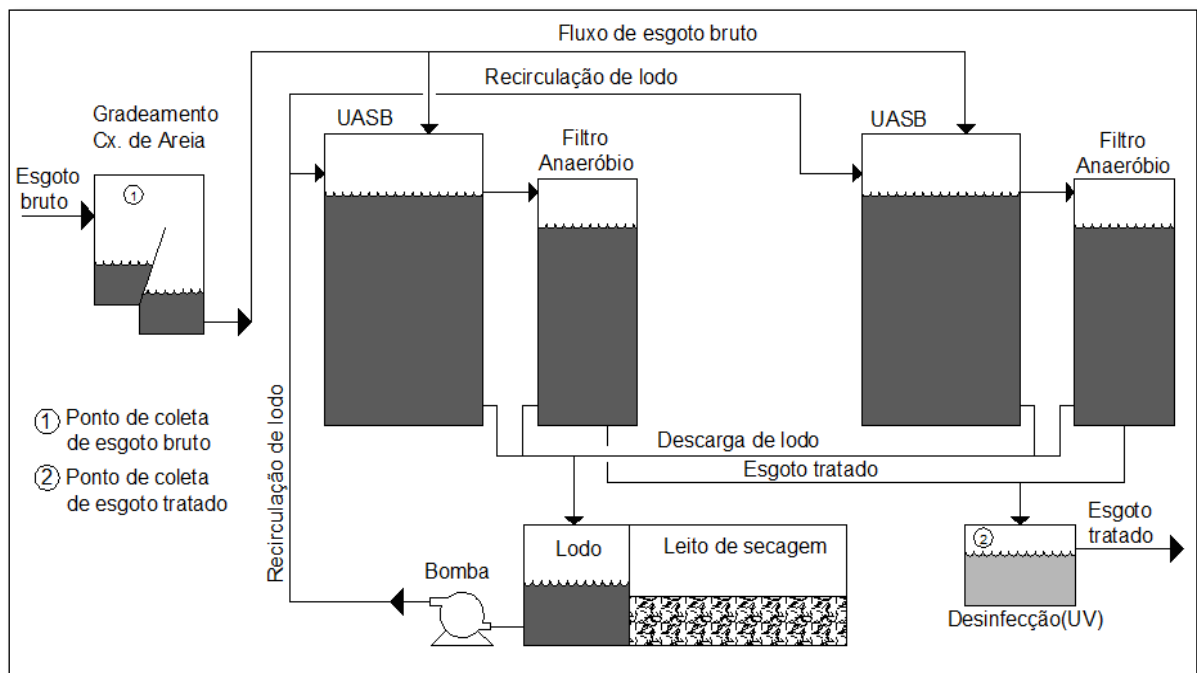
ETE	TIPO	CONFIGURAÇÃO
A	Anaeróbia	<i>UASB</i> e filtro biológico anaeróbio e UV
B	Aeróbia	Lodo ativado convencional e cloro
C	Mista	Anaeróbio/aeróbio com leito móvel e cloro

Fonte: Autor

#### 4.2.1. ETE por processo anaeróbio - A

Uma estação com sistema de tratamento anaeróbio com dois reatores *UASB*, dois filtros biológicos anaeróbios e uma câmara com radiação UV como mostra a Figura 8.

**Figura 7** - Fluxograma da estação de tratamento de esgoto anaeróbio A



Fonte: Autor

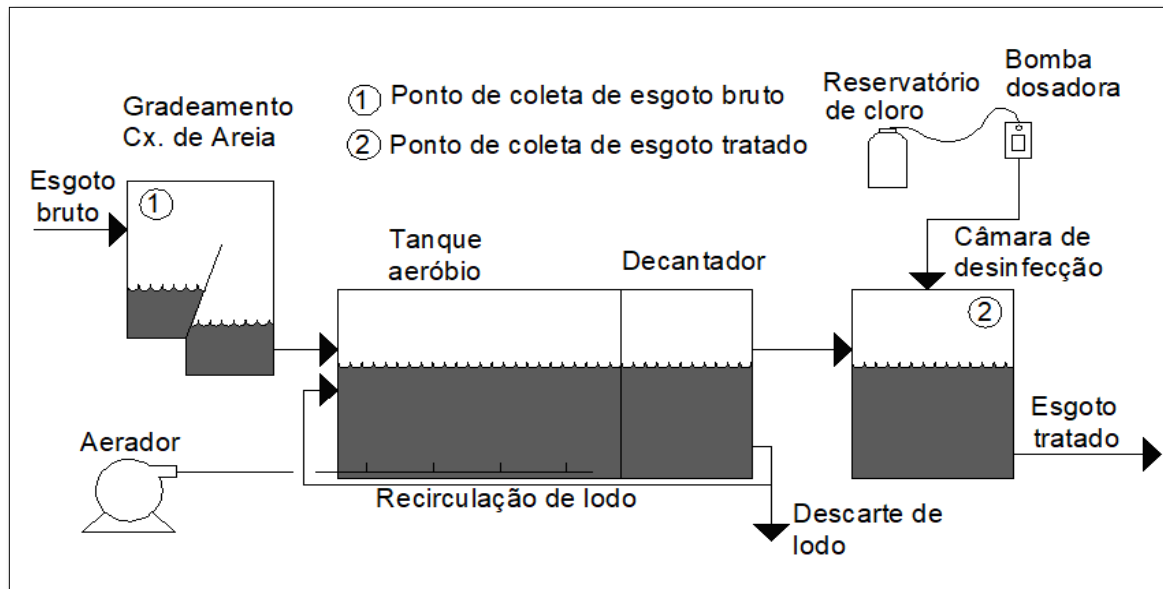
A estação de tratamento A, localiza-se no bairro do Clima Bom, de classe baixa a média. O condomínio é composto por 7 edifícios totalizando 720 apartamentos, dispõe de salão de festas com amplo espaço de lazer com jardins, praças, playgrounds, uma fonte ornamental, calçadas, uma pista de corrida, uma quadra de esportes e 720 vagas de estacionamento. A localidade em que o condomínio está fica próximo a feira livre do tabuleiro, a Gerdau distribuidora, o banco do Brasil, uma escola particular, residências, um supermercado e uma distribuidora.

No entorno do condomínio, há poucas opções de locais que seja possível de aplicação do efluente tratado. Porém, o próprio condomínio utiliza um volume alto de água para rega dos jardins, fins ornamentais, lavagens da quadra e calçadas, lavagem de veículos dos condôminos e descarga dos vasos sanitários dos 720 apartamentos.

#### 4.2.2. ETE por processo aeróbio - B

Uma estação com sistema de tratamento aeróbio por lodo ativado convencional, a estação é composta por um tanque submerso aeróbio, um tanque submerso de decantação e uma câmara de desinfecção de cloro, como mostra a Figura 9.

Figura 8 - Fluxograma da estação de tratamento de esgoto aeróbio (B)



Fonte: Autor

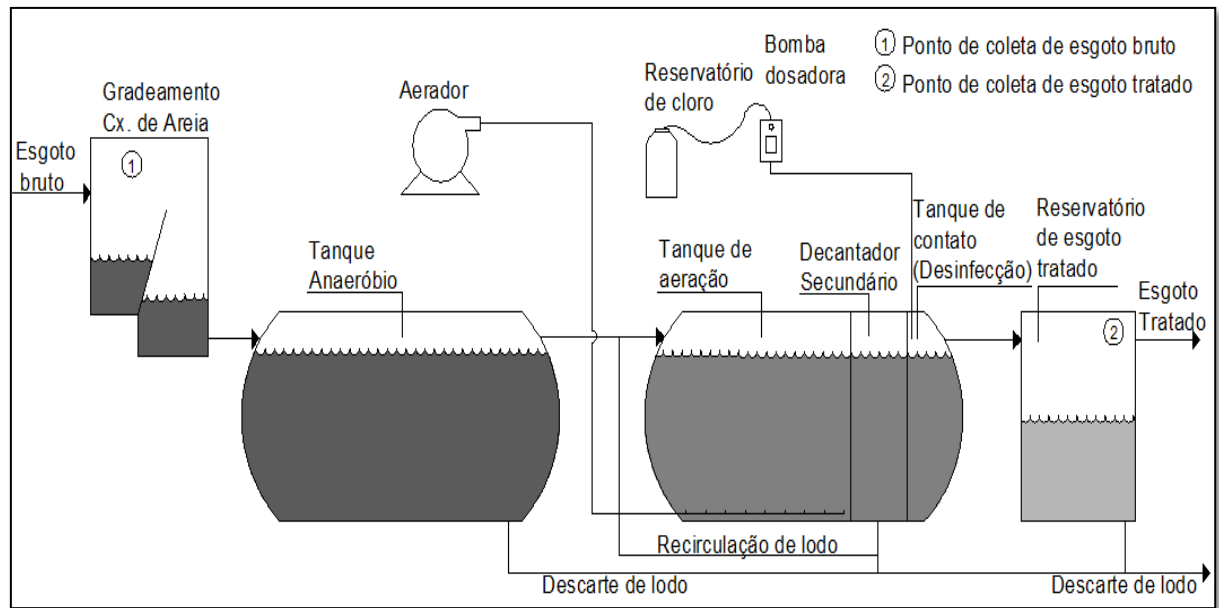
A estação de tratamento B, está localizada no bairro da Serraria, em um condomínio de classe média com um total de 56 apartamentos. O condomínio é composto por estacionamento para os veículos, um salão de festa, jardins e gramados, como também calçadas em todo condomínio. O condomínio utiliza água de um poço artesiano para a rega do jardim e gramado e lavagem das calçadas e salão de festa, consumindo água que podia ser usada em fins nobres. No seu entorno existe uma área de vegetação e um córrego do qual faz parte da bacia do Reginaldo onde é lançado o efluente tratado. Ao lado tem um lava-jato, vários condomínios residenciais, campo de futebol, uma loja de veículos, uma fábrica de esquadrias de alumínio e uma empresa de coleta de lixo.

Diante da localização na qual a ETE está, há um grande potencial de reúso do efluente tratado por ela, podendo ser usado para diversos fins não potáveis e que já são utilizados em algumas cidades brasileiras, dentre eles, descarga dos vasos sanitários, rega dos jardins, salão de festa e na lavagem das calçadas do condomínio, na lavagens de caminhões de lixo, visto que a empresa está localizada próximo da estação, na loja de veículos visto que a mesma apresenta uma área grande de grama, dentre outros fins possíveis.

#### **4.2.3. ETE por processo misto - C**

A Figura 10 apresenta uma estação com sistema misto horizontal compartimentado, denominados de reator anaeróbio seguido de reator aeróbio com leito móvel, e por uma câmara de desinfecção por cloro.

**Figura 9** - Fluxograma da estação de tratamento de esgoto misto (C)



**Fonte:** Autor

A estação de tratamento de esgoto C, está localizada em um condomínio de classe alta com 75 apartamentos de luxo. O condomínio dispõe de jardins, playground, dois subsolos de garagens e áreas comuns com quadra de futsal e academia. Esse empreendimento está situado no bairro da Gruta de Lourdes, bairro de classe média alta, e a 515 m da estação C, está um córrego que recebe esse efluente tratado e desagua no riacho Reginaldo.

No entorno do condomínio há residências, edifícios residenciais e empresariais, um terminal de ônibus, hospitais, clínicas médicas, duas praças com áreas cobertas com grama, duas escolas particulares e um lava-jato. A estação está em uma localidade com várias possibilidades de reúso que pode ser aplicado o efluente tratado, para o entorno que dispõe de vasto potencial para essa disposição do efluente como para rega dos jardins das praças, escolas, clínicas e os hospitais, como descargas de vasos sanitários, lavagem das calçadas, lavagem de veículos, visto que há lava jato próximo.

#### 4.3. Levantamento do potencial das alternativas para a reúso local

No entorno de cada ETE foi investigado, por meio de imagem de satélite do Google e visita local num raio de 2 km, o potencial de aplicação de água de reúso, o qual foi classificado de acordo com a Resolução nº 54/2005 do CNRH.

#### 4.4. Caracterização dos afluentes e efluentes

Para a caracterização e monitoramento dos sistemas foram utilizados dados primários e secundários. Os dados secundários do monitoramento foram fornecidos pela empresa que opera as ETEs, e foram levantados no período de janeiro de 2016 a setembro de 2017, envolvendo os seguintes parâmetros: pH, temperatura, DBO, DQO e sólidos sedimentáveis, do afluente e efluente tratado.

Como dados primários foram coletadas amostras do afluente e efluentes das ETEs para análise dos parâmetros cor verdadeira, turbidez, série nitrogenada, fósforo total e coliformes totais e fecais (termotolerantes), no período entre julho a outubro de 2017, como complemento aos dados fornecidos pela empresa. O Quadro 9 apresenta os parâmetros monitorados.

**Quadro 9** - Parâmetros analisados, métodos e frequências de análises

PARÂMETRO	MÉTODO	FREQUÊNCIA
pH	SMEWW 4500-H+ B	Mensal
Temperatura °C	SMEWW 2550. B	Mensal
Cor verdadeira (uC)	Espectrofotométrico	Semanal
Turbidez (UNT)	Espectrofotométrico	Semanal
DBO (mg /L)	SMEWW 5210 C	Trimestral
DQO (mg /L)	SMEWW 5210 D	Mensal
Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)	Titulométrico	Semanal
N- Amoniacal N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Titulométrico	Semanal
Nitrito N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg /L)	Espectrofotométrico	Semanal
Nitrato N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg /L)	Espectrofotométrico	Semanal
Fósforo Total P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)	Espectrofotométrico	Semanal
Coliformes fecais (NMP/100m L)	Membrana Filtrante	Semanal
Coliformes Totais (NMP/100m L)	Membrana Filtrante	Semanal
Sólidos sedimentáveis (mg /L)	SMEWW 2540. F	Mensal

Fonte: Autor

As campanhas de monitoramento foram realizadas uma vez por semana, em cada ETE, cujas amostras foram coletadas na entrada da estação (esgoto bruto), e na saída (esgoto tratado) após a desinfecção, totalizando duas amostras em cada ETE.

Todas as coletas foram realizadas em recipientes garrafa PET (Polietileno tereftalato), com volume de 500 ml, preservados seguindo os métodos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005) e CETESB.

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia da UFAL (LSA/CTEC/UFAL). As concentrações de nitrogênio total (NTK), nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ), fósforo total ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), DQO foram determinadas de acordo com técnicas do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (2005). As análises de nitrato e nitrito foram realizadas segundo MACKERETH *et al.* (1978).

A caracterização do efluente tratado, foi trabalhada de forma global, por meio das medias aritméticas de cada parâmetro selecionado durante todo o período de monitoramento.

Para todos os dados de caracterização foram aplicados uma estatística descritiva básica, envolvendo o valor médio e o desvio padrão.

#### **4.5. Avaliação da eficiência das ETEs**

A avaliação da eficiência das ETEs foi realizada em termos de remoção de matéria orgânica (medida em termos de DBO e DQO), de nutrientes (N e P), e remoção de patogênicos. A eficiência foi avaliada pela média geral do período monitorado.

Para todos os dados que foram obtidos durante o monitoramento para a análise de eficiência e enquadramento para o reúso no meio urbano, foram aplicados uma estatística descritiva básica, calculando valor médio, e o desvio padrão.

#### **4.6. Avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente gerado.**

Depois de caracterizados os efluentes das ETEs em estudo, os valores médios dos parâmetros monitorados foram comparados com os dados de qualidade de água para reúso requeridos para as diferentes aplicações citados pela NBR 13.969/1997, pelo Manual de conservação e reúso de água em edificações” (ANA; FIESP; SINDUSCON, 2005) e U.S.EPA (2004), ressaltando os potenciais de reúso identificados na área de entorno das ETEs, e avaliou-se se os efluentes atendem aos padrões estabelecidos.

Para os valores que não atenderam aos padrões de reúso, foram pesquisadas propostas de tecnologias de tratamento para que se pudessem adequar os efluentes as potencialidades de reúso urbano local e que sejam economicamente viáveis.

#### **4.7. Diretrizes para tomada de decisão na implantação de ETEs.**

A partir desta amostragem de três ETEs que tratam esgoto doméstico de condomínios residenciais e as potencialidades de reuso na área de estudo elaborou-se propostas de diretrizes para implantação de ETEs descentralizadas, que possuam tecnologia que possam gerar águas de reuso com qualidade compatíveis com a realidade urbana.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Caracterização do afluente e efluente das ETEs e eficiência dos sistemas

#### 5.1.1. ETE compacta por processo anaeróbio (A)

A estação compacta de tratamento de esgoto A opera a cerca de 6 anos e não foi necessário esperar pela estabilização do sistema para início da coleta das amostras. A ETE possui tratamento anaeróbio para remoção de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis do esgoto doméstico. Como o processo é apenas anaeróbio, é a que operacionalmente apresenta menor consumo de energia elétrica, visto que não requer equipamento de aeração. Na Tabela 10 são apresentados os valores médios para o afluente e efluente da estação A.

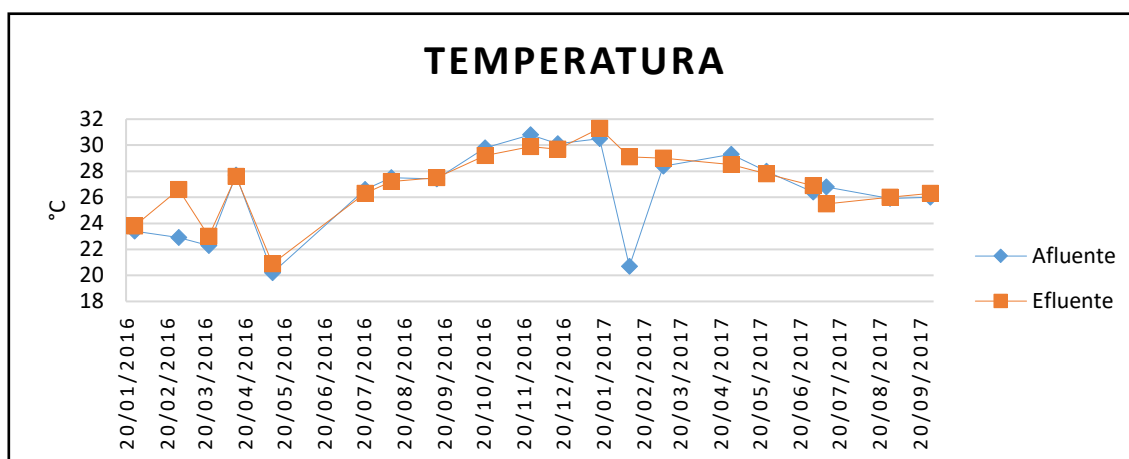
**Tabela 10** - Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação A

Parâmetro	Unidade	Afluente		Efluente		Eficiência	Nº de Amostras
		Média	DP	Média	DP		
Temperatura	°C	26,54	3,08	27,11	2,43	-	20
Cor	uC	60,08	23,90	45,58	16,12	24,13%	12
Turbidez	UNT	304,23	82,02	235,27	97,21	22,67%	13
Sólidos sedimentáveis	mg/L	1,63	1,42	0,51	0,13	68,92%	20
pH	-	7,33	0,53	7,01	0,43	-	20
DBO	mg/L	463,33	155,77	131,85	53,63	71,54%	11
DQO	mg/L	553,28	97,18	153,02	97,18	72,34%	20
Nitrogênio Total	mg/L	49,26	9,20	39,47	9,63	19,90%	13
Fósforo Total	mg/L	6,79	4,35	5,68	2,08	16,42%	13
Coliformes fecais	UFC/100mL	4,46x10 <sup>6</sup>	1,48x10 <sup>6</sup>	1,25x10 <sup>6</sup>	2,98x10 <sup>5</sup>	72,05%	7
Coliformes totais	UFC/100mL	8,67x10 <sup>6</sup>	3,53x10 <sup>6</sup>	1,84x10 <sup>6</sup>	5,28x10 <sup>5</sup>	78,76%	7

**Fonte:** Autor DP: Desvio Padrão

#### Parâmetros físicos

A temperatura influencia diretamente na conversão da matéria orgânica presente no esgoto. Para a estação A, a temperatura se manteve na faixa mesofílica com temperatura variando de 20 a 32°C, possibilitando a conversão de matéria orgânica, visto que as bactérias presentes no tratamento anaeróbio têm uma boa eficiência na faixa de 25 a 35°C (METCALF E EDDY, 2003).

**Gráfico 1** - Temperatura do afluente e efluente do processo anaeróbio da ETE A

**Fonte:** Autor

Os valores obtidos para cor verdadeira para ETE por processo anaeróbio, mostram que a eficiência para o período monitorado foi de apenas 24,13%. O afluente tratado apresentou valor médio de 60,08 uC, enquanto o valor médio do efluente foi de 45,58 uC.

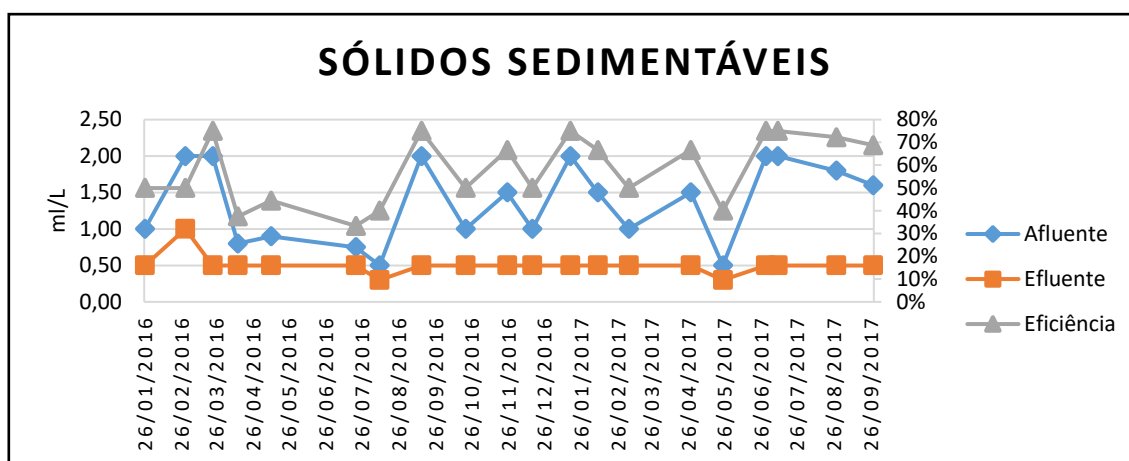
Durante o período de monitoramento da estação, a turbidez manteve valor médio para o afluente de 304,23 UNT, e para o efluente valor médio de 235,27 UNT, a estação apresentou eficiência de 22,67%, e deve-se a presença de sólidos em suspensão. Embora os sólidos em suspensão não tenham sido analisados, os valores sugerem que mesmo a estação possuindo filtros anaeróbios estes não foram suficientes para reduzir significativamente a concentração de sólidos em suspensão no efluente.

A remoção de sólidos sedimentáveis que foi de 68,92%. As concentrações médias para o afluente e efluente foram respectivamente de 1,63mL/L e 0,51 ml/L, valores abaixo dos encontrados na literatura, que apresenta geralmente concentração de sólidos sedimentáveis para o afluente de 6 a 10 ml/L, e 0,1 a 0,3 ml/L para efluente, e eficiência entre 70 a 80%. Os baixos valores de sólidos sedimentáveis no afluente podem justificar uma melhor eficiência de remoção de sólidos, em relação ao referenciado na literatura (JORDÃO E PESSOA, 2009). No entanto a eficiência de remoção de SS foi semelhante a encontrada por Silva e Souza (2011), de 55% para sistema de tanque séptico seguido por filtro anaeróbio.

A estação apresentou resultados variáveis para os parâmetros físicos de interesse desta pesquisa. Para cor e turbidez a eficiência foi baixa, pouco maior que 20%, já a eficiência média de remoção de SS foi um pouco maior, de 68,92%. Embora esses valores sejam considerados baixos, eles são compatíveis com os de estudos recentes sobre sistemas em

escala real no país (SILVA E SOUZA, 2011). O Gráfico 2 apresenta a variação e eficiência de remoção dos SS ao longo no monitoramento da ETE A.

**Gráfico 2** – Perfil temporal e eficiência por processo anaeróbio.



Fonte: Autor

### Remoção de matéria orgânica

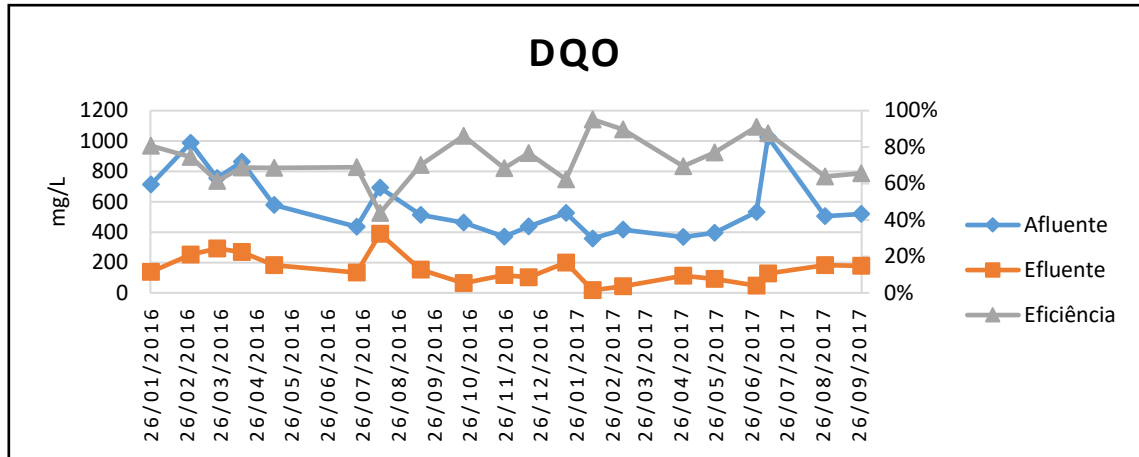
Os valores médios de pH, durante o período monitorado estão na faixa de 7,33 para o afluente e 7,01 para o efluente, de acordo com a Tabela 10. Segundo Metcalf e Eddy (2016), a faixa ótima é tipicamente entre 6 e 9, para esgoto bruto e 6,5 a 8,5 para esgoto tratado. Para Silva e Nour (2005), essa faixa é considerada ótima para as atividades das arqueas metanogênica presentes nos processos anaeróbios, pois não afeta a eficiência do reator. O pH do afluente se manteve na faixa adequada para as atividades biológicas, favorecendo a remoção de matéria orgânica.

No que diz respeito a matéria orgânica medida como DQO da ETE no reator UASB, e em seguida pelo filtro anaeróbio, apresentou eficiência média de 72,34%, acima dos valores apresentados na literatura, entre 65% e 70% (FORESTI et al, 1999; JORDÃO e PESSOA, 2009), indicando um projeto e operação adequado. No Gráfico 3 está representado a variação dos valores de DQO durante o período monitorado.

A matéria orgânica facilmente degradável, medida como DBO apresentou eficiência remoção de 71,54%. Esse resultado está dentro do esperado, que segundo Foresti et. al (1999), são valores típicos desse tipo de reator anaeróbio. Para Von Sperling (1996), quando o reator UASB 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 ligada ao tempo de

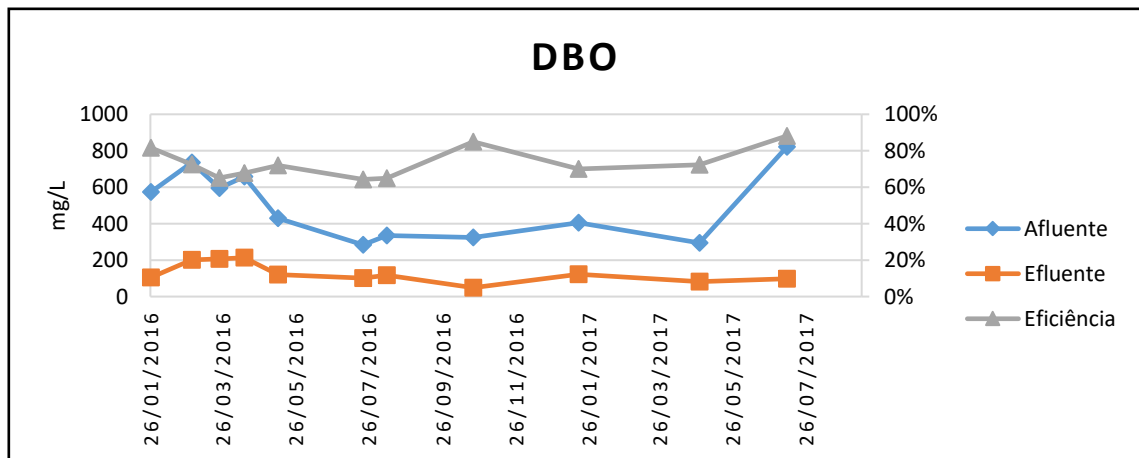
detenção hidráulica (TDH). Os Gráficos 3 e 4, traçam o perfil temporal e eficiência do monitoramento dos parâmetros DQO e DBO.

**Gráfico 3** - Perfil temporal e eficiência na remoção de matéria orgânica em termo de DQO



Fonte: Autor

**Gráfico 4** – Perfil temporal e eficiência na remoção de matéria orgânica em termo de DBO



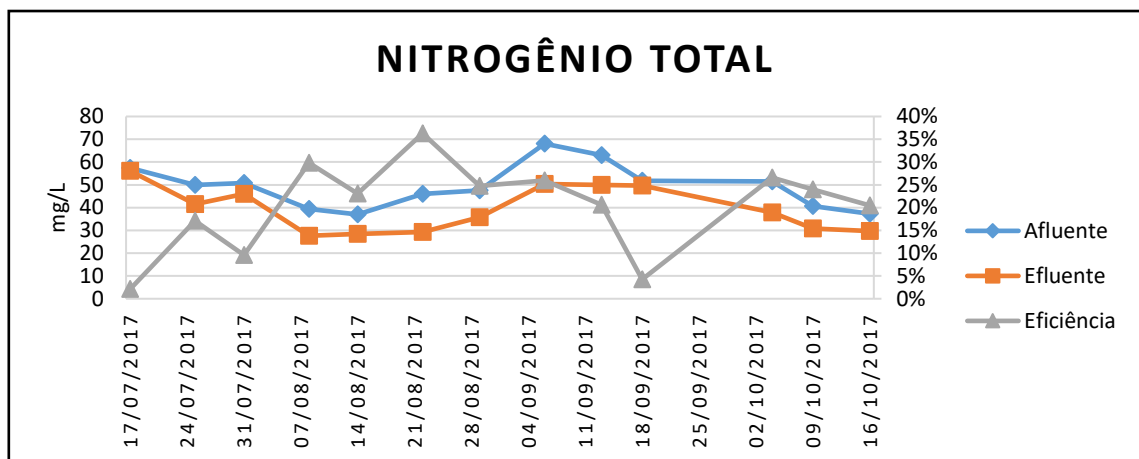
Fonte: Auto

Avaliando a biodegradabilidade o esgoto bruto, a relação DBO/DQO média foi de 0,84, característico de esgoto sanitário doméstico, mostrando que 84% da matéria orgânica presente é de fácil degradação e pode ser tratado via processo biológico. Para o efluente tratado essa relação foi de 0,86, mostrando que a matéria orgânica remanescente também é predominantemente biodegradável, e que talvez um maior tempo de detenção hidráulica aumente a eficiência de remoção de matéria orgânica. Diante dos dados obtidos pode-se concluir que a ETE possui uma boa operação e eficiência na remoção de matéria orgânica.

## Nutrientes

No sistema de tratamento anaeróbio, percebe-se na Tabela 10, a remoção do nitrogênio total com uma eficiência média de 19,90%. A baixa remoção atingida se dá provavelmente no processo anaeróbio, por está presente apenas a amonificação, caracterizando baixa remoção do nitrogênio total do sistema. O Gráfico 5 apresenta a eficiência e o perfil temporal da concentração de nitrogênio total do afluente e efluente do tratamento anaeróbia.

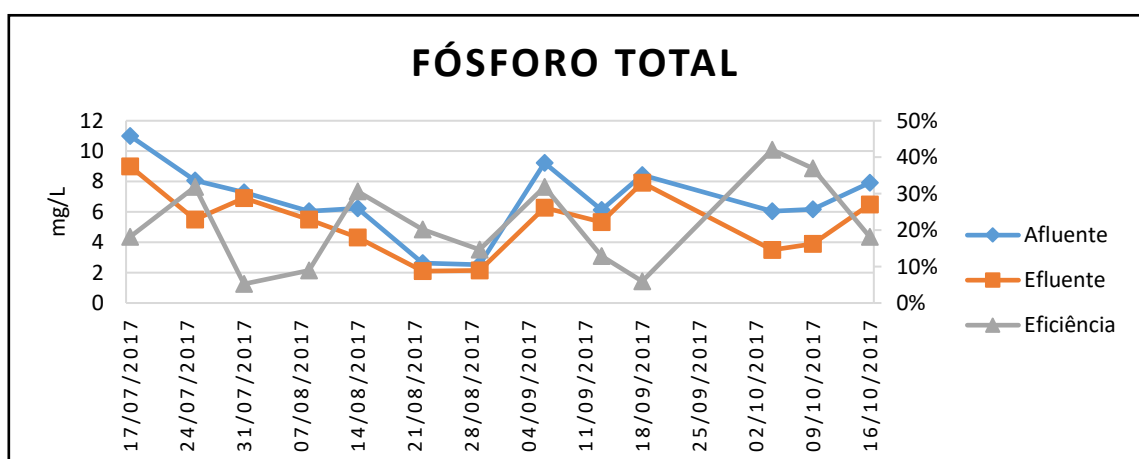
**Gráfico 5** – Perfil temporal e eficiência do afluente e efluente por tratamento anaeróbia.



Fonte: Autor

O fósforo total apresentou concentração média de 6,79 mg/L para o afluente e 5,68 mg/L para o efluente e eficiência de 16,42%. Esses valores são esperados para o processo anaeróbio, pois o fosforo é utilizado apenas para síntese celular, não promovendo outro tipo de remoção de fósforo. No Gráfico 6 estão apresentadas as concentrações encontradas durante o período monitorado como também a eficiência atingida pelo sistema.

**Gráfico 6** – Perfil temporal e eficiência da remoção de fósforo total por tratamento anaeróbio



Fonte: Autor

### **Coliformes totais e fecais (Termotolerantes)**

Os coliformes fecais funciona como indicador de patogênicos de veiculação hídrica, presente no esgoto. Para os coliformes fecais o processo de desinfecção por radiação ultravioleta foi capaz de promover uma eliminação de patogênicos com eficiência de apenas 73,38 % e 78,76% para os coliformes totais. A baixa eficiência do processo de desinfecção certamente pode ser atribuída a alta turbidez do efluente tratado que proporciona uma “proteção” aos microrganismos a radiação UV (METCALF e EDDY, 2016).

### **Considerações finais sobre as características do afluente e efluente tratado por processo anaeróbio**

A cor é indicativo da idade do esgoto bruto. Geralmente o esgoto fresco tem uma cor cinza, enquanto o esgoto velho tem uma cor preta. Durante todo o período de monitoramento da estação o esgoto apresentou cor cinza, típico de esgoto fresco, indicando que a ETE fica próxima da fonte produtora. A turbidez encontrada no esgoto tratado foi alta. Esse parâmetro pode ser utilizado como indicativo da eficiência do tratamento secundário aplicado ao esgoto doméstico, que apresentou baixa eficiência na remoção de sólidos em suspensão, indicando que há uma quantidade considerável de sólidos no esgoto tratado (JORDÃO e PESSOA, 2009).

A concentração de sólidos sedimentáveis apresentada no esgoto bruto, caracterizou-se como esgoto fraco, que tem concentração até 5 ml/L. Para a temperatura, os valores apresentados estão dentro do esperado para o esgoto entre 20 e 35 °C, que geralmente são mais elevadas que a temperatura do ar devido a contribuição de esgotos domésticos com as águas aquecidas, com exceção a faixa de temperatura típica de 20 a 25°C nos meses de verão (JORDÃO e PESSOA, 2009).

A concentração de DQO encontrada no esgoto bruto é típica de esgoto médio, que apresenta faixa entre 500 a 400 mg/L. A relação de DQO/DBO apresentou valor de 1,19 vezes o valor de DBO. Essa fração indica diretamente que o esgoto bruto está sendo tratado por processo mais apropriado, visto que quanto menor a relação DQO/DBO maior a biodegradabilidade da matéria orgânica e o processo mais indicado é o tratamento biológico.

A concentração de nitrogênio do esgoto bruto, apresentou 12 mg/L e 34 mg/L, respectivamente para a forma orgânica e amoniacal, característico de esgoto médio a forte (CROOK; OKUN e PINCICE, 1994; JORDÃO e PESSOA, 2005, apud SOUSA, 2008).

A concentração de fósforo total encontrado no esgoto bruto está abaixo do esperado, geralmente varia de 10 a 20 mg/L, sendo 10 mg/L um esgoto médio e 20 mg/L um esgoto forte, (JORDÃO & PESSOA, 2009). O fósforo total apresentou concentração dentro do esperado, geralmente a concentração de fosforo total apresenta valores típicos de concentração de 3 a 10 mg/L para o esgoto tratado, o valor de 5,98 mg/L caracteriza o esgoto tratado fraco (METCALF e EDDY, 2016).

Para os coliformes totais e fecais houve remoção de apenas uma fração. A concentração apresentada no esgoto tratado era alta caracterizando baixa eficiência de remoção de patogênicos e necessidade de um maior controle de desinfecção desse efluente, visto que os coliformes são usados como referência de indicativo de contaminação.

### 5.1.2. ETE por processo aeróbio (B)

A estação compacta de tratamento de esgoto B, é do tipo sistema aeróbio por lodo ativado convencional. Opera há mais de 5 anos não havendo necessidade de esperar estabilizar o sistema para iniciar as coletas. O objetivo deste tipo de ETE é remoção de matéria orgânica e nitrificação, ou seja, remoção de nitrogênio na forma amoniacal. Como o processo é apenas aeróbio, é a que operacionalmente apresenta maior consumo de energia elétrica, visto que requer equipamento de aeração. A Tabela 11 apresenta os valores médios e o desvio padrão dos parâmetros analisados.

**Tabela 11** - Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação B

Parâmetro	Unidade	Afluente		Efluente		Eficiência	Número de Amostras
		Média	DP	Media	DP		
Temperatura	°C	26,86	2,61	26,85	2,53	-	20
Cor	uC	88,09	31,35	67,37	22,99	23,51%	12
Turbidez	Ut	280,15	77,0	242,65	117,75	13,39%	13
Sólidos sedimentáveis	mg/L	0,56	0,16	0,43	0,16	23,21%	20
pH	-	7,28	0,45	7,00	0,45	-	20
DBO	mg/L	393,55	168,84	128,43	62,23	67,37%	11
DQO	mg/L	414,76	229,43	138,04	82,98	66,72%	20
Nitrogênio Total	mg/L	51,73	8,45	45,95	11,27	11,17%	11
Fósforo Total	mg/L	6,67	1,68	6,38	1,89	4,37%	13
Coliformes fecais	UFC/100mL	4,27x10 <sup>5</sup>	5,71x10 <sup>4</sup>	8,63x10 <sup>3</sup>	2,88x10 <sup>3</sup>	98,00%	7
Coliformes totais	UFC/100mL	6,81x10 <sup>5</sup>	9,57x10 <sup>4</sup>	1,23x10 <sup>4</sup>	4,31x10 <sup>3</sup>	98,19%	7

**Fonte:** Autor.

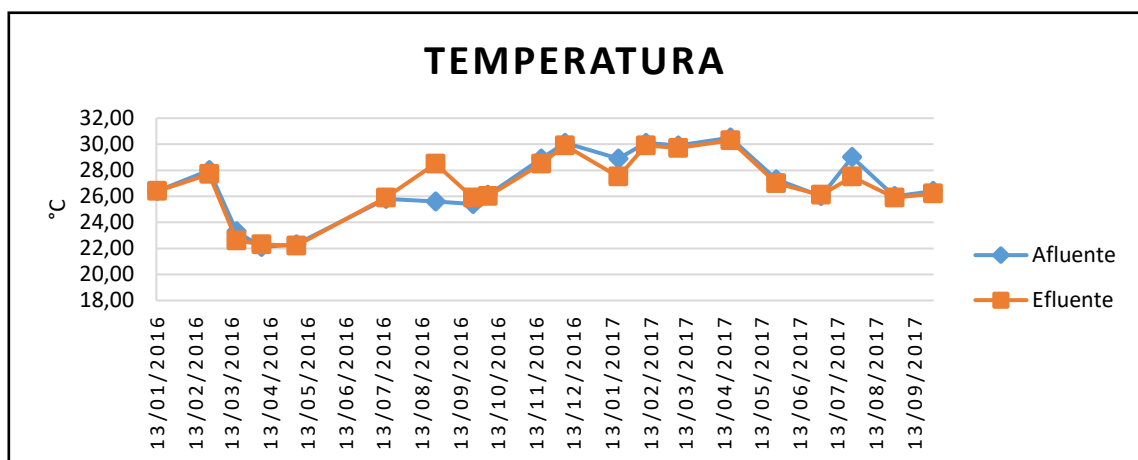
### Parâmetros físicos

Os valores obtidos para cor verdadeira pela estação de tratamento de esgoto por processo aeróbio, mostram que a eficiência de remoção para o período monitorado foi 23,51%. O afluente (esgoto bruto) apresentou valor médio de 88,09 uC, enquanto o valor médio do efluente foi de 67,37 uC.

A temperatura influencia diretamente o processo de tratamento de esgoto, visto que há uma faixa ótima na qual as bactérias aeróbias desempenham uma eficiência na conversão de matéria orgânica. Para Metcalf e Eddy (2003) a degradação aeróbia e nitrificação acontece em faixa de temperatura entre 25 e 35°C, acima desse valor a eficiência diminui, quando o esgoto atinge valor de 50°C a atividade microbiana aeróbia cessa.

Como se pode observar, tanto a temperatura do esgoto bruto como do tratado se mantiveram na faixa de 26,86 a 26,85 °C, ou seja, na faixa mesofílica. Logo, as bactérias presentes nesse reator tinham condições favoráveis para realizar a conversão da matéria orgânica. O Gráfico 8 apresenta as variações da temperatura durante o período monitorado.

**Gráfico 7** - Temperatura do afluente e efluente do processo anaeróbio da ETE B



Fonte: Autor

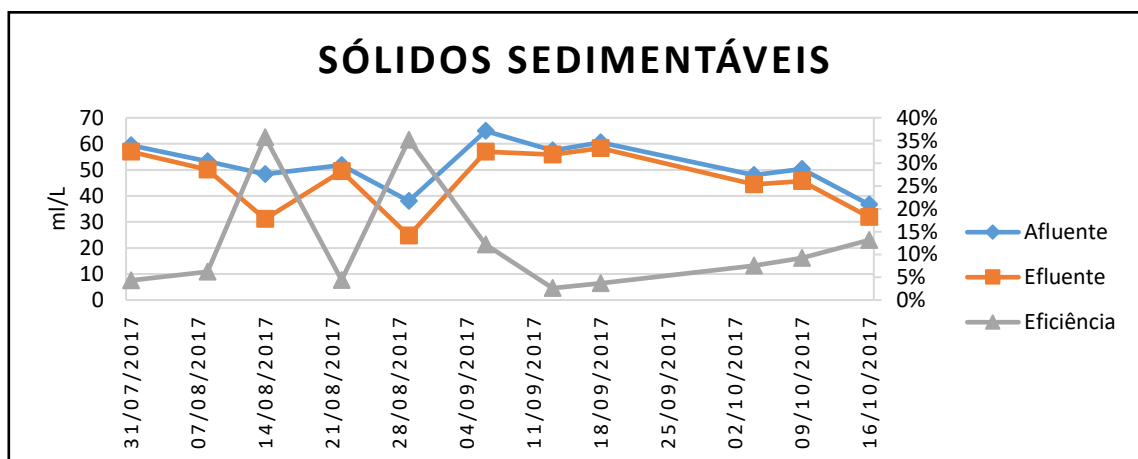
No período de monitoramento da estação de tratamento de esgoto por lodo ativado convencional, a turbidez manteve valor médio para o afluente de 280,15 UNT, e para o efluente o valor médio foi de 242,65 UNT, com eficiência de 13,39%. Os valores encontrados nessa pesquisa para o afluente e efluente apresentam uma enorme disparidade com os mencionados na literatura, a remoção de turbidez nos efluentes tratados por lodo ativado convencionais atingem valores entre 2 – 15 UNT (METCALF e EDDY, 2016).



A baixa eficiência ocorreu provavelmente devido os sólidos em suspensão que foram carregados do decantador para o tanque de desinfecção. A baixa eficiência de sedimentação do decantador secundário pode está associada ao tipo de lodo formado (possíveis bactérias filamentosas) ou a um baixo tempo de detenção.

Para a concentração de sólidos sedimentáveis, tanto no afluente como no efluente, estes valores foram baixos, não ultrapassa 1,0 ml/L, o que resultou numa eficiência baixa para remoção de sólidos sedimentáveis de 23,21%. Estas concentrações médias para o afluente e efluente de 0,56 e 0,43 mg/L, estão muito abaixo da encontrada na literatura, que apresenta geralmente concentração de sólidos sedimentáveis para o esgoto bruto (afluente) de 6 a 10 ml/l, e 0,1 a 0,3 ml/L para esgoto tratado (efluente), e eficiência entre 70 a 80% (JORDÃO & PESSOA, 2009). O Gráfico 8 apresenta a eficiência e variação dos sólidos sedimentáveis no afluente e efluente da ETE aeróbia.

**Gráfico 8** – Perfil temporal e eficiência dos sólidos sedimentáveis por processo aeróbio.



Fonte: Autor

### Matéria orgânica

Tanto para remoção de matéria orgânica quanto para o processo de nitrificação, os valores médios de pH, são importantes. 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. Durante o período monitorado o pH médio do esgoto bruto foi de 7,28, e para o efluente tratado de 7,00, permanecendo na neutralidade, faixa adequada para as atividades biológicas, favorecendo a remoção de matéria orgânica e nitrificação.

A concentração média de DQO encontrada no esgoto bruto é típica de esgoto médio, que apresenta faixa entre 500 a 400 mg/l.

A estação de tratamento de esgoto por lodo ativado convencional monitorada apresentou eficiência de 66,72% para a remoção de matéria orgânica medida como DQO. Eficiência abaixo da esperada, visto que Jordão e Pessoa (2009) citam que geralmente a eficiência para lodo ativado convencional é em média de 75%.

Segundo Metcalf e Eddy (2016), a concentração de demanda química de oxigênio presente no efluente obtido por processo de lodo ativado convencional deve estar em uma faixa de 40 - 80 mg/L. No reator B, o efluente apresentou valor médio de 138,04 mg/L, acima do valor apresentado na literatura, atingindo concentrações acima de 200 mg/L, Gráfico 9.

Quanto a matéria orgânica de fácil degradação, medida como DBO, a ETE por lodo ativado convencional apresentou eficiência de 67,37%, também abaixo da esperada. Geralmente a eficiência para lodo ativado convencional está entre 75 a 95% (METCALF e EDDY, 2016).

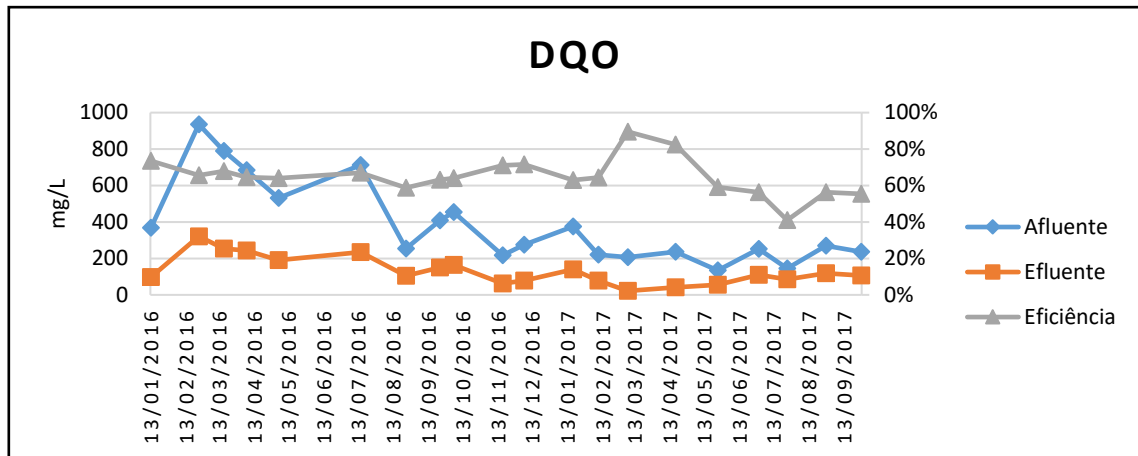
O valor médio para DBO de efluente tratados por lodo ativado foi de 128,43 mg/L, e geralmente em tratamentos secundários espera-se obter uma concentração de 20 a 30 mg/L (JORDÃO & PESSOA, 2009). Esse valor está acima do permitido estabelecido pela resolução CONAMA n° 430/2011, que permite lançar esgoto tratado por sistema de tratamento até 120 mg/L, em corpos d'água, levando em consideração a classe em que o mesmo está enquadrado.

Os valores apresentados na Tabela 11 estão muito acima do relatado na literatura. No processo de lodo ativado convencional para remoção de matéria orgânica em valores de demanda bioquímica de oxigênio apresenta concentrações geralmente entre 5 – 25 mg/L, (METCALF e EDDY, 2016). A remoção de matéria orgânica pelo processo de lodo ativado convencional apresenta uma disparidade enorme dos valores encontrados na literatura, levando a hipótese de falha na operação da estação. Embora não tenha sido monitorado a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no tanque de aeração, a baixa remoção de matéria orgânica no processo de lodo ativado pode estar associada a concentração de OD no tanque de aeração, que poderia não estar disponível para a demanda requerida no processo.

Em termos de DQO/DBO apresentou valor de 1,05 vezes o valor de DBO, essa fração indica diretamente que o esgoto bruto está sendo tratado por processo mais apropriado, visto que quanto menor a relação DQO/DBO maior a biodegradabilidade da matéria orgânica e o processo mais indicado é o tratamento biológico. Os Gráficos 9 e 10 apresentam respectivamente o perfil temporal e a eficiência atingida pela estação B na remoção de

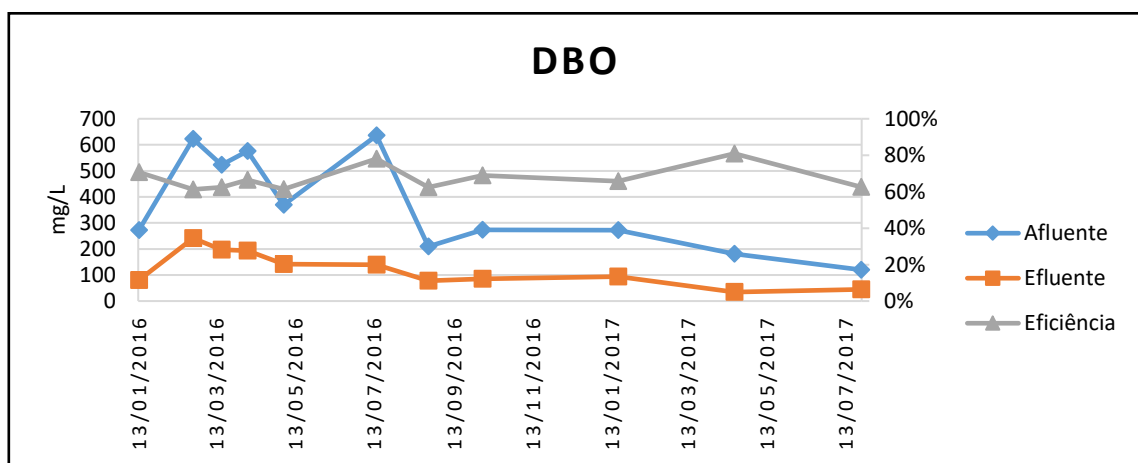
materia orgânica em termos de DQO e DBO, encontrados durante o monitoramento da ETE por lodo ativado convencional.

**Gráfico 9** - Perfil temporal e eficiência da DQO na ETE B no período monitorado.



Fonte: Autor

**Gráfico 10** – Perfil temporal e eficiência da DBO na ETE B no período monitorado



Fonte: Autor

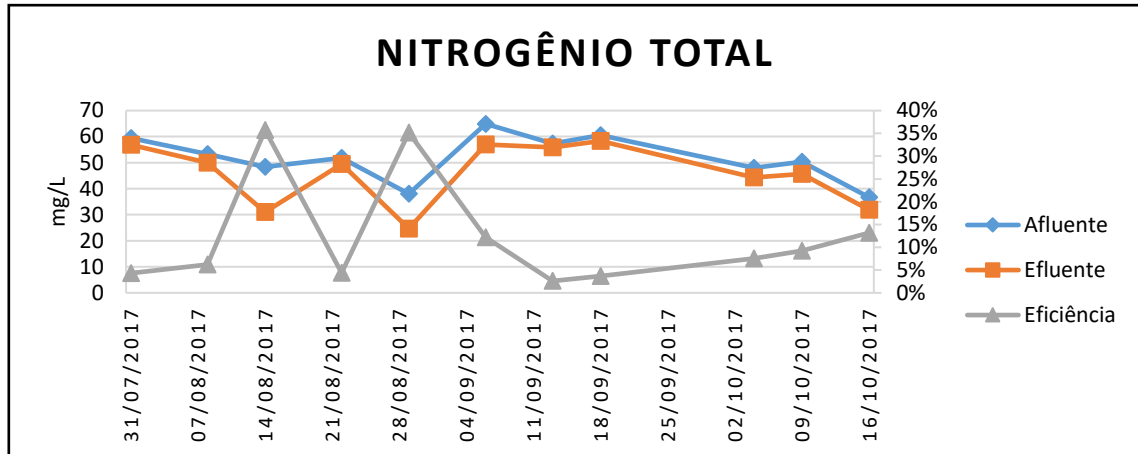
### Nutrientes

Para o tratamento aeróbio, na Tabela 11 a remoção do nitrogênio total apresenta uma eficiência média de 11,17%. A baixa remoção atingida no processo aeróbio, é indicativo que o sistema não está nitrificando, caracterizando baixa remoção do nitrogênio total do sistema.

Os dados da baixa remoção de matéria orgânica e da quase inexistência do processo de nitrificação levam a supor que a concentração de OD era insuficiente para a manutenção simultânea de ambos processos: degradação de matéria orgânica e nitrificação. Os gráficos 11

apresenta a variação temporal e eficiência da concentração do nitrogênio total no esgoto bruto e tratado na ETE por lodo ativado convencional.

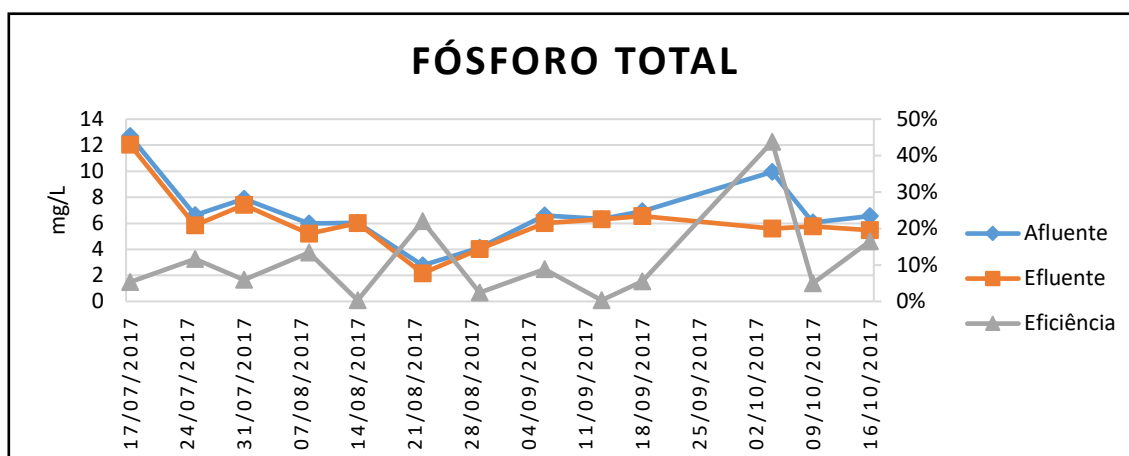
**Gráfico 11** - Variação e eficiência da remoção Nitrogênio Total por processo aeróbio.



**Fonte:** Autor

A concentração média de fósforo total encontrada no esgoto bruto foi de 6,67 mg/L e para o esgoto tratado 6,38 mg/L, obtendo eficiência média de 4,37% de remoção. O consumo de fósforo observado certamente deve-se a quantidade necessária a síntese celular. Para lodo ativado convencional a remoção de fósforo sem um pós-tratamento é em torno de 8 mg/l, mas como a eficiência de remoção de matéria orgânica foi baixa, a quantidade de fósforo necessária a síntese celular também foi baixa, e assim o consumo de fósforo foi de apenas 0,29 mg/L.

Durante o período monitorado os valores apresentados, o Gráfico 12 mostra que durante quase todo o período de análise as concentrações do fósforo total se mantiveram sempre abaixo de 10 mg/L.

**Gráfico 12 - Perfil temporal e eficiência da remoção de fósforo da ETE B**

Fonte: Autor

### Coliformes totais e fecais (Termotolerantes)

Para os coliformes totais e fecais a desinfecção aplicada na eliminação de patógenos apresentou eficiência de 97,34%, com aplicação de cloro, com valores de coliformes fecais no efluente tratado de  $3,14 \times 10^3$  UFC/100 mL e  $1,23 \times 10^4$  para os coliformes totais. Esses valores é indicativo de contaminação fecal remanescente, sendo necessário medidas de controle na desinfecção para tornar os coliformes ausentes, e obter desinfecção completa.

### Considerações finais sobre as características do efluente bruto e tratado na ETE B

Durante todo o período de monitoramento da estação o esgoto apresentou cor negra, típico de esgoto velho e que já passou por uma degradação parcial. Nessa estação o esgoto bruto que chegava na estação era canalizado das fossas sumidouros do condomínio que recebia o esgoto bruto e destinava a estação.

A turbidez encontrada no esgoto tratado foi elevada, que apresentou baixa eficiência na remoção de sólidos em suspensão, indicando que há uma quantidade alta de sólidos em suspensão no esgoto tratado (JORDÃO e PESSOA, 2009).

A concentração de fósforo total está dentro do esperado tanto no esgoto bruto como no tratado. O fósforo total apresentou valores típicos entre 3,7 e 11 mg/L, para o esgoto doméstico bruto, e concentração de 3 a 10 mg/L para o esgoto tratado (METCALF E EDDY, 2016).

A estação não promoveu uma boa amonificação do nitrogênio orgânico em amoniacal, como também a nitrificação foi apenas de 2,34 mg/L de amônia em nitrito e nitrato, o pH na faixa de neutralidade é um indicativo de que a atividade biológica permanece baixa, pela falta de consumo da alcalinidade, uma possível falta de OD causou essa ineficiência da estação.

A DBO e DQO também indicam a baixa remoção da matéria orgânica da ETE B que apresentou eficiência abaixo de 70%. Geralmente o sistema de lodo ativado convencional mantém a remoção entre 75% a 95%. Essa estação indica que há falha de funcionalidade das atividades biológicas por falta de OD para os microrganismos.

### 5.1.3. ETE compacta por processo misto (C)

A estação compacta de tratamento de esgoto C opera a no mínimo 2 anos e não foi necessário esperar pela estabilização do sistema, para início da coleta das amostras. Os dados para complementar os fornecidos pela empresa, foram coletados na estação, semanalmente, de acordo com a disponibilidade da empresa que é responsável e monitora a estação. A ETE possui o tratamento combinado anaeróbio/aeróbio para remoção de matéria orgânica e demais constituintes do esgoto doméstico. Na Tabela 12 são apresentados os valores médios dos parâmetros analisados e a eficiência da ETE.

**Tabela 12** – Média, desvio padrão e eficiência do afluente e efluente da estação C

Parâmetro	Unidade	Afluente		Efluente		Eficiência	Número de Amostras
		Média	DP	Média	DP		
Temperatura	°C	27,15	2,68	24,40	2,41	-	20
Cor	uC	60,39	25,51	60,38	25,51	0,02%	12
Turbidez	Ut	297	131,33	265,33	61,13	10,66%	14
Sólidos sedimentáveis	mg/L	1,28	0,56	0,65	0,21	49,00%	20
pH	-	7,1	0,64	7,00	0,45	-	20
DBO	mg/L	477,54	182,12	107,09	55,37	77,57%	11
DQO	mg/L	621,26	370,75	151,62	72,25	75,59%	20
Fósforo Total	mg/L	7,81	1,25	6,62	1,37	15,16%	13
Nitrogênio Total	mg/L	54,73	9,14	42,00	6,57	23,00%	11

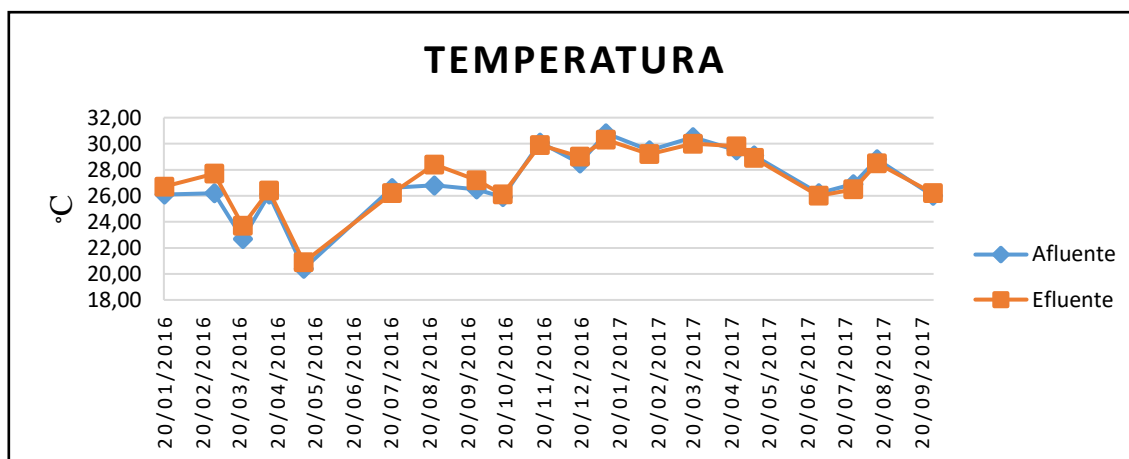
Coliformes Fecais	UFC/100mL	$6,53 \times 10^6$	$4,80 \times 10^6$	$2,86 \times 10^2$	$2,65 \times 10^2$	99,99%	7
Coliformes Totais	UFC/100mL	$8,65 \times 10^6$	$5,20 \times 10^6$	$6,46 \times 10^4$	$5,98 \times 10^4$	99,25%	7

Fonte: O autor

### Parâmetros físicos

Esta ETE operou na faixa mesofílica durante todo o período monitorado, com temperatura média do afluente (esgoto bruto) de 27,17 °C e 27,40 °C para o efluente. Em alguns meses houve uma queda da temperatura, foram eles os meses de março na faixa de 22 a 24°C e maio na faixa de 20 a 22°C. Para Metcalf e Eddy (2016) a faixa de temperatura entre 25 e 35°C é considerada ótima para os microrganismos presentes no tratamento de esgoto desenvolverem suas atividades. A temperatura se manteve na maior parte do tempo dentro da faixa ótima, proporcionando uma boa atividade biológica.

**Gráfico 13** - Variação da temperatura do esgoto bruto e tratado



Fonte: Autor

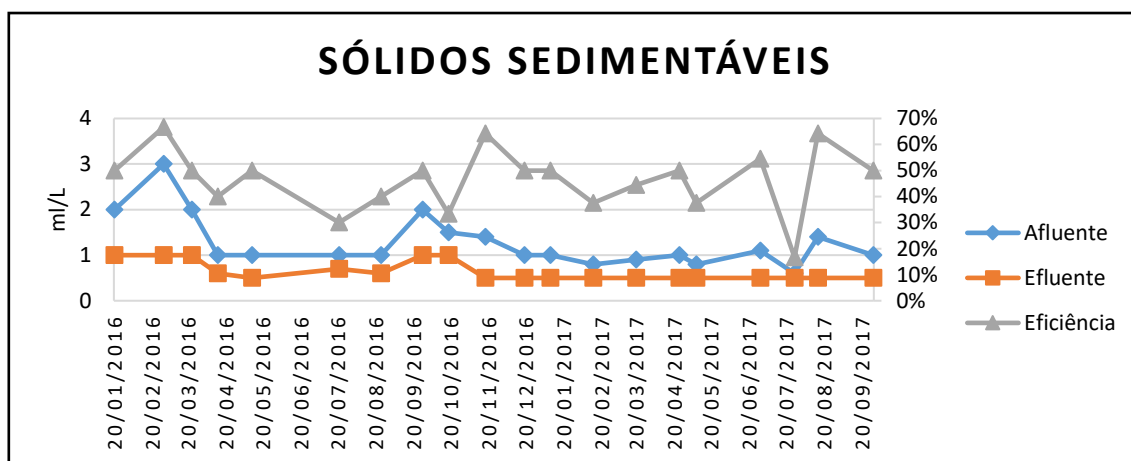
Como pode ser observado na Tabela 12 o sistema não foi eficiente na remoção de cor. O valor da cor do esgoto bruto apresentou valor médio de 60,39 uC, enquanto o valor médio do efluente tratado foi praticamente igual, 60,31 uC.

Durante todo o período de monitoramento da estação de tratamento de esgoto combinado anaeróbio-aeróbio, a turbidez afluente apresentou valor médio de 297 UNT, e o efluente de 265,33 UNT, apresentando uma eficiência na remoção de sólidos suspensos em torno de 10,66%.

A redução da turbidez certamente é consequência da remoção de sólidos sedimentáveis que apresentou eficiência média de 49,00%. Os sólidos sedimentáveis, no

afluente e efluente, apresentaram valores médios de 1,28 ml/L e 0,65 ml/L, respectivamente. Vale ressaltar que a concentração média de sólidos sedimentáveis do esgoto bruto, observada para essa ETE, está muito abaixo da encontrada na literatura, cujos valores médios de sólidos sedimentáveis variam 6 a 10 ml/L. Já para o efluente tratado, o valor médio observado (0,76 ml/L) está acima da faixa citada por esses mesmos autores, de 0,1 a 0,3 ml/L (JORDÃO e PESSOA, 2009).

**Gráfico 14** – Perfil temporal e eficiência da remoção de sólidos sedimentáveis



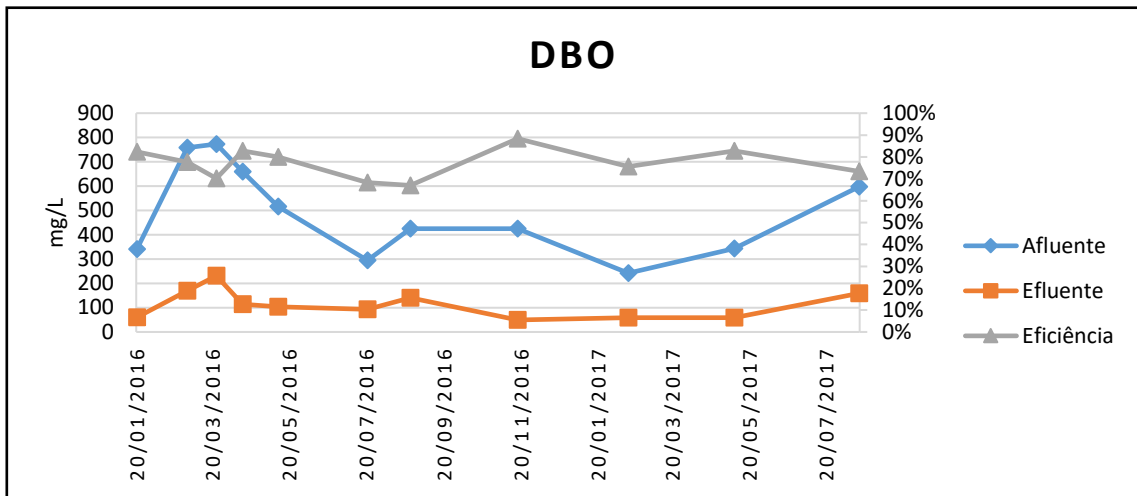
Fonte: Autor

### Parâmetros químicos

Na Tabela 12, praticamente não houve alterações dos valores médios de pH, permanecendo próximo a neutralidade durante o período monitorado. O Valor médio do afluente foi de 7,1, e para o efluente de 7,0. Segundo Metcalf e Eddy (2016), a faixa típica de esgoto é entre 6 e 9. E para esgoto tratado, é entre 6,5 a 8,5. Assim, o pH do afluente se manteve na faixa adequada para as atividades biológicas, favorecendo a remoção de matéria orgânica.

O parâmetro DBO, foi monitorado trimestralmente pela empresa responsável em monitorar a estação. Durante esse tempo houve pico que atingiu valor próximo de 800 mg/L, e valores abaixo de 300 mg/L, mostrado no Gráfico 15, ficando o valor médio afluente 477,54 mg/L e valor médio efluente em 107,09 mg/L, expresso na Tabela 12. A eficiência da estação na remoção de matéria orgânica foi de 77,57%, no período analisado.

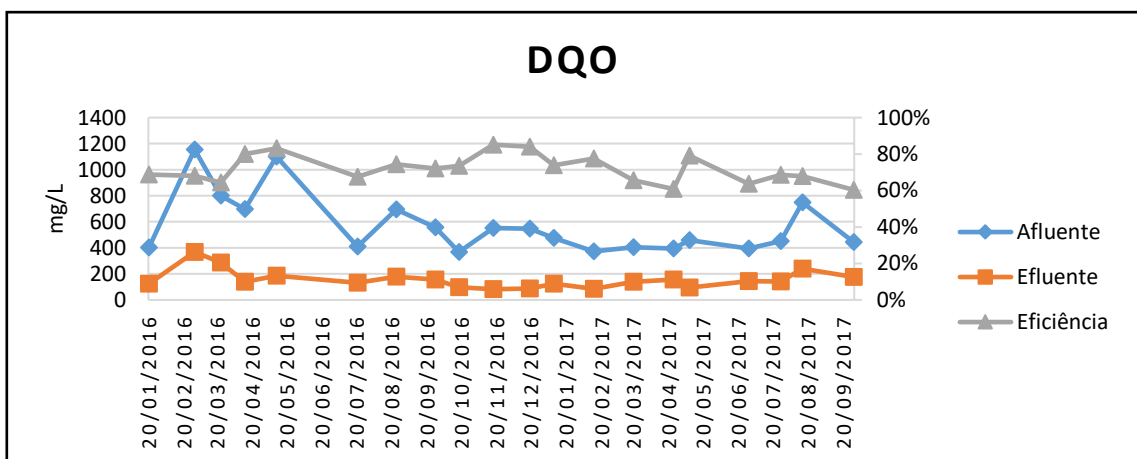


**Gráfico 15** - Eficiência da remoção de matéria orgânica em termos de DBO

Fonte: Autor

A eficiência de remoção da DQO foi de 75,59%. Essa média podemos encontrar na literatura. A estação de tratamento de esgoto por processo combinado monitorada apresentou boa eficiência na remoção de matéria orgânica (JORDÃO & PESSOA, 2009).

A concentração média de DQO foi de 621,26 mg/L encontrada no esgoto bruto esse valor é típico de esgoto médio a forte, que apresenta faixa entre 1100 a 800 mg/L. Em termos de DQO/DBO, apresentou valor de 1,30 vezes o valor de DBO, indicando que o esgoto é tratado adequadamente. O gráfico 16 apresenta o perfil temporal e a eficiência atingida durante o período monitorado.

**Gráfico 16** - Eficiência da remoção de matéria orgânica em termos de DQO

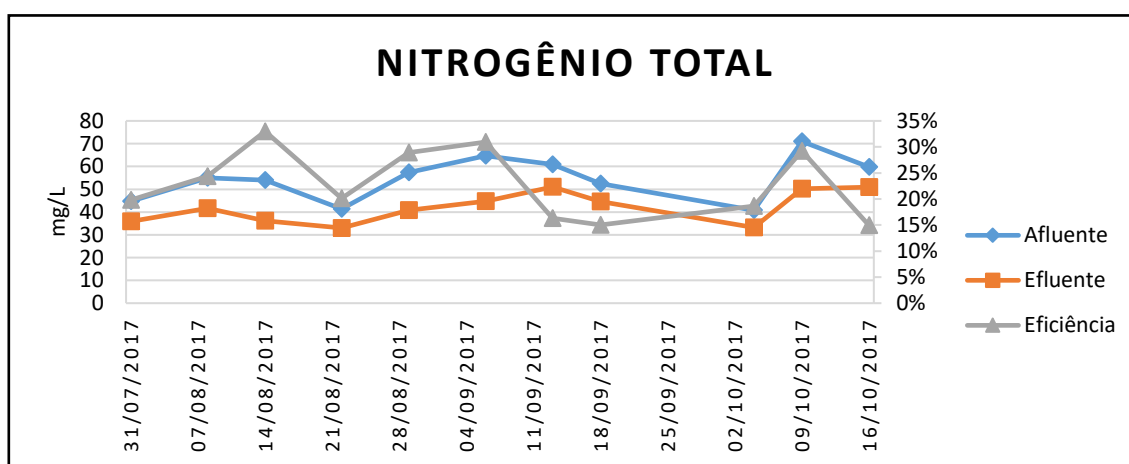
Fonte: Autor

## Nutrientes

O tratamento combinado anaeróbio/aeróbio, atingiu uma remoção para o nitrogênio total uma eficiência média de 23,00%. A baixa remoção atingida no processo combinado, provavelmente não está nitrificando corretamente, ocasionando a baixa remoção de nitrogênio, provavelmente há falta de OD suficiente para proporcionar a nitrificação corretamente.

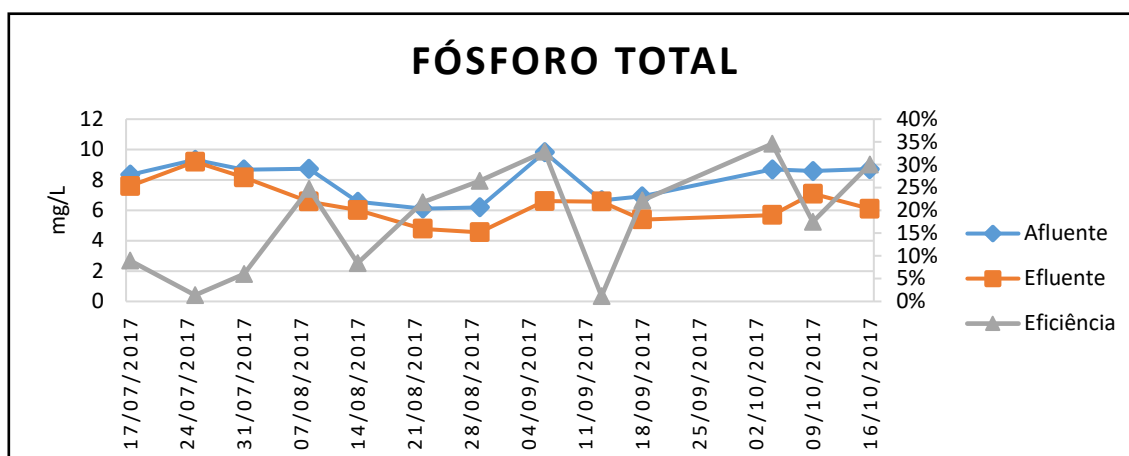
No Gráfico 17 está representado o perfil temporal e eficiência da remoção do nitrogênio total da ETE C, monitorada durante 90 dias.

**Gráfico 17** - Remoção e eficiência do nitrogênio total presente no afluente e efluente



**Fonte:** Autor

O fósforo total apresentou concentração média de 7,81 mg/L para o afluente e 6,62 mg/L para o efluente com apenas 15,16% eficiência. Segundo Jordão e Pessoa (2009), o fósforo total encontrado no esgoto bruto varia de 10 a 20 mg/L, sendo 10 mg/L um esgoto médio e 20 mg/L um esgoto forte. No Gráfico 18, o perfil temporal da concentração de fósforo total monitorado.

**Gráfico 18** - Perfil temporal e eficiência da remoção de fósforo total pela ETE C

Fonte: Autor

### Coliformes totais e fecais (Termotolerantes)

Para os coliformes totais e fecais a desinfecção aplicada na eliminação de patogênicos apresentou resultados satisfatórios pois a eficiência foi de 99,25% e 99,99%. Na estação B, a desinfecção utilizada foi cloro líquido, o resultado constatou que a utilização de cloro proporciona uma ótima eficiência quando se opera a camara de desinfecção corretamente.

### Considerações finais sobre as características do efluente bruto e tratado na ETE C

A eficiência apresentada para os parâmetros físicos do processo misto foi baixa indicando que a estação apresenta falha na remoção de cor, turbidez e sólidos sedimentáveis. Esses parâmetros interferem diretamente na qualidade do efluente, pois a cor e turbidez indicam a presença de sólidos em suspensão remanescente no esgoto tratado.

As características do esgoto bruto e tratado é de esgoto doméstico médio. A relação DQO/DBO comprovou que no esgoto bruto a maior fração é biodegradável e está sendo tratado pelo processo adequado no caso tratamento biológico.

Concluindo a estação apresentou baixa eficiência na nitrificação, o processo misto apresentou falha, devido provavelmente a concentração baixa de OD no tanque de aeração comprometendo as atividades microbiológicas.

Para o fósforo total a concentração foi baixa, provavelmente o esgoto bruto não recebe altas contribuições de detergentes e produtos que contem fósforo na sua composição, porém essa concentração está dentro da faixa esperada para esgoto tratado.

#### 5.1.4. Comparação das ETEs estudadas

Na tabela 13 está representada as concentrações de saída do esgoto tratado pelo processo anaeróbio, aeróbio e misto, como também a eficiência atingida para cor, turbidez, remoção de matéria orgânica em termos de DBO e DQO, e na remoção de nutrientes e patogênicos.

**Tabela 13** - Valores comparativos da eficiência atingida por processos biológicos diferentes

Parâmetro	Anaeróbio		Aeróbio		Misto	
	Esgoto Tratado					
	Valor Médio	Eficiência	Valor Médio	Eficiência	Valor Médio	Eficiência
Cor (uC)	45,58	24,13%	67,37	23,51%	60,38	0,02%
Turbidez (UNT)	235,27	22,67%	242,65	13,39%	265,33	10,66%
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	0,51	68,92%	0,43	23,21%	0,76	35,59%
DQO (mg/L)	153,02	72,34%	138,04	66,72%	151,62	75,59%
DBO (mg/L)	131,85	71,54%	128,43	67,37%	107,09	77,57%
Nitrogênio total (mg/L)	39,47	19,90%	45,95	11,17%	42,00	23,00%
Fósforo total (mg/L) (c)	5,68	16,42%	6,38	4,37%	6,62	15,16%
Coliformes fecais (NMP/100mL)	1,25x10 <sup>6</sup>	72,05%	8,56x10 <sup>3</sup>	98,00%	2,86x10 <sup>2</sup>	99,99%
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,84x10 <sup>6</sup>	78,76%	1,23x10 <sup>4</sup>	98,19%	6,66x10 <sup>4</sup>	99,25%

Fonte: Autor

Em termos de parâmetros físicos, como a cor, turbidez e sólidos sedimentáveis, a eficiência foi baixa. A mais relevante foi apresentada pelo processo anaeróbio que ficou em média 68,92% para sólidos sedimentáveis. O processo misto não obteve remoção alguma no parâmetro cor apresentando-se insuficiente para todos parâmetros físicos da Tabela 13.

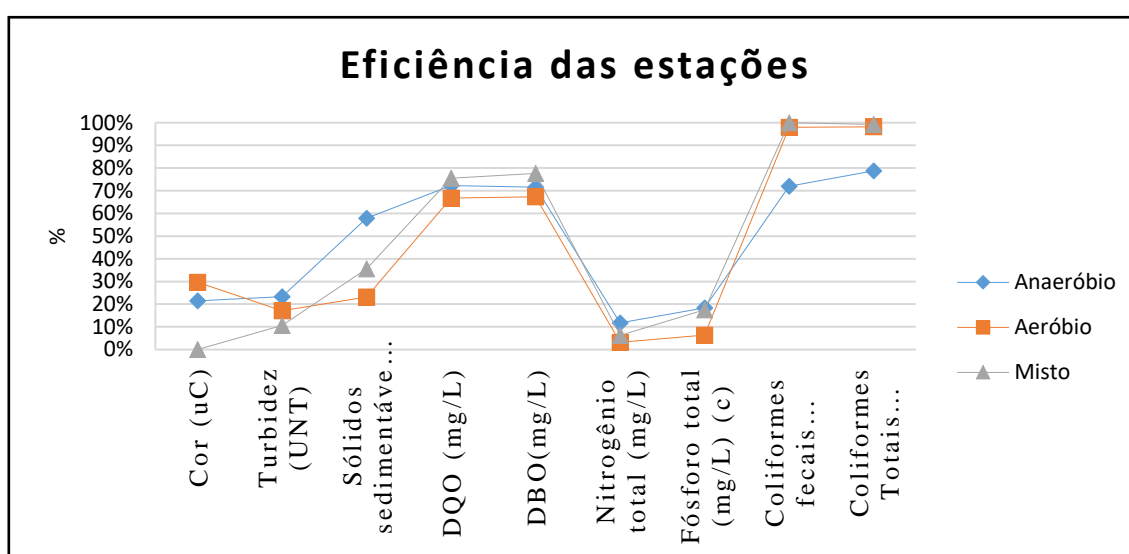
No Gráfico 19, mostra a eficiência atingida em cada processo biológico, para a conversão de matéria orgânica, o processo misto apresentou melhor desempenho para esses parâmetros em termos de DBO com 75,59% e DQO com 77,57%. Essa eficiência é considerada boa, para o processo anaeróbio também está de dentro da faixa esperada para DBO e DQO 72,34% e 71,54%. No entanto o lodo ativado convencional apresentou baixa eficiência, geralmente esse processo está em torno de 75% a 95% (METCALF e EDDY, 2016; JORDÃO e PESSOA, 2009).

A remoção de nutrientes, nitrogênio e fósforo total foi insuficiente nos três processos, não ultrapassando 30% de remoção, vale ressaltar que o processo aeróbio a remoção de

nitrogênio foi de 3,19%, insuficiente, esse processo deveria apresentar uma boa remoção de nitrogênio devido a nitrificação.

As estações B e C apresentaram boa eficiência na desinfecção. O processo misto usou cloro e obteve 99,99% de remoção de patogênicos, o processo aeróbio apresentou 98,19% de remoção de patogênicos, o processo anaeróbio com radiação UV obteve 78,76% de remoção de patogênicos não tão eficiente quanto o misto usando o cloro na desinfecção, essa remoção é considerada baixa.

**Gráfico 19** - Valores comparativos de eficiência das estações estudadas



**Fonte:** Autor

Analisando o desempenho e a eficiência das estações em estudo, por processos anaeróbio, aeróbio e misto, como representado no Gráfico 19, de um modo geral, não há diferença significativa do processo anaeróbio em comparação com o processo aeróbio e misto.

A estação B e C estão desperdiçando energia elétrica para operar os aeradores, elevando o custo operacional, porém os resultados são insatisfatórios em comparação com o processo anaeróbio, que atingiu teoricamente a mesma eficiência de ambos sem a necessidade de aeração.

Os efluentes tratados nas três ETEs, no que diz respeito a DQO, não atendem as legislações de alguns estados brasileiros inclusive Alagoas, por exemplo, no Rio de Janeiro esse limite é 30 mg/L, já para os estados de Minas Gerais, Paraná, São Paulo a concentração limite é de 60 mg/L (JORDÃO & PESSOA, 2009). A CONAMA N° 430/11 estabelece valor

de DBO para lançamento de esgoto tratado por sistemas de tratamento de esgoto no máximo 120 mg/L, as concentrações encontradas para a DBO do esgoto tratado pelas estações A e B não se enquadram no limite máximo estabelecido, apenas a DBO da ETE C atendeu ao valor máximo adotado por Alagoas.

## **5.2. Potencial de reúso das estações compactas de tratamento de esgoto**

Na Tabela 14, estão compiladas referências que correlaciona os parâmetros máximos admissíveis para a prática de reúso de água, e que norteou discussões acerca dos resultados apresentados para o esgoto tratado das ETES A, B e C.



Parâmetros	ETE A	ETE B	ETE C	U.S. EPA 2004	Austrália	Texas (EPA, 2004)	Arábia Saudita	Alemanha	Japão	Espanha	Reino Unido	NBR 13969	FIESP (classe 1)	Parque Temático - SP	ETE- ABC
Coliformes fecais (NMP/100mL)	1,68 x10 <sup>6</sup>	1,27x10 <sup>4</sup>	<b>2,86x10<sup>2</sup></b>	< 1 – 10 <sup>3</sup>	<1	75	-	100	10	-	100	< 200	-	*	*

\*Ausentes; **A- Anaeróbio; B – Aeróbio; C- Misto.**

Fonte: Adaptado de U.S.EPA 2004; NBR 13969; Manual FIESP, 2005; Grull, Mancuso e Eiger (2003), Santos (2003 p.501).



### 5.2.1. ETE compacta com processo anaeróbio

As concentrações encontradas no efluente estão acima das diretrizes recomendadas pelos países referenciados na Tabela 14. Essas concentrações, conseqüentemente, não atendem as exigências dos valores máximos estabelecidos para as classes de reúso.

Pela NBR 13969, a turbidez está acima do limite permitido, para a classe 1, 2 e 3 de reúso. A norma não estabelece valor limite para cor. Os valores apresentados para cor e turbidez estão muito acima do estabelecido no manual da FIESP. Para os valores adotados no Parque Temático – SP e ETE – ABC, o parâmetro cor e turbidez não atingiram o limite máximo adotado por ambos, como também não atingiram os valores da U.S. EPA (2004).

O parâmetro DBO e DQO, de acordo com Crook; Okun; Pincice (1994) - Estados Unidos; Jordão e Pessoa (2005) – Brasil, apud SOUSA (2008), para fins de comparação a DBO e DQO do esgoto tratado apresenta faixa de concentração fraca. De acordo com o manual da FIESP, o valor da DBO não atende o valor máximo estabelecido nas classes 1, 2 e 3, para a DQO a concentração para esse parâmetro está acima do estabelecido para classe 4. A NBR 13969 não apresentou valores para esses parâmetros. Para o valor adotado no Parque Temático – SP, esse valor está acima do permitido.

O NTK e N-amoniaco apresentaram concentrações semelhantes do esgoto bruto para o tratado, são resultados esperados, pois tratamento anaeróbio é esperado que não haja remoção de nutrientes (FORESTI, ZAIAT e VALLERO, 2006). Para o NTK não atende a classe 3 do manual de reutilização em edificações. O valor máximo apresentado no manual da FIESP para N-Amônia apresentou valor acima do estabelecido.

O parâmetro fósforo total apresentou concentrações dentro dos valores máximos estabelecidos na U.S.EPA (2004), da Tabela 14, que estabelece limite de 0,1 – 20 mg/L para reúso urbano e irrigação.

Os sólidos sedimentáveis apresentaram concentração de 0,51 ml/L. Esse resultado está fora do estabelecido para prática de reúso, que é ausência total de sólidos sedimentáveis no efluente, visto que interfere diretamente na desinfecção, outro ponto é que interfere nas análises de DBO e DQO, mascarando os resultados.

Diante dos resultados obtidos após as análises na ETE A, faz-se necessário a otimização da mesma, adotando possíveis pós-tratamentos adequados para melhorar a qualidade do efluente, para aplicação no reúso direto não potável para fins urbanos.

Para Miki (2010), é necessário a utilização de pós-tratamento, pois para a nitrificação a presença de oxigênio é fundamental, e esse tipo de tratamento há ausência por completa de OD, e para a desnitrificação também não apresenta eficiência alguma, pois esse processo requer um meio anóxico. Uma fonte de carbono, e a matéria orgânica carbonácea é toda biodegradável no reator anaeróbio, necessitando de uma fonte externa como o álcool, metanol, acetona e/ou ácido acético.

Por fim esse reator se mostrou eficiente na remoção de matéria orgânica, redução de custo com operação do processo, e desvantagens na remoção de nutrientes e patogênicos, necessitando de pós tratamento quando se almeja o reúso direto para fins não potáveis no meio urbano. Os parâmetros que estão aptos para reúso direto não potável no meio urbano são pH e fósforo total, os parâmetros DQO, BBO, NTK, N-amoniaco, sólidos sedimentáveis, cor, turbidez e coliformes fecais não atendem a nenhuma modalidade de reúso direto não potável para fins urbanos, por estarem acima das concentrações estabelecidas na tabela 14.

### **5.2.2. ETE compacta por lodo ativado convencional**

O parâmetro cor e turbidez não apresentaram valores satisfatórios para reúso direto não potável para fins urbanos, para o manual de reutilização em edificações da FIESP, NBR 13969/97 no item 5.6 que trata de reúso local, e apresenta as classes de reúso, como também para o Parque Temático – SP e ETE – ABC, Grull, Mancuso e Eiger (2003), Santos (2003 p.501), esses valores médios apresentados na Tabela 14 referente ao efluente, para cor e turbidez são insatisfatórios.

Os valores máximos estabelecidos pelos países praticantes de reúso de água são bastante restritivos como podemos observar na Tabela 14. O máximo permitido para cor é 15 uC, e para a turbidez 10 UNT, necessitando de um pós-tratamento que melhore a qualidade do efluente, ou seja, a estação não atende as exigências para a prática de reúso no meio urbano.

O parâmetro DQO e DBO apresentaram concentrações elevadas no efluente ficando acima da máxima permitida praticada pelos países que fazem reúso de água apresentados na Tabela 14. O parâmetro DBO está acima do valor máximo permitido, que é 45 mg/L. Para DQO o valor da concentração foi de 138,04 mg/L, quando a recomendação é para atingir o máximo 90 mg/L.

Ambos apresentaram resultados insatisfatório para reúso, tomando os valores do manual da FIESP, e os compilados na Tabela 14.

O parâmetro NTK, não atende a concentração máxima estabelecida pela U.S.EPA (2004) para o reúso direto não potável no meio urbano. O valor médio encontrado está acima do estabelecido. O N-Amoniacal não atende as exigências do manual da FIESP, o valor encontrado está acima do permitido para o reúso.

Os parâmetros nitrito e nitrato apresentaram resultados satisfatórios tomando os valores do manual da FIESP, estão dentro do valor máximo estipulado para a classe 1, apresentada na Tabela 14, como também vários outros países praticantes de reúso de água, como exemplo Arábia Saudita que estabelece o máximo de 10 mg/L para o nitrato, podendo fazer reúso sem danos aos usuários e meio ambiente.

O parâmetro fósforo total apresentou concentrações dentro dos valores máximos estabelecidos na Tabela 14, que estabelece limite de 0,1 – 20 mg/L dependendo do uso pretendido.

Os sólidos sedimentáveis apresentaram concentração de 0,43 ml/L, esse resultado está fora do estabelecido para prática de reúso direto não potável para fins urbanos, que é ausência total de sólidos sedimentáveis no efluente, visto que interfere diretamente na desinfecção, outro ponto é que interfere nas análises de DBO e DQO, mascarando os resultados.

Coliformes fecais (termotolerantes) é parâmetro importante para o controle de doenças de veiculação hídrica, portanto devem ser restritos ao máximo. As concentrações encontradas não atende a nenhuma modalidade de reúso no meio urbano, tomando-se como referência os valores estabelecidos na tabela 14.

Por fim esse reator se apresentou ineficiente na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patogênicos, necessitando de pós tratamento quando se almeja o reúso para fins não potáveis no meio urbano. Os parâmetros que estão aptos para reúso direto não potável no meio urbano são pH, nitrito, nitrato e fósforo total, os parâmetros DQO, BBO, NTK, N-amoniacoal, sólidos sedimentáveis, cor, turbidez e coliformes fecais não atendem a nenhuma modalidade de reúso direto não potável para fins urbanos, por estarem acima das concentrações estabelecidas na tabela 14.

### **5.2.3. ETE compacta por processo misto (anaeróbio/aeróbio)**

De acordo com o manual de reutilização em edificações (FIESP, SINDUSCOM, 2005), Grull, Mancuso e Eiger (2003), Santos (2003) e a NBR 13969/97, os parâmetros cor e turbidez estão acima do valor máximo estabelecido para o reúso de classe 1 e 3 do manual de

reutilização em edificações, como também não atende as classes 1, 2, 3 e 4 da NBR 13969/97 e os valores adotados pelo Parque temático e a ETE -ABC.

A turbidez do efluente apresentou valor médio de 265,33 UNT, esse valor é discrepante comparado com os valores praticados e recomendados pela U.S. EPA (2004), e os países da Tabela 14, onde a prática do reúso de água já é recorrente.

Para DQO e DBO, os valores efluentes são insatisfatórios para reúso nas classes 1, 2, 3 e 4 do manual de reutilização em edificações. Essas concentrações de DBO e DQO estão muito acima das recomendadas e praticadas por vários países onde a prática do reúso de água apresentados na Tabela 14, que admite concentrações até 90 mg/L para DQO e 45 mg/L para DBO.

A série nitrogenada apresentou pequenas variações, com relação a redução do nitrogênio total, apresentou resultado insatisfatório para reúso, tomando os valores do manual da FIESP. Os parâmetros nitrito e nitrato apresentaram resultados satisfatórios, segundo mesmo manual, e ambos estão dentro do valor máximo permitido para reúso na classe 1, que contempla descargas em bacias sanitárias, lavagens de pisos, fins ornamentais, lavagens de roupas e lavagens de veículos.

O parâmetro fósforo total apresentou concentrações dentro dos valores máximos estabelecidos na Tabela 14, que estabelece limite de 0,1 – 20 mg/L para o reúso não potável no meio urbano e na irrigação.

Os sólidos sedimentáveis apresentaram concentração de 0,76 ml/L, esse resultado está fora do estabelecido para prática de reúso, que é ausência total de sólidos sedimentáveis no efluente, visto que interfere diretamente na desinfecção.

O parâmetro coliforme fecal apresentou valor de remoção significativo, para o sistema combinado anaeróbio-aeróbio. A redução dessas bactérias que se apresenta como indicador de contaminação, dar-se, nessa estação, pela eficiência da desinfecção na aplicação do cloro no efluente. De acordo com a NBR 13969/97, esse parâmetro atende ao valor máximo estabelecido de 5000 NMP/100mL, para o reúso de classe 4.

Com os resultados das análises dos parâmetros que foram encontrados na estação C, e que opera com sistema combinado anaeróbio-aeróbio, faz-se necessário a melhoria da qualidade do efluente obtido. É recomendado que para a estação compacta de tratamento de esgoto seja otimizada com um pós-tratamento visando a prática de reúso de água, objetivo geral dessa pesquisa, pois a mesma com a configuração presente não apresentou eficiência no tratamento de esgoto bruto do condômino e conseqüentemente não atingiu o resultado

esperado para alguns dos parâmetros analisados , apenas para o pH, nitrito, nitrato, fósforo total e coliformes fecais.

Os parâmetros que estão aptos para reúso direto não potável no meio urbano são pH, nitrito, nitrato, fósforo total e coliformes fecais. Os parâmetros DBO, DQO, NTK, N-amoniaco, cor verdadeira, turbidez, não atendem a nenhuma modalidade de reúso direto não potável para fins urbanos.

### **5.3. Sugestões de Pós tratamento para melhoria da qualidade do esgoto tratado nas ETEs**

O levantamento realizado no entorno dos condomínios estudados mostrou que, nos três, apresentam demanda potencial para água de reúso, visto que dispõem de áreas com jardins, gramados, calçadas, praças e descarga dos vasos sanitários do próprio condomínio, como também o esgoto tratado pode ser usado para uso em estabelecimentos próximos aos condomínios, que utilizam água potável e podem ser substituídas por água de reúso, lava-jato, escolas, hospitais e empresa de coleta de lixo.

Para esses usos, existe uma enorme quantidade de tecnologias que podem ser adotadas como pós-tratamento de efluentes de ETEs que visem o reúso de seus efluentes, envolvendo tecnologias avançadas de elevados custos de implantação e operação assim como também de baixo custo. Para pequenas ETEs descentralizadas, geralmente operadas pela própria comunidade, as de baixo custo de implantação e operação devem ser priorizadas.

Segundo Metcalf e Eddy (2016), a filtração direta utilizando material granular ou não compressível pode ser aplicado ao efluente das estações analisadas, mais precisamente para a que usam processo aeróbio e combinado (anaeróbio/aeróbio), que se bem operadas podem remover n-amoniaco e produzir um efluente nitrificado, pois essa tecnologia utilizada há vários anos em processo de tratamento de esgoto doméstico, para alcançar baixas concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo), remoção complementar de sólidos em suspensão, incluindo DBO, reduzindo as cargas de sólidos lançadas, e também quando se pretende utilizar sistema de radiação UV como desinfecção. A utilização de filtros como alternativa de polimento do efluente das estações analisadas pode ser bastante eficiente pois as estações apresentaram ineficiência na remoção de cor, turbidez, nitrogênio, fósforo e sólidos sedimentáveis.

Uma segunda alternativa para as estações que operam com processo anaeróbio e aeróbio e que foram ineficientes na remoção de nutrientes, patogênicos, cor, turbidez e sólidos

sedimentáveis, é necessário utilizar pós-tratamento para melhoria da qualidade do esgoto tratado, e o sistema de *Wetland*, apresenta-se como um ótimo pós-tratamento, como também sua implantação em termos de custo é baixa, e a estação A e B dispõe de área suficiente para receber esse polimento.

O *Wetland* construído é um sistema artificialmente projetado, composto por substrato como areia, cascalho, pedregulho, brita ou material inerte, e plantas que desenvolvem uma variedade de microrganismos que por meio de processo biológico e físico-químico, tratam os efluentes. Estudos comprovam sua eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patogênicos (SOUSA, et al. 2004).

Segundo Reinaldo et al. (2012), o *Wetland* funciona com a seguinte configuração, em um tanque de alvenaria impermeabilizado, faz-se um meio filtrante com material poroso, muita das vezes brita, cascalho, tampas de garrafas entre outros meios filtrantes, é plantado geralmente macrófitas, são plantas que possui uma alta remoção de nutrientes, e o esgoto é canalizado subsuperficial para não gerar odores desagradáveis, esse sistema apresentou remoção de 52%, 60% e 96% para fósforo total, nitrato e DQO, sendo uma opção de pós-tratamento a ser aplicado no efluente da estação A e B, poderia também ser aplicado a ETE C porém não disponibiliza área suficiente.

A decisão por utilizar a filtração direta e *Wetland*, como alternativas para melhoria da qualidade do efluente das três estações, é o que está mais acessível em termos financeiros e de área disponível nas estações, pois esses pós tratamento são de baixo custo, mas apresentam boa eficiência, são viáveis para as condições de cada condomínio, pois outros pós-tratamento com tecnologia mais sofisticados necessitam de alto investimento e disponibilidade de área, como também a manutenção é alta e os condomínios não dispõe de recursos para instalar e operar sistemas com tecnologia avançada. Resultados de pesquisas apontam que esses sistemas combinados com tratamento secundário e desinfecção conseguem atingir resultados significativos para o reúso de esgoto tratado.

#### **5.4. Proposta de diretrizes para reúso direto não potável para fins urbanos em Maceió**

Essa pesquisa constatou que, no Brasil, leis, diretrizes, normas e manuais para regularização da prática de reúso de água se espelham nos padrões internacionais de países como Estados Unidos, Austrália, Israel, Japão, Alemanha, África do Sul entre outros. Ainda é novo os projetos, como também a iniciativa de se aplicar esgoto tratado para substituir a água potável em alguns fins que não necessariamente utilize água potável.

São apresentados aqui sugestões de diretrizes baseadas em leis e diretrizes internacionais já consolidadas por vários países, no intuito de fomentar a criação de padrões, projetos, normas e diretrizes sólidas e confiáveis para a prática de reúso de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados em Maceió.

A prática do reúso aqui será uma ótima alternativa, porém deve ser tomada uma medida cautelar embasada e analisada cuidadosamente, pois essa prática oferece riscos à saúde pública. Os efluentes produzidos pelas estações e que serão reutilizados devem passar por processo de pós tratamento para eliminar patogênicos e nutrientes remanescentes. Medidas responsáveis devem ser adotadas na elaboração de projetos de reúso seja de pequeno, médio e grande porte para a cidade de Maceió.

Essa problemática é complexa e recente no Brasil, necessitando de pesquisas e políticas públicas voltadas ao aprimoramento, criação e institucionalização de programas de reúso em todo país, com incentivos públicos destinados a essa prática nova no Brasil e em Maceió, visto que já é recorrente em vários países.

Os primeiros avanços e discussões sobre o reúso aconteceu a poucos anos, como também a criação da primeira resolução que trata e dá suporte a essa prática, foi criada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, a resolução de nº 54 de 2005, nela consta as modalidades para o reúso de esgoto tratado e os fins pretendidos.

As sugestões de diretrizes apresentadas nesta pesquisa sobre o reúso de efluente tratado por estações compactas de tratamento de esgoto, necessitam de estudos e pesquisas mais aprofundadas sobre esse tema. Na literatura são reduzidos os trabalhos com essa finalidade aplicando esgoto tratado para reúso direto não potáveis para fins urbanos, pois a prática de reúso é uma alternativa nova no Brasil e praticamente ausente em Maceió, os projetos direcionados a reutilização devem levar em consideração alguns requisitos mínimos, usos pretendidos (lavagem de piso e ruas, lavagens de veículos, fins ornamentais, rega de jardins e gramados, construção civil, descarga de vasos sanitários e reserva de incêndios), o tipo de tratamento utilizado, a localização da ETE, aspectos socioeconômico e culturais, visto que essa prática apresenta riscos e pode desencadear doenças de veiculação hídrica e contaminação dos usuários como também contaminação do ambiente.

A seguir está apresentado sugestões de valores máximos de parâmetros para a prática de reúso no município de Maceió. Todos os valores apresentados na Tabela 15, são embasados e adotados por vários países onde a prática do reúso já é recorrente, são referências adotadas por vários países praticantes de reúso e que alguns estados do Brasil se

basearam para elaboração de manuais e projetos de reúso conforme as Tabelas 3, 4, 6, 7, 8 e 9.

**Tabela 15** - Sugestões de valores máximos de parâmetros adotados para o reúso direto não potável para fins urbanos em Maceió

Parâmetros	Limite Máximo	Sugestão de tratamento
pH	6,0 - 9,0	
Cor (uC)	10 – 30	
Turbidez (UNT)	0,1 - 10	
Coliformes fecais (NMP/100mL)	1,0 - 500	
Coliformes Totais (NMP/100mL)	<1000	
DBO (mg/L) (b)	≤ 10 - 30	
DQO (mg/L)	< 60	
Nitrato (mg/L)	< 10	Secundário + Pós- Tratamento + Desinfecção
N-Amoniacal (mg/L)	≤ 20	
Nitrito (mg/L)	≤ 1	
Nitrogênio total (mg/L)	< 1 - 30	
Fósforo total (mg/L) (c)	< 2,0	
Sólido suspenso total SST (mg/L)	10	
Sólido dissolvido total SDT (mg/L)	< 200	
Sólidos sedimentáveis	Ausentes	
Cloro residual (mg Cl <sub>2</sub> /L)	0,5 - 1,5	
Oxigênio dissolvido (mg/L)	>2,0	

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Com base na literatura consultada sobre a prática de reúso de água, é apresentado abaixo no Quadro 10, sugestões de um conjunto de diretrizes que devem fazer parte de um projeto de reúso de água em condomínios, utilizando ETE descentralizada, com a finalidade de aproveitamento do efluente tratado e redução de consumo de água potável.

**Quadro 10** – Propostas para água de reúso tratadas em ETEs de condomínios

Determinar a aplicação da água de reúso somente para fins não potáveis	Descargas de vasos sanitários;
	Rega de jardins e parques;
	Lavagem de rua e calçadas;
	Usos ornamentais;
	Reserva de incêndios;
	Lavagens de veículos;
	Construção civil.
Levantamento socioeconômico do público-alvo do empreendimento	Verificar o grau de instrução e conhecimento sobre a prática de conservação e reúso de água;
	Verificar a aceitação e interesse do público e do empreendedor.



Estudo dos tipos de tratamentos mais adequados conforme aplicação desejada	Tratamento compatível com a qualidade dos efluentes brutos e com os requisitos de qualidade para os usos previstos;
	Verificar os requisitos de qualidade da água de reúso, considerando padrões de lançamento no meio ambiente, requisitos de saúde pública e requisitos de usos específicos.
	Sequência de tratamento mínimo necessário para a implementação da prática de reúso: Tratamento primário -> Tratamento secundário-> Pós-Tratamento (terciário/avançado) -> Desinfecção
Verificação das características necessárias para os sistemas de reservação e redes de distribuição de água potável e água de reúso	Reservatórios para água de reúso (central e individual para cada residência);
	Redes duplas de distribuição de água (potável e de reúso). Implantar a rede de água potável acima de rede de água de reúso;
	Redes duplas de coleta de esgoto, em caso de reúso de águas cinzas somente;
	Sinalização adequada dos reservatórios, redes de distribuição e torneiras com saída para a água de reúso;
	Adoção de tubulações de cores diferentes para a rede de água potável e a rede de água de reúso.
Restrições de acesso ao sistema de reúso	Controle de acesso aos locais da estação de tratamento e reservatórios de água de reúso para evitar sabotagem no sistema.
Adição de corante na água de reúso	A presença de corante minimiza o risco de utilização da água de reúso como água potável, em caso de ligações indevidas.
Elaboração de um plano de monitoramento e ponto crítico de controle para o projeto	Para cada ponto crítico de controle, devem ser levantados: medidas preventivas; os limites críticos e limites de segurança; o monitoramento; as ações corretivas; os registros e as formas de verificação da implantação.
	Para garantir a qualidade no monitoramento, a seleção dos parâmetros a serem monitorados deve ser apropriada;
	As amostras e análises devem ser apropriadas e realizadas de forma correta para maior confiabilidade nos resultados.
	Algumas condições de alarme de monitoramento que podem ser empregadas: alta turbidez no efluente, baixo residual de cloro, falha de bombas e equipamentos e falta de energia.
Operação do sistema	Os administradores devem escolher os futuros operadores e responsáveis pelo monitoramento do sistema;
	Os responsáveis pelo projeto do sistema de tratamento para posterior reúso de água devem fornecer um manual contendo as especificações técnicas de operação e monitoramento do sistema, assim como fornecer treinamentos para os operadores e administradores.
Orientações e informações aos	Elaborar cartilha para orientação dos usuários;

usuários	Realizar palestras informativas e eventos de esclarecimento com a presença de testemunhos e apresentação de casos de sucesso;
	Implantar placas informativas e alertas sobre a prática do reúso de água local;
	Firmar um acordo de cooperação e convivência entre os administradores do condomínio e os usuários onde são estabelecidas as obrigações de ambas as partes na boa utilização do sistema de reúso;
	Implantar canal efetivo de comunicação entre os usuários e o administrador;
	Realizar pesquisas de satisfação dos usuários.

**Fonte:** Adaptado de SOUSA 2008.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do ponto de vista operacional, a ETE A, por processo anaeróbio foi a que apresentou melhor resultado devido a sua simplicidade operacional gerando efluente tratado com a qualidade esperada para a tecnologia empregada. A ETE B com tecnologia aeróbia foi a que apresentou pior resultado, o efluente produzido foi o de maior carga orgânica e de nutrientes. A ETE C, que combina os processos anaeróbio seguido de aeróbio apresentou desempenho semelhante a da ETE A (anaeróbia). Esses resultados mostram que embora a tecnologia aeróbia tenha maior potencial de remoção de matéria orgânica e remoção de nutrientes ela necessita de maior controle operacional, o que não acontece, levando a um menor desempenho.

Os resultados encontrados com as análises e monitoramento das três estações utilizando processo, anaeróbio, aeróbio e combinado, constatou-se que é possível a aplicação do efluente para o reúso direto não potável para fins urbanos. Porém é necessário para a prática de reúso de esgoto tratado pelas estações monitoradas, implantação de pós-tratamento na três ETEs e muitas precauções, visto que o reúso irresponsável pode causar riscos à saúde dos usuários e prejuízos ao meio ambiente, tornando se caso de saúde pública, pois nos esgotos tratado há nutrientes e patogênicos remanescentes que através do contato podem transmitir doenças, necessitando o enquadramento do esgoto tratado no padrão apropriado para o reúso.

Foi realizado um levantamento do entorno dos condomínios e constatou-se que os três condomínios possuem potencial para reúso visto que dispõem de áreas com jardins, gramados, passeio, praças e descarga dos vasos sanitários do próprio condomínio, como também o esgoto tratado pode ser usado para uso em estabelecimentos próximos aos condomínios, que utilizam água potável e podem ser substituídas por água de reúso, lava-jato, escolas, hospitais e empresa de coleta de lixo.

A alternativa de reúso de água como uma nova fonte destinada a usos menos nobre é sem dúvida uma forma de reduzir os impactos na captação de água nos poços artesianos dos condomínios monitorados e da companhia de saneamento - CASAL, sendo uma ótima alternativa pois reduz consideravelmente o lançamento de esgoto nos corpos d'água, e elimina uma parcela de contaminação, como também proporciona melhores condições e qualidade de vida aos usuários, na cidade de Maceió, que hoje possui aproximadamente 38% da cidade com saneamento.

Como recomendações para novos trabalhos:

Estudo da viabilidade econômica para implantação de projeto de reúso utilizando sistemas descentralizados em condomínios na cidade de Maceió.

Avaliação de novas combinações de tratamento de esgoto por processo secundário e pós-tratamento aplicado ao reúso urbano.

Aprimoramento da legislação brasileira com foco na possibilidade de novas alternativas de fontes de água, para amenizar a escassez de água no nordeste.

## REFERÊNCIAS DE LITERATURA

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969 - **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

Agência nacional de águas; Federação das indústrias do estado de São Paulo; Sindicato da indústria da construção - **FIESP**. Conservação e reúso da água em edificações. São Paulo, 2005. 151 p.

ARNELL NW. 1999. **Climate change and global water resources.** Glob. Environ. Change 9:S31–49.

Atlas de saneamento 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Geociências. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Av. Franklin Roosevelt, 166 - Centro - 20021-120 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil. ISBN 978-85-240-4202-7 (meio impresso).

ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse. Pennsylvania:** Technomic Publishing CO.Inc. 1998. 1528 p. (Water Quality Management Library, v.10).

ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. **Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples.** Water Science and Technology, Great Britain, v.34, n.11, pg. 219-226, 1996.

BARNET TP, Adam JC, Lettenmaier DP. 2005. **Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions.** Nature 438:303–9.

BATES BC, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof JP, eds. 2008. **Climate change and water.** Tech. Pap. Intergov. Panel Clim. Change. IPCC Secr., Geneva. 210 pp.

BRASIL. PROJETO DE LEI DO SENADO Nº 58, DE 2016. Disponível em >  
<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwje5ty6s8jYAhUEGZAKHVWvDSkQFggpMAE&url=https%3A%2F%2Flegis.senado.leg.br%2Fsdleg-getter%2Fdocumento%3Fdm%3D3950606&usg=AOvVaw2GoC4y70oF1NBpoytCxgOw>>  
 Acesso em 08 de 01 de 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução Nº54 de 28 de novembro de 2005.** Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 09/03/2006. Disponível em: <http://www.cnrhsrh.gov.br/>. Acesso em: 21 de mar. de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 09/03/2006.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe Sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, no Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA.

CHAN, Yi Jing et al. **A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater.** Chemical Engineering Journal, v. 155, n. 1, p. 1-18, 2009.

CORTÉS et al. El Reuso Del Agua Mexico. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Acodal 1997. Disponível em: CNA, Subdirección general de construcción. (1997). Acesso em: 05 jan. 2018.

CUBA, Renata da Silva; Carmo, João Rios do; Souza, Claudinei Fonseca; Bastos, Reinaldo Gaspar. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** Rev. Ambient. Água vol. 10 n. 3, p. 574 – 585. Taubaté – Jul. / Sep. 2015.

CURITIBA. Lei Nº 10.785, de 18 de setembro de 2003. Regulamentada pelo Decreto nº 293/2006. Cria do Município de Curitiba, Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE. Curitiba – PR, 2003. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/fbnpe>> Acesso em: 17 jan. 2018.

DANIEL, L. A. Processos de desinfecção e desinfectantes alternativos na produção de água potável. **Projeto PROSAB 2**, São Carlos: ABES, RIMA, 2001.

DELGADO CL, Rosegrant MW, Steinfeld H, Ehui S, Courbois C. 1999. Livestock to 2020. The next food revolution. **Food, Agric. Environ. Discuss. Pap. 28.** Int. Food Policy Res. Inst., Washington, DC. Esgotamento sanitário: qualidade da água e controle da poluição: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 87 p.

DEMIREL, Burak; SCHERER, Paul. The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 7, n. 2, p. 173-190, 2008.

DIELLE, Eduardo Fazza. **Estudo da nova norma brasileira de projeto de estação de tratamento de esgotos – NBR 12.209/2011.** 2014. 78 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. **Conservação e reúso de água em edificações.** São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2014/08/conservacao-e-reuso-de-aguas-2005.pdf> > Acesso em 20 nov. 2017.

FERREIRA, F. D.; Coraiola, M. Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 259-279, abr./jun. 2008. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, PR – Brasil.

FERREIRA, L. S; **Avaliação de desempenho wetlands construídos para o tratamento de efluente de reator UASB: Estudo de caso da ETE Vog Ville.** Universidade federal da

Bahia. Escola politécnica. Mestrado em meio ambiente, águas e saneamento. Salvador BA, 2013.89 f.

FORESTI, Eugenio; ZAIAT, Marcelo & VALLERO, Marcus. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology** (2006) 5:3–19 \_ Springer 2006. DOI 10.1007/s11157-005-4630-9

FORESTI, E. et al. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Capítulo 2, Fundamentos do tratamento anaeróbio. **PROSAB, ABES**. Rio de Janeiro, 1999, 443 p.

GRULL,D.; MANCUSO, P. C. S.; EIGER, S. **Descarga zero e reúso para irrigação em parque temático**. In:MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (Ed.) Reúso de água. São Paulo: Manole; Faculdade de Saúde Pública/USP, 2003. (p.491-499).

HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, p. 75-95.

HESPANHOL, I. **Água e saneamento básico: uma visão realista**. In: **Águas Doces no Brasil**. São Paulo: Ed. Reboúças, 1999. (p.249-303).

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (Ed.) Reúso de água. São Paulo: Manole; Faculdade de Saúde Pública/USP, 2003. (p.37-95).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **O Brasil é um país populoso e com densidades muito heterogêneas**. [200-]. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/274-teen/teen-sobre-o-brasil/1725-caracteristicas-da-populacao.html>> Acesso em: 23 nov. 2017.

JORDAO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6° Ed. Rio de Janeiro, 2011.

KUNDZEWICZ ZW, Mata LJ, Arnell NW, Doll P, Kabat P, et al. 2007. **Freshwater resources and their management**. In **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Working Group II Contribution to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson, pp. 173–210. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press

LEAL, Georla Cristina Souza de Gois; FARIAS, Maria Sallydelandia Sobral de; ARAUJO Aline de Farias. **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. **QUALIT@S Revista Eletrônica**.ISSN 1677-4280 V7.n.1. Ano 2008.

LUCAS, Eduardo Subtil; MIERZWA José Carlos; HESPANHOL Ivanildo; RODRIGUES Raphael. Potencial de reúso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo. **Rev. Ambient. Água**. vol.11 no.4 Taubaté out./dez. 2016.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F(editores). Reúso de Água. Barueri, São Paulo. Manole, 2003.

Mackereth, F.J.H., Heron, J. & Talling, J.F., 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. Dorset, Freshwater Biol. Ass. 121 p.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw -Hill, 2003.

METCALF, L.; EDDY, H. TRATAMENTO de efluentes e recuperação de recursos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MIKI, Marcelo Kenji. Dilema do UASB. **Revista DAE nº 183**, Seção “Práticas operacionais e de Empreendimento”, pp. 25-37, 2010. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/downloads/Revista\\_DAE\\_Edicao\\_183.pdf](http://revistadae.com.br/downloads/Revista_DAE_Edicao_183.pdf)> Acesso em: 27 ago. 2017.

MOLDEN D, ed. 2007. **Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture**. London/Colombo, Sri Lanka: Earthscan/Int. Water Manag. Inst.

MORAES, Danielle Serra de Lima. Jordão, Berenice Quinzani. **Water resources deterioration and its impact on human health**. Departamento de Ciências do Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campus de Corumbá, MS, Brasil. bDepartamento de Biologia Geral, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, Brasil. Rev Saúde Pública 2002;36(3):370-4.

MORUZZI, Rodrigo Braga. Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. **OLAM – Ciência & Tecnologia** – Rio Claro / SP, Brasil – Ano VIII, Vol. 8, N.3, P. 271. Julho – Dezembro / 2008. ISSN 1982-7784 [www.olam.com.br](http://www.olam.com.br)

NOH, S. et al. **Current status of water reuse systems in Korea**. Water Science and Technology, Oxford, v. 50, n. 2, p. 309-314, 2004.

PASSAMANI, Fabiana Reinis Franca. Remoção de coliformes fecais e patógenos em um conjunto UASB-BF tratando esgoto sanitário. **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. DHS - CT - UFES - Vitória - ES - Brasil

PATTERSON, R. A. Wastewater quality relationships with reuse options. **Water Science & Technology**, Oxford, v. 43, n. 10, p.147-154, 2001.

PLANO NACIONAL DE HABITAÇÃO. **Ministério das cidades**, 2009. Disponível em: <[http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/285/Publicacao\\_PlanHab\\_Capa.pdf?sequence=1](http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/285/Publicacao_PlanHab_Capa.pdf?sequence=1)> Acesso em: 23 set. 2017.

REINALDO, Glícia Pinto Barra et al. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambi-Agua**. Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.

ROSEGRANT, M. W., Ringler, C. & Zhu, T. **Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity**. Annual Review of Environment and Resources 34, 205-222.



ROSENZWEIG C, Tubiello FN, Goldberg R, Mills E, Bloomfield J. 2002. **Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change.** Glob. Environ. Change 12:197–202

SAMUEL, Paulo Robison da.; **Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários Urbanos, Através de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2011. 169f.

SANTOS, Silvânio R. Dos, Soares. Antônio A. (In Memoriam), Kondo, Marcos K., Matos, Antonio T., Maia, Victor M. **Indicadores de produção e qualidade da fibra do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária.** Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering ISSN: 1809-4430 (on- line).

SANTOS, G.J. Água de reúso para lavagem de ruas e rega de parques. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.) Reúso de água. São Paulo: Manole; Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2003. p. 501-511.

SILVA G. H. R.; NOUR E. A. A. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.268-275, 2005. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br>

SOUSA FILHO, Edésio José de . **Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido Pernambuco.** Universidade federal de Pernambuco, centro de tecnologia e geociências - programa de pós-graduação em engenharia civil, Recife – PE, 2013. 75 f.

SOUSA, Andrea Françoise Sanches de. **Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – análise de perigos e pontos críticos de controle : estudo de caso Residencial Valville I / A.F.S. de Sousa.** -- ed.rev. São Paulo, 2008. 176 p.

SOUSA, J. T. et al. Utilização de Wetland construído no Pós-Tratamento de esgotos domésticos pré-tratado em reator UASB. **Eng. sanit. ambient.** Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, 285-290.

SCHULZ, Clair Teresinha; Henkes, Jairo Afonso. Reaproveitamento d'água da estação de tratamento de Efluentes: empresa intelbras – são José (sc). **R. Gest. Sust. Ambient.** Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 338 - 384, out.2013/ mar.2014.

TOSETTO, Mariana de Salles. Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reúso urbano. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas: interfaces no gerenciamento.** In: PHILIPPI JR, A. (Ed.) Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole; Faculdade de Saúde Pública/USP, 2005. (p.375-411). (Coleção Ambiental, 2).

UNITED NATIONS POPULATION FUNDATION. **State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth**. New York, 2007. Disponível em: <[https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/695\\_filename\\_sowp2007\\_eng.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/695_filename_sowp2007_eng.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2017.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. Washington, D.C.: Camp Dresser & McKee, 2004.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Imprimatur, 1996.

WORLD Bank. 2007. **World Development Report 2008: Agriculture for Development**. Washington, DC:World Bank.

WHO (2006) WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Third Edition, Volume II: Wastewater Use in Agriculture, World Health Organization, Geneva, Switzerland. [Guidelines for water reuse].

SILVA, Fernando José Araújo da, e Souza, Raimundo Oliveira de. **Turbidez e cloro residual livre na monitoração de ETE tipo tanque séptico seguido de filtro anaeróbio**. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v. 33, n. 4, p. 407-413, 2011. DOI: 10.4025/actascitechnol.v33i4.9603.