



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

JOÃO BATISTA MAGALHÃES DE ALMEIDA

**UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE SISTEMAS DDFA E UASB EM
ESCALA REAL**

FORTALEZA

2022

JOÃO BATISTA MAGALHÃES DE ALMEIDA

**UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE SISTEMAS DDFA E UASB EM
ESCALA REAL**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A448c Almeida, João Batista Magalhães de.

Uma comparação de desempenho entre sistemas DDFA e UASB em escala real / João Batista Magalhães de Almeida. – 2022.

39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

1. Reatores anaeróbios. 2. UASB. 3. DDFA. 4. Eficiência de tratamento. 5. Legislação ambiental. I. Título.
CDD 628

JOÃO BATISTA MAGALHÃES DE ALMEIDA

**UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE SISTEMAS DDFA E UASB EM
ESCALA REAL**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

Aprovada em: ___ / ___ / _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dr. Marisete Dantas de Aquino (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Maria Patrícia Sales Castro (Examinadora Externa)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

RESUMO

A coleta, transporte e o tratamento de esgotos são de suma importância para preservação da água com qualidade para diversos usos pela sociedade, para isso existem diversos tipos de tratamento deste efluente. O tratamento anaeróbio de esgotos domésticos é uma excelente alternativa, pois traz diversas vantagens quando comparados ao tratamento aeróbio, entre eles a menor utilização de energia elétrica e uma menor geração de lodo. Neste trabalho foram avaliados dez sistemas de tratamento anaeróbio no município de Fortaleza, sendo cinco de sistemas Decanto Digestores associados à Filtro Anaeróbio (DDFA) e cinco Reatores de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB). Foi realizada uma comparação de desempenho em escala real para os parâmetros DQO, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais, Temperatura, pH, *Coliformes Termotolerantes*, *Escherichia coli* e Sulfeto. De um modo geral, a tecnologia de tratamento UASB mostrou-se mais eficiente na remoção de matéria orgânica quando analisado o parâmetro DQO, SST e Ssed, já em relação a *Coliformes Termotolerantes* e *Escherichia coli*, existe uma relação com a existência de Cloro Residual Livre, e todas as estações atenderam os padrões de lançamento para pH e Temperatura. Porém, mostra-se bastante preocupante o não atendimento à legislação ambiental vigente para a maioria das estações analisadas, o que evidencia a má operação destas estações, levando a degradação dos corpos hídricos receptores. Por fim, foram feitas sugestões para melhoria da análise de dados para uma melhor tomada de decisões pela companhia responsável (CAGECE), e também foram sugeridas melhorias para uma melhor fiscalização e incentivo para a Agência Reguladora do município de Fortaleza (ACFOR).

Palavras-chave: Reatores anaeróbios; UASB; DDFA; Eficiência de tratamento; Legislação Ambiental.

ABSTRACT

The collection, transport and treatment of sewage are of paramount importance for the preservation of quality water for various uses by society, for which there are several types of treatment of this effluent. The anaerobic treatment of domestic sewage is an excellent alternative, as it brings several advantages when compared to the aerobic treatment, among them the lower use of electric energy and a lower generation of sludge. In this work, ten anaerobic treatment systems were evaluated in the city of Fortaleza, five of which were Decanto Digesters associated with Anaerobic Filter (DDFA) and five Upflow and Sludge Blanket Reactors (UASB). A full-scale performance comparison was performed for the parameters COD, Sedimentable Solids, Total Suspended Solids, Temperature, pH, *Thermotolerant Coliforms*, *Escherichia coli* and Sulfide. In general, the UASB treatment technology proved to be more efficient in the removal of organic matter when analyzing the parameter COD, SST and Ssed, in relation to *Thermotolerant Coliforms* and *Escherichia coli*, there is a relationship with the existence of Free Residual Chlorine, and all stations met the release standards for pH and Temperature. However, the lack of compliance with the current environmental legislation for most of the analyzed stations is quite worrying, which shows the poor operation of these stations, leading to the degradation of the receiving water bodies. Finally, suggestions were made to improve data analysis for better decision-making by the responsible company (CAGECE), and improvements were also suggested for better supervision and incentive for the Regulatory Agency of the municipality of Fortaleza (ACFOR).

Keywords: Anaerobic reactors; UASB; DDFA; Treatment efficiency; Environmental legislation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. Objetivo Geral	11
1.1.1. Objetivos Específicos	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Digestão Anaeróbia	12
2.1.1. Hidrólise	12
2.1.2. Acidogênese	14
2.1.3. Acetogênese	15
2.1.4. Metanogênese	16
2.1.5. Sulfetogênese	16
2.2. Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo - UASB	17
2.3. Decanto Digestor associado à Filtro Anaeróbio - DDFA	19
2.4. Legislação Ambiental	21
3. METODOLOGIA.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Demanda Química de Oxigênio.....	28
4.2. Sólidos Suspensos Totais	31
4.3. Materiais Sedimentáveis	32
4.4. Coliformes Totais, E. coli e CRL.....	34
4.5. Temperatura e pH	36
4.6. Sulfeto	37
5. CONCLUSÃO.....	39

REFERÊNCIAS	41
--------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos principais insumos que o ser humano possui a sua disposição, tendo vários usos de grande importância, como abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, geração de energia elétrica, entre outros (VON SPERLING, 2005).

Tabela 1 – Distribuição de água na Terra.

“Tipo de água	Distribuição no planeta		
Água do mar:	97,0%	-	
Geleiras:	2,2%	-	
Água doce:	0,8%	Água subterrânea:	97%
	---	Água superficial:	3%
Total:	100%	-	100%

Fonte: Von Sperling, 2005.

De forma global, segundo Von Sperling (2005, p. 17): “Da água disponível na Terra, apenas 0,8% pode ser utilizada mais facilmente para abastecimento público. Desta pequena fração de 0,8%, apenas 3% apresentam-se na forma de água superficial, de extração mais fácil. Esses valores ressaltam a grande importância de se preservarem os recursos hídricos na Terra, e de se evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível”. Trazendo para o fator local, altas temperatura e evapotranspiração dificultam ainda mais o acesso a água superficial.

Diante disso, diversos fatores trazem preocupação em relação a sua disponibilidade. Primeiramente, o fato do crescimento urbano acelerado ocorrido principalmente nas grandes cidades e regiões metropolitanas resultando em diversos prejuízos ao meio ambiente devido a grande produção de esgoto sanitário. No caso de Fortaleza, ocorreu uma urbanização forçada pelo fenômeno das secas (COSTA, 2018).

Segundo a definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto sanitário é o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Com isso, sem a aplicação de estrutura suficiente de acordo com a contribuição populacional local para captação, transporte e tratamento do mesmo, faz gerar enormes prejuízos ao meio ambiente com o lançamento deste

resíduo líquido em corpos receptores alterando seus os parâmetros físicos, químicos e biológicos (NUVOLARI, 2003), causando a degradação dos mesmos e encarecendo seu tratamento para o posterior consumo humano, além de causar doenças de veiculação hídrica comprometendo a saúde pública.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2020), o índice de atendimento total com rede pública de água em 2020 é de 84,1%, com índice de atendimento urbano chegando a 93,4%. Os menores índices de atendimento das populações total e urbana com redes públicas de abastecimento de água são da macrorregião Norte (58,9% e 72,0%, respectivamente). Em relação à população total o maior índice é registrado na macrorregião Sudeste (91,3%), já em relação à população urbana, o maior registro é no Sul (98,8%). Na Região Nordeste este índice é de 74,9% para população total, e de 89,7% para a população urbana. No estado do Ceará este índice para a população urbana é de 75,1%.

Já em relação ao Esgotamento Sanitário, índice de atendimento total com rede pública de esgoto em 2020 é de 55,0%, com índice de atendimento urbano chegando a 63,2%. Os maiores índices são os da macrorregião Sudeste (80,5% e 84,9% respectivamente), e os menores, da Norte (13,1% e 17,2%). Na Região Nordeste este índice é de 30,3% para população total, e de 39,3% para a população urbana. No estado do Ceará este índice para a população urbana é de 37,9%. Porém, em relação ao tratamento, apenas 78,5% desse esgoto coletado passa pelo processo de tratamento no Brasil, sendo 84,6% este índice no estado do Ceará.

Outro fator importante a ser mencionado é um regime de chuvas sendo alterado em diversas regiões do Brasil e do mundo, devido principalmente ao desmatamento de florestas e mudanças climáticas causadas pela emissão de gases de efeito estufa. Desta forma, com o esvaziamento de reservatórios no país, a questão energética fica em estado de alerta, pois a fonte hídrica corresponde a cerca de 65,2% da oferta interna de energia fazendo com que o governo recorra a fontes de geração mais caras e mais poluentes, como termelétricas, causando prejuízo no bolso dos brasileiros.

Desse modo, o tratamento de esgoto sanitário se torna essencial para garantir a melhoria da qualidade da água nos corpos receptores, diminuir os investimentos em saúde pública, além de conscientizar o uso e reuso da água de forma correta pela população. Dentre as formas possíveis de sistemas de tecnologias de tratamento de esgotos, especificamente o tratamento em nível secundário, será abordado o tratamento realizado por reatores anaeróbios.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

- a) Analisar e comparar os efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto das tecnologias Decanto Digestor associado à Filtro Anaeróbio e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB*), tecnologias semelhantes por se tratar de reatores anaeróbios, através de análises físico-químicas e bacteriológicas em escala real.

1.1.1. Objetivos Específicos

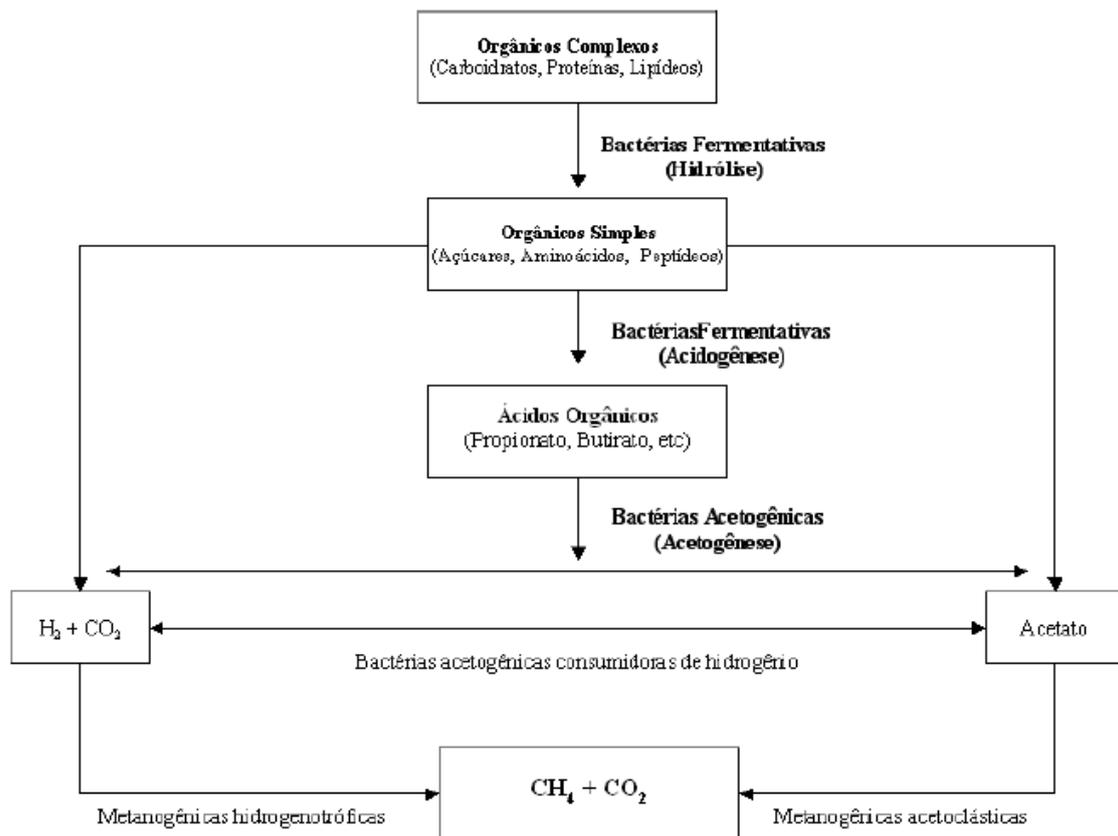
- a) Comparar os resultados obtidos nas saídas das Estações de Tratamento de Esgoto com os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos regidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/05, Resolução CONAMA nº 430/11 e Resolução COEMA nº 02/2017.
- b) Avaliar a qualidade dos efluentes tratados nas saídas das estações de tratamento de esgotos em relação às suas tecnologias, tanto DDFA quanto UASB, e comparar suas respectivas eficiências, trazendo possíveis pontos de melhoria dessas soluções.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Digestão Anaeróbia

Digestão anaeróbia é um processo de oxidação da matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio. Pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 2007). É subdividida em várias rotas metabólicas, com a participação de diversos grupos microbianos, cada um com um comportamento diferente.

Figura 1 – Processo de Digestão Anaeróbia.



Fonte: Lettinga, 1996, apud Chernicharo, 2007.

2.1.1. Hidrólise

Quando os microrganismos não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de

materiais particulados complexos (polímeros), em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores), os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Esta conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

Na anaerobiose, a hidrólise dos polímeros usualmente ocorre de forma lenta, sendo vários os fatores que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado (LETTINGA, 1996):

- a) Temperatura operacional do reator, pois afeta diretamente a velocidade das reações, a velocidade do metabolismo dos microrganismos e a solubilidade dos substratos (Campos et al., 1999). Em relação aos microrganismos e a temperatura em que ocorre a maior atividade microbiana, existem os psicrófilos com temperaturas inferiores a 20°C, mesófilos entre 20°C a 40 °C, e termófilos 40 °C a 70 °C (Batstone, 2002, apud CHERNICHARO, 2007);
- b) Tempo de residência do substrato no reator;
- c) Composição do substrato;
- d) Tamanho das partículas;
- e) pH do meio, com faixa ideal entre 6,5-9,0, mais próximo a neutralidade (Speece, 1983);
- f) Concentração de NH_4^+-N ;
- g) Concentração de produtos da hidrólise.

Gêneros de bactérias com capacidade hidrolítica no processo de digestão:

- a) *Clostridium*, *Micrococcus* e *Staphylococcus* – gêneros produtores de lipases, para degradação de lipídeos a ácidos graxos;
- b) *Bacteroides*, *Butyvirio*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Proteus*, *Peptococcus* e *Bacillus* – gêneros produtores de proteases, para degradação de proteínas a aminoácidos;
- c) *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Acetivirio*, *Eubacterium* – gêneros produtores de amilases, para degradação de polissacarídeos a açúcares menores.

A composição relativa e ativa destes microrganismos será refletida pelo tipo de substrato presente no sistema.

2.1.2. Acidogênese

Os produtos solúveis, oriundos da fase de hidrólise, são metabolizados no interior das células, através do metabolismo fermentativo. A maioria dos microrganismos acidogênicos fermenta açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, resultantes da hidrólise da matéria orgânica complexa, e produzem diversos compostos mais simples, a exemplo de ácidos orgânicos (principalmente acético, propiônico e butírico), álcoois (etanol), cetonas (acetona), dióxido de carbono e hidrogênio (fase gasosa), além de novas células bacterianas.

Microrganismos fermentativos são os primeiros a atuar na etapa sequencial de degradação do substrato, e são os que mais se beneficiam energeticamente. Desta forma, a etapa acidogênica só será limitante do processo se o material a ser degradado não for facilmente hidrolisável. Como os ácidos orgânicos são o principal produto dos organismos fermentativos, estes são usualmente designados de bactérias fermentativas acidogênicas.

Quadro 1 – Comparação energética de algumas reações comuns na degradação anaeróbia.

Nº	Acidogênese		ΔG° (kJ/reação)
1	Glicose Acetato	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + 2CO_2 + 2H^+ + 4H_2$	- 206
2	Glicose Propionato	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COO^- + 2H_2O + 2H^+$	- 358
3	Glicose Butirato	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COO^- + 2CO_2 + H^+ + 2H_2$	- 255
Acetogênese			
4	Bicarbonato Acetato	$2HCO_3^- + 4H_2 + H^+ \rightarrow CH_3COO^- + 4H_2O$	- 104,6
5	Propionato Acetato	$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 3H_2$	+ 76,1
6	Propionato Acetato	$CH_3CH_2COO^- + 2HCO_3^- \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 3HCO_3^-$	+ 72,2
7	Butirato Acetato	$CH_3CH_2CH_2COO^- + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$	+ 48,1
8	Etanol Acetato	$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$	+ 9,6
9	Lactato Acetato	$CH_3CHOHCOO^- + 2H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 2H_2$	- 4,2
Metanogênese e Sulfetogênese			
10	Acetato Metano	$CH_3COO^- + H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3^-$	- 31,0
11	Hidrogênio Metano	$H_2 + 1/4HCO_3^- + 1/4H^+ \rightarrow 1/4CH_4 + 3/4H_2O$	- 33,9
12	Formiato Metano	$HCOO^- + 1/4H_2O + 1/4H^+ \rightarrow 1/4CH_4 + 3/4HCO_3^-$	- 32,6
13	Bicarbonato Metano	$HCO_3^- + 4H_2 + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	- 135,6
14	Sulfato Sulfeto	$SO_4^{2-} + 4H_2 + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	- 151,9

Fonte: Chernicharo, 2007.

A acidogênese é efetuada por um grande e diverso grupo de bactérias fermentativas. Dentre os gêneros mais comuns em reatores anaeróbios estão: Clostridium,

Bacteroides, Ruminococcus, Butyribacterium, Propionibacterium, Eubacterium, Lactobacillus, Streptococcus, Pseudomonas, Desulfobacter, Micrococcus, Bacillus e Escherichia. Os produtos metabólicos gerados pela atividade das bactérias acidogênicas são importantes substratos para as bactérias acetogênicas e para as arqueas metanogênicas.

2.1.3. Acetogênese

As bactérias sintróficas acetogênicas são responsáveis pela oxidação de compostos orgânicos intermediários, como propionato e butirato, em substrato apropriado para os microrganismos metanogênicos (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono) e são assim denominadas porque a existência delas depende da atividade de microrganismos consumidores de hidrogênio (pois se houver acúmulo, ocorre a redução do pH e inibição da metanogênese).

Os gêneros conhecidos de bactérias sintróficas encontrados em digestores anaeróbios são Syntrophobacter e Syntrophomonas.

A formação de acetato resulta na produção de grande quantidade de Hidrogênio, fazendo com que o pH no meio aquoso decresça.

A produção de acetato a partir de propionato e butirato é termodinamicamente inibida pela presença de relativamente baixas concentrações de hidrogênio dissolvido e de acetato. Desta forma, as reações acetogênicas só poderão ocorrer se a concentração de produtos (hidrogênio e acetato) for mantida em baixas concentrações, e isso é conseguido pela ação dos microrganismos consumidores de acetato e hidrogênio. Em sistemas de tratamento de esgoto, a remoção de hidrogênio da fase líquida é feita principalmente por microrganismos metanogênicos hidrogenotróficos, mas também por bactérias redutoras de sulfato.

A grande importância dos organismos acetogênicos, no processo de digestão anaeróbia, decorre do fato de que cerca de 60 a 70% dos elétrons do substrato original são canalizados para a produção de acetato (CHERNICHARO, 2007). Em decorrência, a remoção de DQO da fase líquida depende da conversão de acetato em metano, o que é feito pelos microrganismos metanogênicos acetoclásticos. A formação de metano também pode ocorrer pela ação dos microrganismos metanogênicos hidrogenotróficos, a partir de redução de dióxido de carbono ou formiato.

2.1.4. Metanogênese

A etapa final do processo global de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelos microrganismos metanogênicos, atualmente classificados dentro do domínio Archaea, um grupo verdadeiramente reconhecido como distinto das bactérias típicas. Essa diferenciação só foi possível com o advento dos métodos de biologia molecular, baseando-se na análise das características genéticas dos microrganismos. Ressalta-se que o domínio Archaea possui mais de 100 espécies descritas (Vazzoler, 1999, apud CHERNICHARO, 2007).

As arqueas metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono.

Em função de sua fisiologia, as arqueas metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético ou metanol, e o segundo, que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono.

Metanogênicas acetoclásticas – utilizam acetato como fonte de carbono e energia, produzindo gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4). São responsáveis por cerca de 60 a 70% de toda a produção de metano. Pertencem a dois gêneros principais: *Methanosarcina* e *Methanosaeta*.

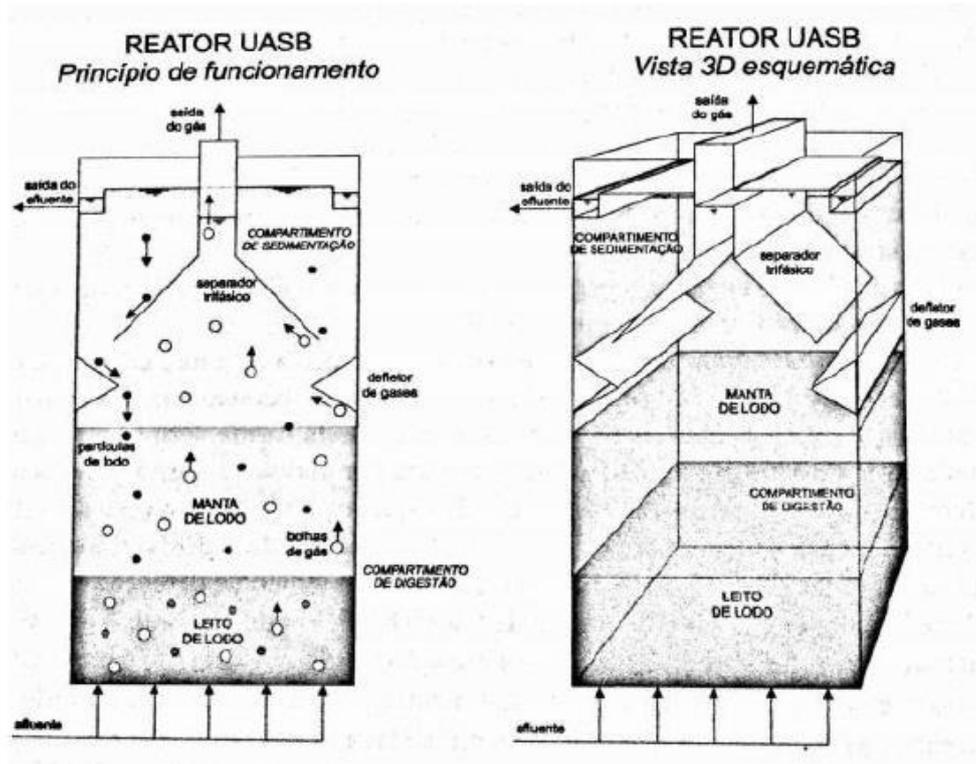
Ao contrário das acetoclásticas, praticamente todas as espécies conhecidas de arqueas metanogênicas são capazes de produzir metano, a partir do hidrogênio e gás carbônico, resultando em uma maior liberação de energia. Os gêneros mais conhecidos são *Methanobacterium* e *Methanospirillum*.

2.1.5. Sulfetogênese

Além das rotas metabólicas e dos grupos microbianos descritos anteriormente, o processo de digestão anaeróbia pode incluir, ainda, a fase de redução de sulfatos e formação de sulfetos ou, simplesmente, sulfetogênese. A predominância dessa fase depende essencialmente da composição química do substrato (presença significativa de sulfato) e das condições operacionais do reator.

2.2.Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo – UASB

Figura 2 – Fluxograma de Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo.



Fonte: Von Sperling, 2005.

O reator de manta de lodo foi inicialmente desenvolvido e aplicado largamente na Holanda. Essencialmente, o processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo).

A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás. O esgoto entra pelo fundo e o efluente deixa o reator, através de um decantador interno localizado na parte superior do reator. Um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado abaixo do decantador, garante as condições ótimas para a sedimentação das partículas que se desgarram da manta de lodo, permitindo que estas retornem à câmara de digestão, ao invés de serem arrastados para fora do sistema. Embora parte das partículas mais

leves sejam perdidas juntamente com o efluente, o tempo médio de residência de sólidos no reator é mantido suficientemente elevado para manter o crescimento de uma massa densa de microrganismos formadores de metano, apesar do reduzido tempo de detenção hidráulica.

Um dos princípios fundamentais do processo é a sua habilidade em desenvolver uma biomassa de elevada atividade. Esta biomassa pode se apresentar na forma de flocos ou de grânulos (1 a 5 mm de tamanho). O cultivo de um lodo anaeróbio de boa qualidade é conseguido através de um processo cuidadoso de partida do sistema, durante o qual a seleção artificial da biomassa é imposta, permitindo que o lodo mais leve, de má qualidade, seja arrastado para fora do sistema, ao mesmo tempo que o lodo de boa qualidade é retido. O lodo mais pesado normalmente se desenvolve junto ao fundo do reator e apresenta uma concentração de sólidos totais da ordem de 40 a 100 gST/L. Normalmente, não se utiliza qualquer dispositivo mecânico de mistura, uma vez que estes parecem ter um efeito adverso na agregação do lodo e, conseqüentemente, na formação de grânulos.

O segundo princípio fundamental do processo é a presença de um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado na parte superior do reator. O principal objetivo deste dispositivo é a separação dos gases contidos na mistura líquida, de tal forma que uma zona propícia à sedimentação seja criada no extremo superior do reator. O projeto de reatores de manta de lodo é bastante simples e não demanda a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para a retenção da biomassa.

2.3. Decanto Digestor associado à Filtro Anaeróbio - DDFA

Os decanto-digestores, também denominados de tanques sépticos, é uma unidade que desempenha as funções múltiplas de sedimentação e de remoção de materiais flutuantes, além de comportar-se como digestor de baixa carga. Seu funcionamento ocorre de tal forma: os sólidos sedimentáveis presentes no esgoto afluyente vão ao fundo do tanque, passando a constituir uma camada de lodo; os óleos, graxas e outros materiais mais leves presentes no esgoto afluyente flutuam até a superfície do tanque, vindo a formar uma camada de espuma; o esgoto, livre dos materiais sedimentáveis e flutuantes, flui entre as camadas de lodo e espuma, deixando o tanque em sua extremidade oposta, de onde é encaminhado para o filtro anaeróbio; o material orgânico retido no fundo do tanque sofre uma decomposição facultativa e anaeróbia, sendo convertido em compostos mais estáveis como CO_2 , CH_4 , e H_2S . Embora o H_2S seja produzido, problemas de odor não são usualmente observados, uma vez que este combina com materiais acumulados no lodo, vindo a formar sulfetos metálicos insolúveis; a decomposição anaeróbia proporciona uma redução contínua do volume de lodo depositado no fundo do tanque, mas há sempre uma acumulação ao longo dos meses de operação. Com isso, a acumulação de lodo e espuma leva a uma redução do volume útil do tanque, demandando a remoção periódica desse material.

Os filtros anaeróbios são o exemplo mais conhecido de reatores com crescimento bacteriano aderido, em leito fixo. São caracterizados pela presença de um material de empacotamento estacionário, no qual os sólidos biológicos podem aderir ou ficar retidos nos interstícios. A massa de microrganismos aderida ao material suporte, ou retida em seus interstícios, degrada o substrato contido no fluxo de esgotos e, embora a biomassa se solte esporadicamente, o tempo médio de residência de sólidos no reator é usualmente superior a 20 dias.

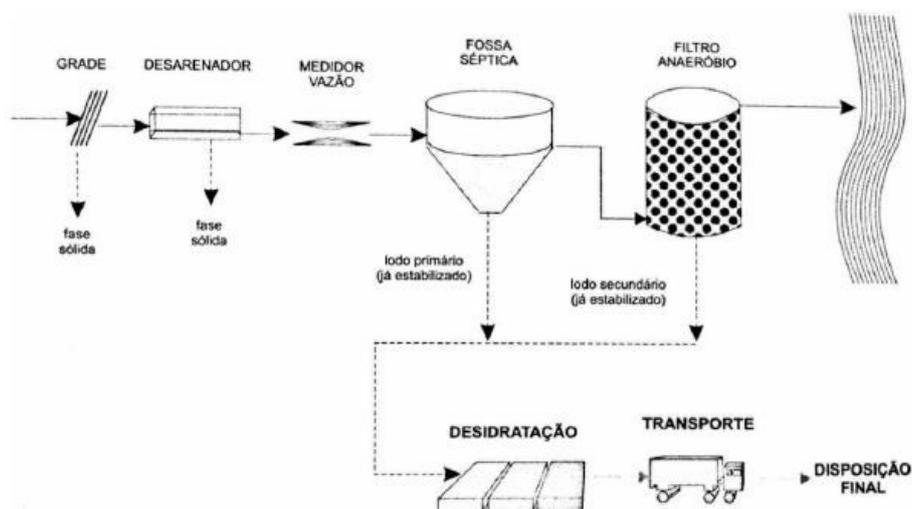
Os primeiros trabalhos acerca dos filtros anaeróbios datam do final da década de 60 e, desde então, têm tido uma aplicação crescente no tratamento de diferentes tipos de efluentes industriais e domésticos. Estes filtros são usualmente operados com fluxo vertical, tanto ascendente como descendente, sendo o fluxo ascendente o mais utilizado. Na configuração de fluxo ascendente, o líquido é introduzido pela base, fluindo através de uma camada de material de enchimento (meio suporte) e sendo descartado pela parte superior.

Com o aumento do conhecimento microbiológico e bioquímico dos processos anaeróbios, tem ocorrido uma sensível melhoria na otimização e na eficiência dos sistemas, incrementando, assim, sua aplicabilidade. Verifica-se que o tempo médio de residência dos microrganismos nos reatores é muito elevado, devido ao fato destes estarem fixados ao meio suporte, propiciando, então, um bom desempenho do processo de tratamento.

As características mais importantes de um tratamento biológico são o tempo de residência de sólidos e as concentrações de microrganismos presentes no meio. Os elevados tempos de residência de sólidos nos reatores, associados aos baixos tempos de detenção hidráulica, conferem ao filtro anaeróbio um grande potencial para sua aplicabilidade em tratamentos de águas residuárias de baixa concentração. Uma parcela significativa da biomassa ocorre como flocos suspensos retidos nos espaços vazios do meio suporte (retenção intersticial), fato que levou alguns pesquisadores a afirmarem que a forma do material suporte possui uma importância superior ao tipo de material empregado.

Como principal desvantagem dos filtros anaeróbios, tem sido apontada a acumulação de biomassa no fundo e no meio suporte dos reatores operados em fluxo ascendente, podendo provocar o entupimento ou a formação de caminhos preferenciais. A configuração de Decanto-Digestor associado a Filtro anaeróbio é representado na Figura 3.

Figura 3 – Sistema de Decanto Digestor associado à Filtro Anaeróbio.



Fonte: Von Sperling, 2005.

2.4. Legislação Ambiental

Para se analisar o lançamento do efluente tratado nas Estações de Tratamento de Esgotos, temos as seguintes legislações: CONAMA 357/05, legislação nacional que define as classes dos corpos hídricos de acordo com padrões estabelecidos; CONAMA 430/2011, legislação nacional que define os padrões de lançamento de efluentes, tal resolução define que o lançamento de um determinado efluente não pode alterar a classe do corpo hídrico receptor conforme CONAMA 357/05; e por último a COEMA 02/2017, legislação estadual que também define os padrões de lançamento de tais efluentes no âmbito estadual. Com isso, as legislações se complementam e quando definem o mesmo padrão será adotado o parâmetro mais restritivo de ambas as legislações.

Resolução CONAMA Nº 430/2011, CAPÍTULO II - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES, Seção I - Das Disposições Gerais:

Art. 5º Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

§ 1º As metas obrigatórias para corpos receptores serão estabelecidas por parâmetros específicos.

§ 2º Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias e na ausência de metas intermediárias progressivas, os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado.

Art. 11. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

Art. 12. O lançamento de efluentes em corpos de água, com exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.

Art. 14. Sem prejuízo do disposto no inciso I do parágrafo único do art. 3º desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo receptor estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras consequências:

Resolução CONAMA Nº 430/2011, CAPÍTULO II - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES, Seção III – Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários:

Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:

I – Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
- e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) ausência de materiais flutuantes.

§ 1º As condições e padrões de lançamento relacionados na Seção II, art. 16, incisos I e II desta Resolução, poderão ser aplicáveis aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, a critério do órgão ambiental competente, em função das características locais, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

§ 2º No caso de sistemas de tratamento de esgotos sanitários que recebam lixiviados de aterros sanitários, o órgão ambiental competente deverá indicar quais os parâmetros da Tabela I do art. 16, inciso II desta Resolução que deverão ser atendidos e monitorados, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

§ 3º Para a determinação da eficiência de remoção de carga poluidora em termos de DBO_{5,20} para sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, a amostra do efluente deverá ser filtrada.

Resolução COEMA Nº 02/2017, CAPÍTULO II - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES, Seção II – Das Condições e Padrões de Lançamento Direto de Efluentes:

Art. 12. Os efluentes sanitários, somente poderão ser lançados diretamente no corpo hídrico desde que obedeçam, resguardadas outras exigências cabíveis, as seguintes condições e padrões específicos:

- I - pH entre 5 e 9;
- II - temperatura: inferior a 40°C;
- III - materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff;
- IV - Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO 5 dias, 20°C: até 120 mg/L;

a) Para os casos de lagoa de estabilização, nas análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) a amostra deverá ser filtrada em filtro de fibra de vidro e poro com \varnothing 0,7 a 1,0 μm ;

V - substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L;

VI - ausência de materiais flutuantes;

VII - sulfeto: até 1 mg/L;

VIII - NMP de coliformes termotolerantes: até 5000 CT/100ml;

IX - sólidos suspensos totais, da seguinte forma:

a) até 150,0 mg/L para lagoas de estabilização;

b) até 100 mg/L, para as demais tecnologias.

Parágrafo único. Poderão ser exigidos aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários outros parâmetros, relacionados no Anexo I, em função das características locais, a critério do órgão ambiental competente.

Tabela 3 – Padrões de lançamento de efluentes.

Parâmetro	COEMA 02/2017	CONAMA 430/2011
pH	5 a 9	Entre 5 e 9
Temperatura	≤ 40°C	≤ 40°C
Materiais Sedimentáveis	≤ 1 mL/L	≤ 1 mL/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	≤ 120 mg/L	≤ 120 mg/L. Esse limite poderá ser ultrapassado sob a condição de eficiência de remoção mínima de 60% de DBO na ETE, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
Óleos e Graxas	≤ 100 mg/L	≤ 100 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausência	Ausência
Sulfeto	≤ 1 mg/L	-
Coliformes Termotolerantes	≤ 5000 CT/100mL	-
Sólidos Suspensos Totais	≤ 100 mg/L	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3. METODOLOGIA

Para realização do estudo em questão, foram escolhidos dois tipos de tratamento anaeróbios – UASB e Decanto Digestor associado à Filtro Anaeróbio. Cada tipo de tratamento está representado por cinco Estações de Tratamento de Esgoto, totalizando 10 (dez) sistemas de tratamento, todos localizados na Região Metropolitana de Fortaleza. Tais sistemas selecionados para análise foram escolhidos pela maior disponibilidade de dados e que estejam ativos em todo o período analisado, conferindo assim, uma base de dados mais fidedigna para analisar os dois tipos de sistemas.

Estes dados foram obtidos junto à ACFOR, órgão municipal responsável pela fiscalização dos serviços de Saneamento Ambiental. Foram obtidos relatórios mensais de 2017 até 2020. Com isso, estes dados de qualidade do esgoto foram compilados em uma planilha eletrônica.

Os parâmetros analisados foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura (°C), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Sedimentáveis (Ssed), Coliformes Totais (CT), Escherichia coli (E. coli) e Sulfeto.

Em relação à análise estatísticas dos dados, foi realizado uma análise descritiva simples, apresentando valores de eficiência (DQO) e valores médios, máximos e mínimos (outros parâmetros). A partir desses valores, foi feita uma comparação com os valores exigidos pelas legislações nacional e estadual e realizado uma comparação de desempenho entre os sistemas UASB e DDFA. Para os valores de DQO, SST, Ssed, pH, Temperatura e Sulfeto foram calculadas as médias aritméticas dos valores, enquanto para E. coli e Coliformes Totais foram computadas as médias geométricas.

Para a avaliação em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes, patógenos em uma ETE é importante mensurar a eficiência dessa remoção do poluente, por meio da equação:

$$E = \left(\frac{C_a - C_e}{C_a} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

E = eficiência do sistema (%)

Ca = concentração afluente do poluente (mg/L)

Ce = concentração efluente do poluente (mg/L)

Diante disso, com os dados das análises físico-químicas e microbiológicas coletadas durante o período de tempo abordado, pode-se mensurar a eficiência global do sistema e avaliar o enquadramento dos lançamentos de efluentes em relação aos parâmetros estabelecidos, tanto pela CONAMA 430/2011 como COEMA 02/2017.

Por fim, os valores de eficiência servem de base para tomada de decisões e, caso estejam fora dos padrões, deve-se avaliar de forma específica o processo de tratamento e propor medidas para solucionar o problema em questão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foram analisados os dados de qualidade de dez ETEs do município de Fortaleza, sendo cinco ETEs que utilizam a tecnologia Decanto Digestor associado à Filtro Anaeróbico e cinco ETEs que utilizam a tecnologia UASB, conforme apresentado na Quadro 2.

Quadro 2 – Estações de tratamento do estudo.

SIGLA	ETE	Tecnologia
CM1	Chico Mendes 01	DDFA
CM2	Chico Mendes 02	DDFA
AL3	Alto Alegre 03	DDFA
AL4	Alto Alegre 04	DDFA
ML	Monte Líbano	DDFA
TCM	TCM	UASB
CAS	Castelão	UASB
CEV	Centro de Eventos	UASB
ROS	Rosa de Luxemburgo	UASB
RD	Riacho Doce	UASB

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Antes de ser iniciada a discussão de resultados, alguns pontos foram observados durante a análise dos dados. Primeiramente, os parâmetros analisados mensalmente em todas as estações (Temperatura, pH, DQO, SST, Ssed, E. coli, Coliformes Totais e Sulfeto) não possuíam dados de qualidade em determinados meses para algumas estações.

Outro fator a ser destacado foi que o único parâmetro analisado no esgoto bruto foi a DQO, permitindo uma análise de eficiência somente neste parâmetro. Deve-se destacar que esta escassez de análises realizadas impede um melhor estudo da situação operacional das ETEs operadas pela CAGECE.

Por fim, ainda sobre a DQO, algumas amostras apresentaram valores de entrada menores do que os valores de saída. Diante disso, podem-se levantar duas hipóteses: erros laboratoriais durante a análise ou perda de biomassa no reator. Como os valores elevados de DQO de saída são recorrentes durante vários meses somente em algumas estações, descartou-

se a possibilidade de erro laboratorial durante as análises, assumindo-se a hipótese mais provável de que o reator esteja perdendo biomassa por problemas operacionais.

4.1.Demanda Química de Oxigênio

Para a DQO, como as legislações não definem valores para lançamento de DQO e sim apenas DBO, foi adotado um padrão para DQO de 200 mg/L, baseado no padrão de DBO que é de 120 mg/L. Com isso, supomos que 60 % do valor de DQO é de carga orgânica e o restante de carga inorgânica. Este valor foi baseado também na legislação estadual, Portaria 154/2002 da SEMACE vigente anterior à legislação atual. Foram analisados os valores de entrada e saída do efluente na ETE, possibilitando analisar tanto a eficiência quanto o atendimento à legislação ambiental. A tabela 5 apresenta a média dos valores de DQO de entrada e saída nas 10 ETEs:

Tabela 5 – DQO e remoção nas ETEs do estudo (valores médios).

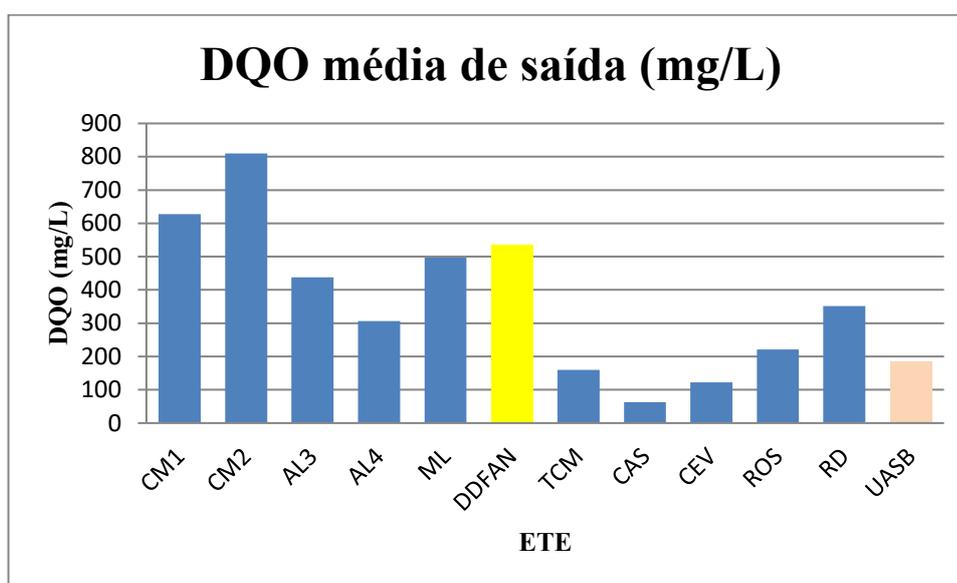
ETE	DQO Entrada (mg/L)	DQO Saída (mg/L)	Eficiência Média (%)
Chico Mendes – 1	2580	628	76%
Chico Mendes – 2	1759	810	54%
Alto Alegre – 3	1198	438	63%
Alto Alegre – 4	1474	306	79%
Monte Líbano	2165	497	77%
DDFA	1835	536	71%
TCM	532	160	70%
Castelão	405	63	84%
Centro de Eventos	1022	122	88%
Rosa de Luxemburgo	1924	221	88%
Riacho Doce	418	351	16%
UASB	860	183	79%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 4 apresenta os valores médios de DQO para as dez ETEs, bem como a análise global de cada tipo de tecnologia na forma de gráfico. A partir deste gráfico pode-se inferir que somente as estações TCM, Castelão e Centro de Eventos apresentam média de DQO abaixo do padrão adequado, e a ETE Rosa de Luxemburgo apresenta valor de DQO muito próximo do exigido. Logo, a tecnologia de tratamento UASB possui uma maior eficiência de remoção quando comparada com a tecnologia Decanto Digestor Associado à Filtro Anaeróbio, pois nenhum das ETEs desta tecnologia apresentou valores abaixo do padrão de lançamento definido e as ETE Chico Mendes 1 e 2 apresentam DQO média de saída do efluente maiores que 600 mg/L. Vale ressaltar a grande diferença na média dos valores de DQO de entrada nas ETEs com tecnologia DDFA quando comparados com os

valores médios de entrada de DQO das ETEs com tecnologia UASB. Observou-se um valor máximo de eficiência nas estações Centro de Eventos e Rosa de Luxemburgo, com 88%, e curiosamente um valor mínimo na estação Riacho Doce, com 16%, pois apresenta um baixo valor médio de DQO de entrada quando comparada com as demais estações.

Figura 4 – DQO média de saída.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

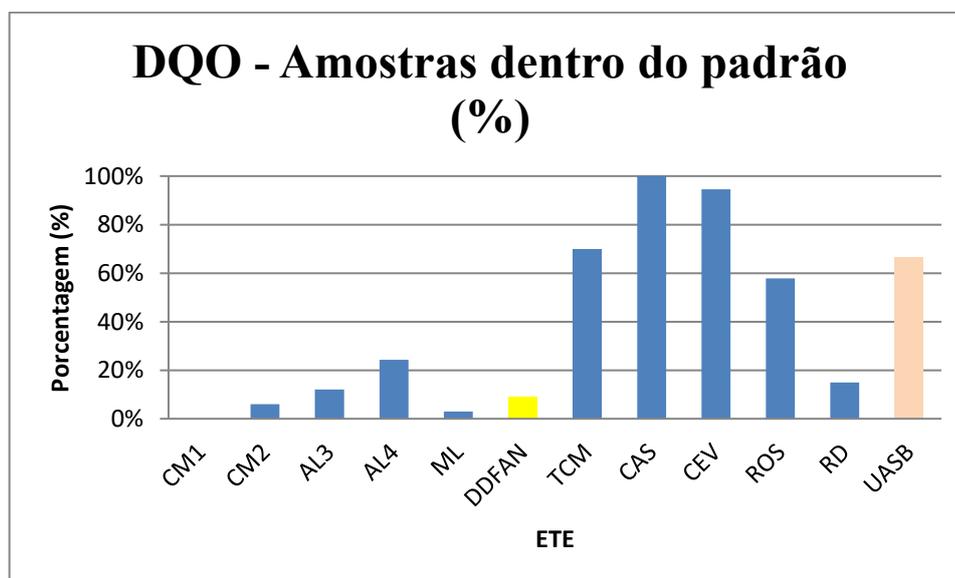
A Tabela 6 como a Figura 5 ilustra a porcentagem de amostras dentro dos padrões em relação ao parâmetro DQO. Percebe-se que somente quatro ETEs possuem mais de 50% das amostras dentro do padrão e todas elas são de tecnologia UASB, e, apenas uma ETE de tecnologia UASB está com amostras muito abaixo do padrão, a ETE Riacho Doce com apenas 15%. Destaque para as ETEs Castelão e Centro de Eventos com respectivamente 100% e 95% das suas amostras dentro do padrão definido. Por outro lado, as ETEs com tecnologia DDFA apresentaram menos de 10% das amostras dentro dos padrões, o que corresponde a apenas 15 de 165 amostras analisadas durante o período de 2017 a 2020. Apesar de todos apresentarem um péssimo padrão de lançamento, o destaque negativo vai para a ETE Chico Mendes 01 com nenhuma amostra dentro do padrão no período analisado.

Tabela 6 – Amostras de DQO.

ETE	Total de amostras	Amostras dentro do padrão	Percentual de atendimento
Chico Mendes – 01	33	0	0%
Chico Mendes – 02	33	2	6%
Alto Alegre – 03	33	4	12%
Alto Alegre – 04	33	8	24%
Monte Líbano	33	1	3%
DDFA	165	15	9%
TCM	40	28	70%
Castelão	37	37	100%
Centro de Eventos	37	35	95%
Rosa de Luxemburgo	38	22	58%
Riacho Doce	40	6	15%
UASB	192	128	67%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 5 – Amostras de DQO.

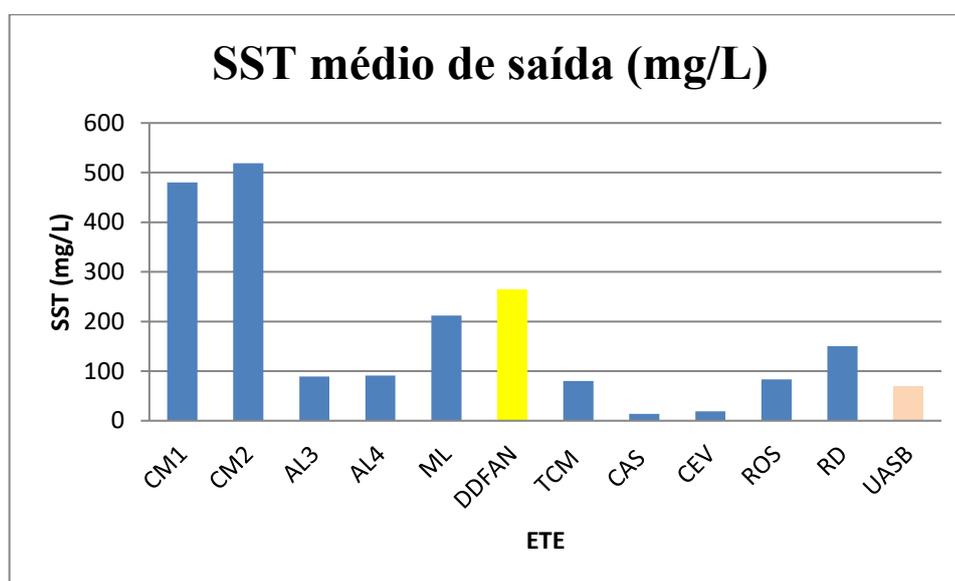


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.Sólidos Suspensos Totais

Em relação aos sólidos suspensos totais, a legislação ambiental vigente, COEMA 02/2017 no caso, traz como padrão de lançamento o limite de até 100 mg/L para tecnologias que não seja lagoas de estabilização, que no caso permite até 150 mg/L. Como não é feita a análise laboratorial do esgoto bruto em relação a esse padrão, não é possível fazer uma análise de eficiência de remoção. A Figura 6 apresenta as médias de SST após o tratamento para cada estação e também a média global de cada tecnologia, tanto DDFA como UASB. Foi observado que as ETEs Alto Alegre 3, Alto Alegre 04, TCM, Castelão, Centro de Eventos e Rosa de Luxemburgo possuem média de saída de SST inferior a 100 mg/L, valor exigido pela legislação estadual. Por outro lado, as piores situações foram das ETEs Chico Mendes 1 e Chico Mendes 2, com valores de 480 mg/L e 519 mg/L respectivamente, o que representa cerca de cinco vezes a mais que o valor estabelecido pela legislação estadual.

Figura 6 – SST médio de saída.

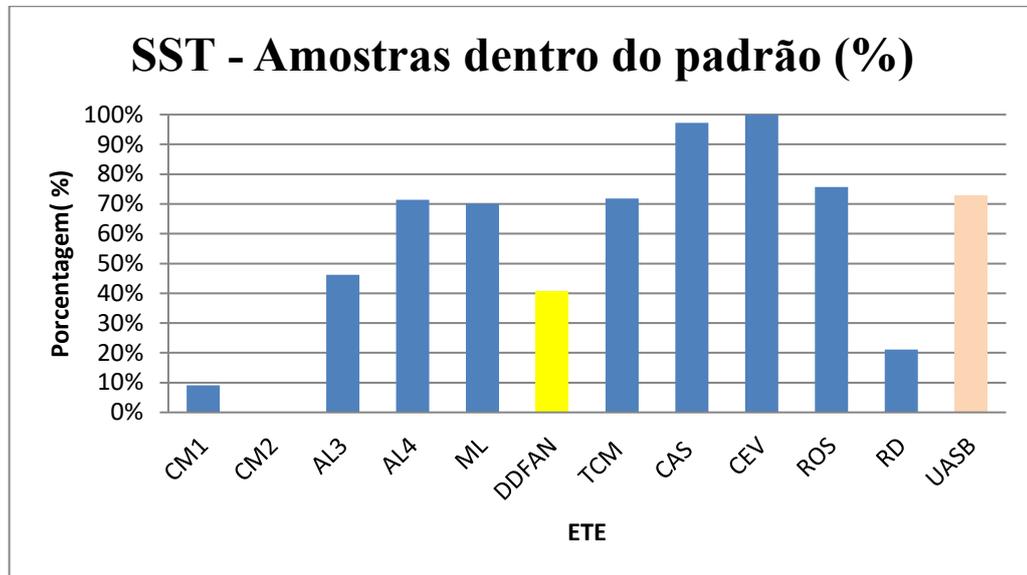


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação às amostras estudadas, 160 estavam dentro do padrão, de um total de 246 amostras analisadas, representando 65% das amostras totais. Porém, ao se analisar as tecnologias separadamente, a tecnologia DDFA possuem somente 41% das amostras dentro do padrão enquanto as ETAs de tecnologia UASB possuem 73% das amostras dentro do padrão. Destaque positivo para a ETA Centro de Eventos que teve todas as amostras dentro do

padrão enquanto que a ETE Chico Mendes 02 não obteve nenhuma amostra obedecendo a legislação.

Figura 7 – Amostras de SST.

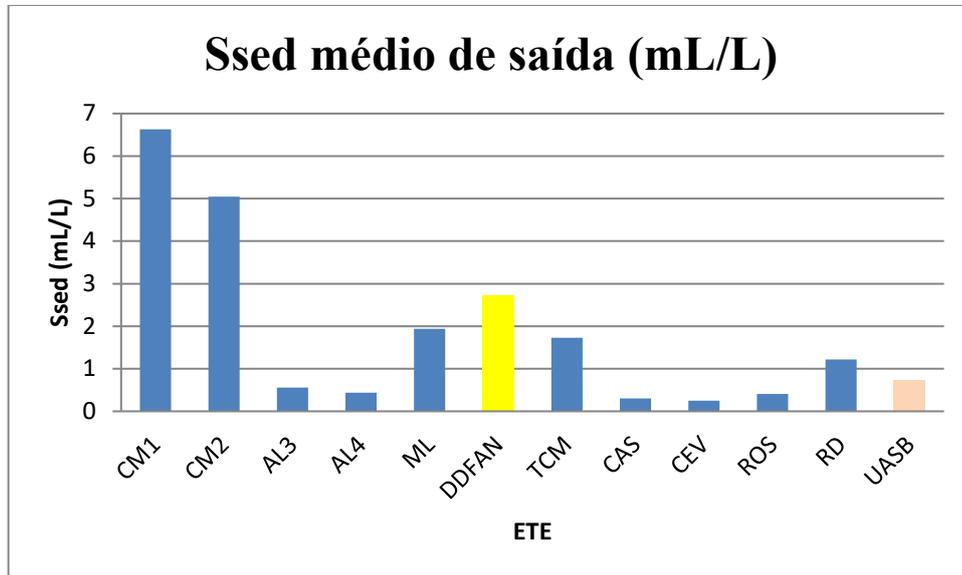


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.3. Materiais Sedimentáveis

Em relação aos sólidos sedimentáveis, a legislação ambiental vigente, COEMA 02/2017 no caso, traz como padrão de lançamento o limite de até 1 mL/L, em teste de 1 hora em cone Imhoff. Como não é feita a análise laboratorial do esgoto bruto em relação a esse padrão, não é possível fazer uma análise de eficiência de remoção. A Figura 8 apresenta as médias de Ssed após o tratamento para cada estação e também a média global de cada tecnologia, tanto DDFA como UASB. Foi observado que as ETEs Alto Alegre 3, Alto Alegre 4, Castelão, Centro de Eventos e Rosa de Luxemburgo possuem média de saída de Ssed inferior a 1 mL/L, valor exigido pela legislação estadual. Por outro lado, as piores situações foram das ETEs Chico Mendes 01 e Chico Mendes 02, com valores de 6,63 mL/L e 5,05 mL/L respectivamente, o que representa cerca de cinco e seis vezes a mais que o valor estabelecido pela legislação estadual.

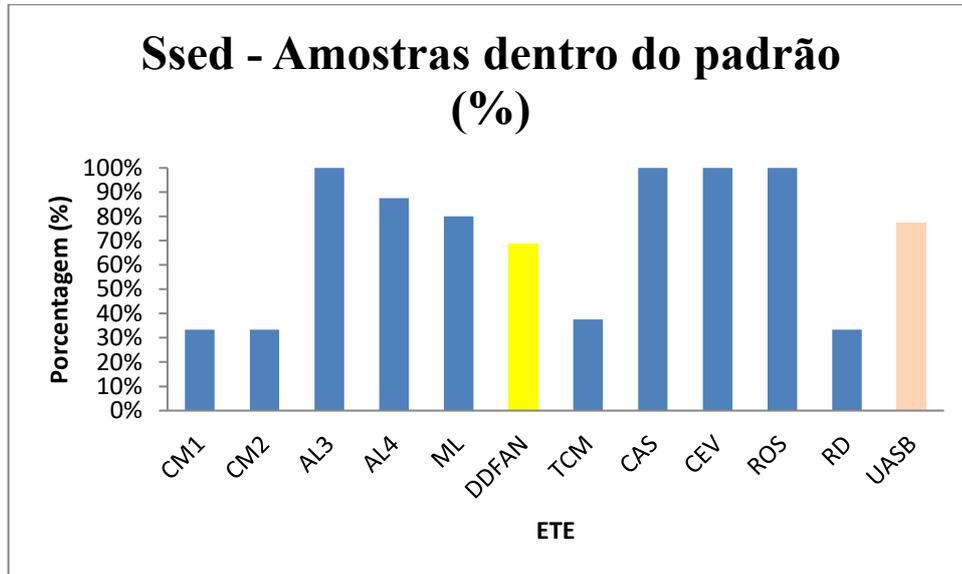
Figura 8 – Ssed médio de saída.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação às amostras estudadas, 53 estavam dentro do padrão, de um total de 72 amostras analisadas, representando 74% das amostras totais. Porém, ao se analisar as tecnologias separadamente, a tecnologia DDFAN possuem 69% das amostras dentro do padrão enquanto as ETES de tecnologia UASB possuem 78% das amostras dentro do padrão. Destaque positivo para as ETES Alto Alegre 03, Castelão, Centro de Eventos e Rosa de Luxemburgo que teve todas as amostras dentro do padrão enquanto que as ETES Chico Mendes 01, Chico Mendes 02 e Riacho Doce que obteve somente 33% das amostras obedecendo à legislação.

Figura 9 – Amostras de Ssed.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.4. Coliformes Totais, E. coli e CRL

O processo de desinfecção pode ocorrer de forma natural, com o uso de lagoas de maturação ou de forma artificial, por meio da cloração, radiação ultravioleta, adsorção por carvão ativado, osmose reversa, ozonização, entre outros. A presença ou ausência de patógenos em águas são identificadas a partir de microrganismos indicadores como Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (CAVINATTO, 2007). Para as ETEs em questão é utilizado o processo de cloração. Em relação aos parâmetros que se analisa o processo de desinfecção, a legislação ambiental estadual traz como padrão os Coliformes Termotolerantes com o limite de NMP até 5000 CT/100 mL. Na situação em questão, é também analisado o padrão de lançamento de *E. coli*. A Tabela 7 apresenta os valores médios de lançamento após o tratamento. Percebe-se que a remoção está adequada para a maioria das estações, com exceção das ETEs Monte Líbano e Riacho Doce que apresentam valores acima do padrão de 5000 CT NMP/100 mL. As melhores situações se encontram nas estações Alto Alegre 03, Alto Alegre 4 e Rosa de Luxemburgo.

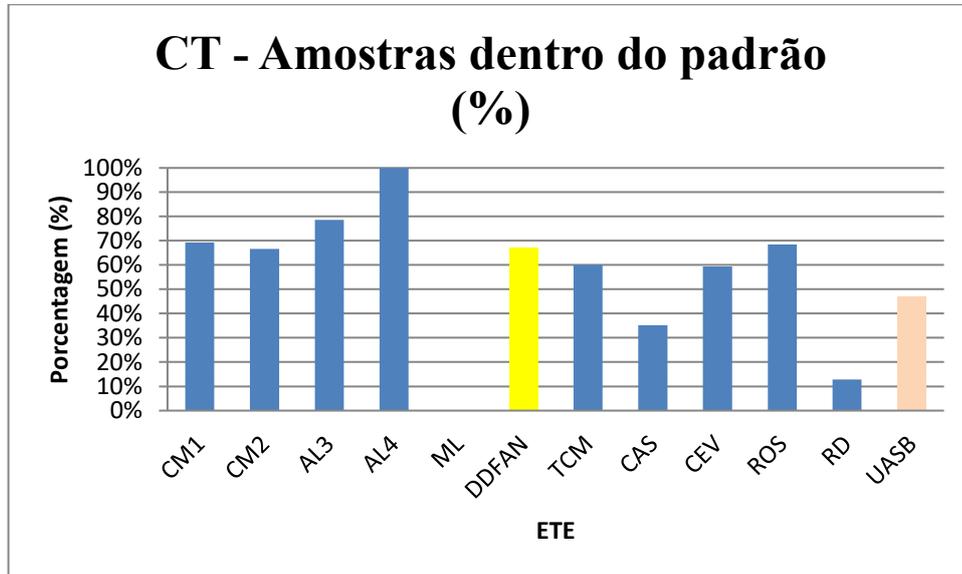
Tabela 7 – *Coliformes Termotolerantes*.

ETE	CT Saída (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> Saída (NMP/100mL)
Chico Mendes – 01	4.914	1.424
Chico Mendes – 02	143	40
Alto Alegre – 03	295	48
Alto Alegre – 04	7,5	5
Monte Líbano	9.390.624	2.064.144
TCM	1.938	704
Castelão	6.568	931
Centro de Eventos	584	155
Rosa de Luxemburgo	353	86
Riacho Doce	71.601	9.232

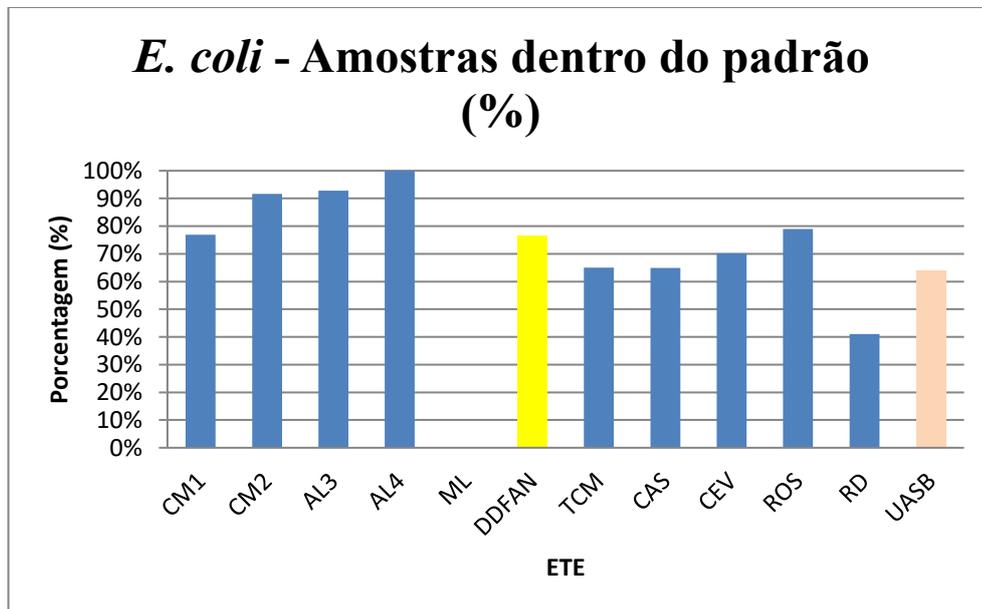
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação à porcentagem de amostras dentro do padrão, as Figuras 10 e Figura 11 trazem a análise respectivamente dos padrões Coliformes Termotolerantes e *E. coli*. Observa-se que a ETE Alto Alegre 04 possui 100% de suas amostras dentro dos padrões para os dois parâmetros e que a ETE Alto Alegre 03 possui quase que 80% de suas amostras para Coliformes Termotolerantes também dentro do padrão. Já por outro lado a ETE Monte Líbano não apresentou nenhuma amostra dentro do padrão, além de possuir uma alta média de lançamento para esses parâmetros. Uma explicação para isto é que não está ocorrendo a desinfecção com cloração nesta estação, o que pode ser verificado pela análise de cloro residual livre desta estação. Tal relação com estes parâmetro pode ser verificada em todas as ETES analisadas.

Figura 10 – Amostras de Coliformes Termotolerantes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 11 – Amostras de *E. coli*.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.5. Temperatura e pH

Para o parâmetro pH não foi observado nenhuma amostra fora dos padrões estabelecidos pela legislação vigente (valores entre 5,0 e 9,0). O pH médio geral foi de 7,34,

sendo a média das ETEs de tecnologia DDFA igual a 7,15 e das ETEs de tecnologia UASB igual a 7,40. O valor mínimo de pH observado foi de 6,48, na ETE Chico Mendes 01 e o valor máximo foi de 8,90 na ETE Centro de Eventos. Já em relação ao parâmetro Temperatura, também não foi observado nenhuma amostra fora dos padrões estabelecidos pela legislação vigente (inferior a 40 °C). A temperatura média global foi de 29,4 °C, sendo a média das ETEs de tecnologia DDFA igual a 29,1 °C e das ETEs de tecnologia UASB igual a 29,5 °C.

Tabela 8 – Temperatura e pH.

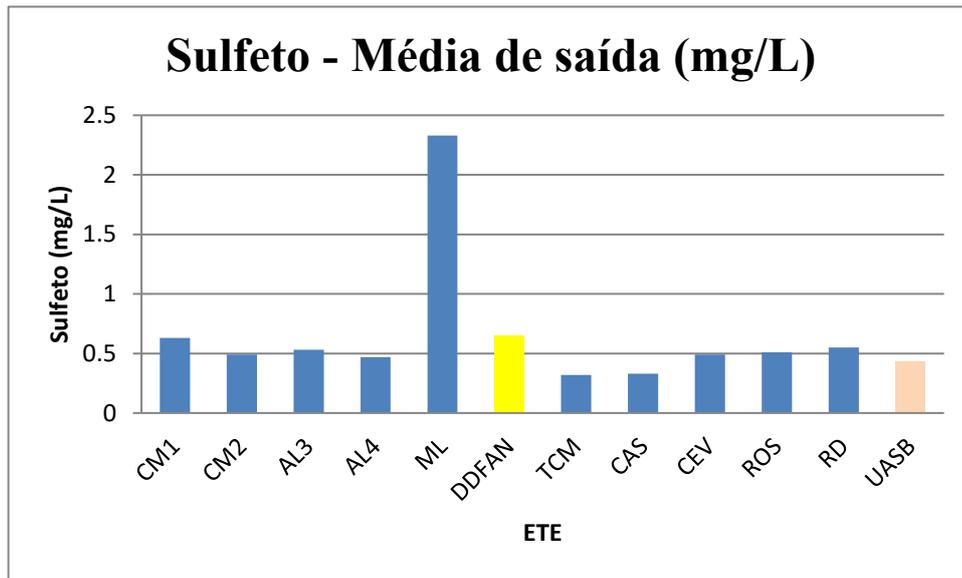
ETE	pH médio	Temperatura média (°C)
Chico Mendes – 01	6,96	28,7
Chico Mendes – 02	7,10	28,2
Alto Alegre – 03	7,32	29,2
Alto Alegre – 04	7,18	29,4
Monte Líbano	7,16	29,1
DDFA	7,15	29,1
TCM	7,64	29,1
Castelão	7,62	28,9
Centro de Eventos	7,28	30,4
Rosa de Luxemburgo	7,11	29,3
Riacho Doce	7,36	29,7
UASB	7,40	29,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.6.Sulfeto

Por fim, no padrão Sulfeto Total em que a legislação estadual estabelece como padrão um limite de até 1mg/L, apenas uma estação apresentou dados fora do padrão, que segundo a Figura 12, foi a ETE Monte Líbano, as demais estações estão com a média e amostras dentro do padrão permitido.

Figura 12 – Sulfeto médio de saída.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5. CONCLUSÃO

Em relação à comparação entre as tecnologias de tratamento de esgotos DDFA e reatores UASB, este trabalho pôde mostrar uma boa diferença com remoção de matéria orgânica mais efetiva em reatores UASB, porém também mostra deficiências tanto na operação quanto na manutenção destes equipamentos de um modo geral.

Observou-se que para o parâmetro DQO, apenas 40% das amostras estudadas estavam dentro do padrão estabelecido pela legislação vigente, sendo que a tecnologia DDFA apresentou somente 9% de suas amostras dentro dos padrões enquanto os reatores UASB apresentaram 67% das amostras dentro dos padrões. Este é um número bastante deficitário, o que mostra que a qualidade dos corpos receptores destes efluentes está sendo alterada.

Pode-se acrescentar que algumas estações analisadas não tiveram nenhuma amostra dentro do padrão para aquele parâmetro, como a ETE Chico Mendes 1, e estações apresentando dados de saída maiores do que os dados de entrada para DQO, principalmente a ETE Riacho Doce, evidenciando a má operação desta estrutura.

Destaca-se que estações projetadas para atender populações pequenas e sazonais (Centro de Eventos, TCM e Castelão) apresentaram maior eficiência que as estações projetadas para bairros e conjuntos habitacionais, como as ETE Chico Mendes 1 e 2 e Alto Alegre 03 e 04, com tecnologia DDFA, o que pode diagnosticar se esta tecnologia de tratamento é minimamente adequada para este fim.

Vale destacar que não pôde ser feito um trabalho mais aprofundado em relação à eficiência dos sistemas já que a CAGECE não disponibiliza dados de entrada das estações além do parâmetro DQO. Além disto, outro fator limitante é a ausência de valores de vazão e a divulgação dos corpos receptores de cada estação. Uma sugestão de parâmetros básicos mínimos a serem analisados seria (NUNES, 2012):

Tabela 9 – Parâmetros básicos mínimos para análise.

Parâmetros	Frequência	Entrada	Saída
Vazão	Diária	x	-
DBO	Semanal	x	x
DQO	Semanal	x	x
pH	Diária	-	x
Temperatura	Diária	-	x
Nitrogênio Amoniacal Total	Mensal	x	x
Fósforo Total	Mensal	x	x
Materiais Sedimentáveis	Diária	-	x
Sólidos em Suspensão	Semanal	x	x
Sulfetos	Mensal	-	x
Óleos e Graxas	Mensal	-	x
Coliformes Termotolerantes	Semanal	x	x

Fonte: Nunes, 2012.

A apresentação destes dados é de suma importância para os gestores como auxílio na tomada de decisões. Diante disso, é válido ressaltar a grande preocupação em universalizar o sistema de esgotamento sanitário em todo o Brasil, porém esta mesma preocupação deve estar ativa no tratamento deste efluente, pois a preservação dos corpos receptores são de grande importância para a população como um todo, principalmente no estado do Ceará que sempre sofreu com períodos de seca.

Por fim, segue algumas recomendações:

- a) Aumentar a frequência dos testes laboratoriais conforme a Tabela 9;
- b) Aumentar o corpo técnico e de operações das ETEs, além da capacitação frequente destes operadores;
- c) Aumentar o corpo técnico de fiscalização da Agência Reguladora da Prefeitura, ACFOR;
- d) Criar uma equipe técnica de análise e soluções de problemas para cada estação com problemas crônicos;
- e) Inserir na legislação, além de multas por não obediência aos padrões estabelecidos, metas de qualidade propondo benefícios, fiscais, por exemplo, à Concessionária de serviço de Esgotos, a CAGECE no caso;

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9648 – **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005**. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 03 de janeiro de 2022.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011**. Publicada no Diário Oficial da União em 16 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 03 de janeiro de 2022.
- BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS). Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto. Visão Geral ano de referência 2020**. 113 p. 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em 03 de janeiro de 2022;
- CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- CAVINATTO, A.S. **Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo – Estudo de caso**. Vol.12 – Nº1 – Jan/Mar 2007. 42-51p.
- CEARÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA). **Resolução COEMA n ° 02, de 02 de fevereiro de 2017**. Diário Oficial do Estado, série 3, ano IX nº 37.
- CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 5. Reatores anaeróbios. DESA-UFMG. 2ª Ed. 380p. 2007.
- COSTA, M. C L. Urbanização da sociedade fortalezense. **Revista do Instituto Ceará**, p.183-204, 2008.
- NUNES, J. S. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 3ª edição. Aracaju. 2012.
- NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Edgard Blucher: São Paulo, 2003.
- SPEECE, R. E. Anaerobic biotechnology for Industrial Wastewater Treatment. **Environ. Sci. Technol.**, v. 17, p. 416-427, 1983.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 1. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. DESA-UFMG. 3ª Ed. 452p. 2005.