



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIA IZABEL XAVIER DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA OXIDAÇÃO DE ALQUILBENZENO
LINEAR SULFONATO (LAS) EM ESGOTO SANITÁRIO
UTILIZANDO HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN
LOCO***

RECIFE, 2022

MARIA IZABEL XAVIER DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA OXIDAÇÃO DE ALQUILBENZENO LINEAR SULFONATO
(LAS) EM ESGOTO SANITÁRIO UTILIZANDO HIPOCLORITO DE SÓDIO
*PRODUZIDO IN LOCO***

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Engenheiro (a) Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Bruna Scandolara Magnus

RECIFE, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Oliveira, Maria Izabel Xavier de.

Avaliação da oxidação de Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS) em esgoto
sanitário utilizando hipoclorito de sódio produzido in loco / Maria Izabel
Xavier de Oliveira. - Recife, 2022.

47 : il., tab.

Orientador(a): Bruna Scandolara Magnus

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -
Bacharelado, 2022.

1. Alquilbenzeno linear sulfonato. 2. Oxidação. 3. Micropoluentes. 4.
Eficiência. 5. Estação de tratamento de esgoto. I. Magnus, Bruna Scandolara .
(Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

MARIA IZABEL XAVIER DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA OXIDAÇÃO DE ALQUILBENZENO LINEAR
SULFONATO (LAS) EM ESGOTO SANITÁRIO UTILIZANDO
HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO *IN LOCO***

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 10/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dr(a). Bruna Scandolara Magnus (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite (Examinador interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Msc. Alfredo Quirino de Abreu Neto (Examinador externo)

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em especial a Deus que não me desamparou em nenhum momento e também às seguintes pessoas:

A minha família que me auxiliou nas diversas provações, em especial a minha mãe Verônica e minha avó Marinete, obrigada pelo aconchego e palavra amiga, o colo e o carinho. Vocês acreditaram em mim quando nem mesmo eu acreditei.

A minha orientadora Prof (a) Bruna Magnus, seus ensinamentos e paixão pelo que faz são espelho da profissional que quero me tornar.

Aos queridos do LSA e LABIOTA, e a todos que me ajudaram direta ou indiretamente com todo apoio necessário, em especial a Jéssica e Alfredo, sem vocês esse trabalho não teria se concretizado.

Aos meus amigos de curso que não poderiam deixar de estar aqui homenageados, as palavras de consolo nos momentos difíceis e as intermináveis horas de estudo na biblioteca do CTG e CCEN e risadas nas horas vagas deixaram a caminhada mais leve.

Dedico essa ínfima parte do meu trabalho a homenagear pessoas tão importantes que fizeram parte desta caminhada complicada que me propus a seguir. O auxílio que me proporcionaram não há riqueza no mundo que os recompensará.

“É melhor ter companhia do que estar sozinho, porque maior é a recompensa do trabalho de duas pessoas. Se um cai, o amigo pode ajudá-lo a levantar-se. Mas pobre do homem que cai e não tem quem o ajude a levantar-se!” Eclesiastes 4: 9-10.

RESUMO

As ações antrópicas e relações do ser humano com o ecossistema e com o mundo tem cada vez mais degradado a natureza. Nesse âmbito o tratamento e esgotamento sanitário são agentes importantes no combate a poluição da natureza fazendo com que a poluição gerada não consiga atingir de forma abrasiva o meio. Portanto esse trabalho disserta sobre os meios que levam ao polimento de um sistema de esgotamento sanitário; explicitando os métodos usados, em especial a utilização de hipoclorito de sódio gerado na própria estação de tratamento de esgoto como forma de baratear custos, encurtar prazos de entrega e problemas de logística além de maior controle produtivo. Além disso o principal objetivo do presente trabalho é avaliar como o método de desinfecção por cloração pode ser eficiente avaliando parâmetros físico-químicos; essa análise foi feita por meio de avaliação e caracterização da amostra e após isso escolhas de concentração e tempo de contato inserindo-se em jar test para tal e avaliação cromatográfica por meio de método *HPLC* (High Performance Liquid Cromatography), que consiste na separação de fases em uma amostra e análise das mesmas para encontrar o quanto de Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS) está sendo efetivamente oxidado após o tratamento por desinfecção. Após a análise por cromatografia e separação das fases são encontrados isômeros do LAS e análise das amostras feitas em triplicata, buscando avaliar a eficiência do método bem como um comparativo entre as quantidades de substância oxidada na amostra. Desse modo foi encontrado valores de oxidação superiores a 80% em todos os testes feitos para os tempos de contato e concentrações de hipoclorito de sódio in loco utilizado (10,20 e 30 min e 5, 10 e 15 ppm).

Palavras-chave: Alquilbenzeno linear sulfonato, oxidação, micropoluentes, eficiência, estação de tratamento de esgoto.

ABSTRACT

Anthropogenic actions and human relationships with the ecosystem and the world have increasingly degraded nature. In this context, treatment and sanitary sewage are important agents in the fight against nature's fuel, so that the fuel generated cannot reach the environment in an abrasive way. Therefore, this work discusses the means that lead to the polishing of a sanitary sewage system; explaining the methods used, in particular the use of sodium hypochlorite generated in the sewage treatment plant itself as a way of lowering costs, shortening delivery times and logistical problems, in addition to greater production control. In addition, the main objective of the present work is to evaluate how the method of influenced by chlorination can be efficient evaluating physical-chemical parameters; this analysis was carried out by evaluating and characterization the sample and after that choosing the concentration and contact time by inserting it in a jar test for this purpose and chromatographic evaluation by means of the HPLC method (High Performance Liquid Chromatography), which consists of separating phases in a sample and analyzing them to find how much Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) is being effectively oxidized after treatment by involved. After analysis by chromatography and phase separation, LAS isomers are found and samples are analyzed in triplicate, seeking to evaluate the efficiency of the method as well as a comparison between the levels of oxidized substance in the sample. Thus, presentation values greater than 80% were found in all tests carried out for contact times and concentrations of in loco sodium hypochlorite used (10, 20 and 30 min and 5, 10 and 15 ppm).

Keywords: Linear alkylbenzene sulfonate, oxidation, micropollutants, efficiency, sewage treatment plant.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Hipoclorito de sódio in loco e teor de cloro	21
Tabela 2 – Análise de parâmetros físico-químicos em esgoto filtrado	24
Tabela 3 – Resultado de sólidos suspensos.....	25
Tabela 4 – Resultado sólidos totais	26
Tabela 5 – Concentração das amostras de hipoclorito de sódio in loco	31
Tabela 6 – Leitura HPLC dos homólogos de LAS encontrados na amostra bruta	36
Tabela 7 – Leitura HPLC para concentração 5 ppm e homólogos do LAS -C10.....	36
Tabela 8 – Leitura HPLC para concentração 5 ppm e homólogos do LAS -C11.....	36
Tabela 9 – Concentração de LAS antes da desinfecção.....	38
Tabela 10 – Eficiência de oxidação do LAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de micropoluentes nos ambientes	16
Figura 2 – Esquema molecular do LAS	18
Figura 3 – Esquema de estação de tratamento de esgoto ETE Mangueira	23
Figura 4 – Vista áerea da ETE Mangueira	23
Figura 5 – Aparelho Jar test para procedimento de desinfecção do esgoto	30
Figura 6 – Esquema de concentração de hipoclorito por jarro	32
Figura 7 – Concentrador de amostras.....	34
Figura 8 – Cromatógrafo.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa e motivação	12
1.2 Objetivos gerais e específicos.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Importância do Saneamento: Doenças geradas por falta de saneamento.	13
2.2 Micropoluentes	15
2.2.1 Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS)	17
2.3 Os desafios da remoção de LAS em ETEs.	18
2.4 Desinfecção de esgotos sanitários para degradação de LAS	19
2.5 Cloração por hipoclorito de sódio in loco.	20
2.5.1 Hipoclorito de sódio in loco e suas características.....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 Caracterização da ETE Mangueira	22
3.1.1 Caracterização da amostragem na ETE mangueira	22
3.1.2 Caracterização físico-químicas do esgoto da ETE mangueira	24
3.2 Configuração do ensaio de jarros (Jar test)	29
3.2.1 Ensaio de Jarros e sua utilidade.....	29
3.2.1.1 Tipo de Oxidante	31
3.2.1.2 Variação de concentração de oxidantes nas amostras	31
3.2.1.3 Tempo de contato	32
3.2.1.4 Princípio da geração de hipoclorito de sódio in loco	33
3.3 Análises físico-químicas – Avaliação de LAS	33
3.3.1 Concentração das amostras	33
3.3.2 Método Cromatográfico.....	34

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 Resultados das Análises laboratoriais amostra bruta.....	38
4.2 Análise comparativa	38
4.3 Legislação e adequação.	42
5. CONCLUSÃO.....	44
6.REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Observando um breve histórico populacional percebesse que a cada dia aumenta-se o número de poluentes novos que aparecem com o avanço da tecnologia na indústria, porém ainda no Brasil empresas de médio e pequeno porte encontram entraves na gestão ambiental e em contrapartida os órgãos ambientais são exigentes no que quesito destinação adequada (WANDERLEY e col. NASCIMENTO, 2017). A problemática do tratamento correto de esgoto é uma dificuldade recorrente na sociedade, em especial no Brasil onde apenas 54,95 % da população tem rede geral ou foça séptica ligada a rede de esgoto segundo o Sistema Nacional de Informações de Saneamento – SNIS (2020); o caso se torna ainda mais preocupante quanto a região nordeste que segundo o mesmo sistema tem apenas 30, 29 % de redes de esgoto atendidas. É importante compreender como a problemática do saneamento no Brasil determina a qualidade de vida da população; visto que é extremamente complicado inserir novos hábitos a comunidade, incumbindo a esfera pública o poder de transmitir água e esgoto tratado a população.

Os detergentes em afluentes de ETE é um fato, pois não existe absorção completa nos seres humanos; as concentrações dos efluentes também são altas e esses poluentes não têm por vezes o tratamento de esgoto adequado pela reduzida eficiência das estações de tratamento de esgotos, e esse problema configura um risco também aos mananciais de água de abastecimento podendo vir a contaminá-los (TORRES, 2012). Os hormônios sintéticos e naturais tem uma grande probabilidade de desenvolver alteração no sistema endócrino e alguns estudos estão associando a deposição nos organismos humanos dessas substâncias com vários tipos de câncer no organismo como o de mama e próstata além da queda na taxa de espermatozoides (GHISELLI e JARDIM, 2007); e por esse motivo se faz extremamente importante avaliar e buscar tecnologias e processos que possam retirá-los do ambiente e dar mais saúde e segurança à população em geral.

O presente trabalho tem como premissa avaliar o efeito da oxidação do LAS no esgoto sanitário por cloração, utilizando hipoclorito de sódio produzido *in loco* na degradação dos micropoluentes emergentes que circulam nos esgotos do país.

1.1 Justificativa e motivação

A avaliação do efeito da oxidação por cloração com hipoclorito de sódio produzido in loco se faz importante pois a partir dela pode-se entender qual o nível de eficácia de remoção dos micropoluentes emergentes que está sendo entregue aos corpos d'água, desse modo é possível entender como a desinfecção auxilia no processo de degradação dessas substâncias.

A problemática da desinfecção de esgoto adequada e de potencializá-la reside no fato de que algumas substâncias não legisladas podem estar num ciclo de deposição nos organismos e como ainda não existe seu controle, fármacos, cosméticos, hormônios e outros produtos químicos e também patógenos fazem com que se necessite cada vez mais de cloreto de sódio comprado comercialmente para o tratamento, e nesse contexto podemos com o uso do hipoclorito de sódio *in loco* além de produzir o cloreto de sódio necessário para o uso na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), podemos obter bases para a eficácia desse produto na retirada desses micropoluentes no esgoto doméstico. Como matéria de estudo do presente trabalho será analisado um micropoliente muito utilizado na atualidade, o alquilbenzeno linear sulfonato (LAS).

1.2 Objetivos gerais e específicos

O objetivo do presente trabalho foi a avaliar o efeito da oxidação do alquilbenzeno linear sulfonato presente em esgoto sanitário por cloração na degradação dos micropoluentes emergentes (LAS).

Objetivos específicos:

- Avaliar a eficiência da oxidação de esgoto sanitário na degradação de micropoluentes emergentes como o Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS).
- Avaliar a influência da concentração de hipoclorito de sódio, no processo de oxidação de LAS.
- Verificar as concentrações de LAS no esgoto sanitário, que passou processo de desinfecção por hipoclorito de sódio, atendem aos requisitos legais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do Saneamento: Doenças geradas por falta de saneamento.

O processo de acometimento por doenças causadas por parasitoses ocasionadas por falta de saneamento na atualidade ainda é um aspecto preocupante; enquanto grandes obras da engenharia são construídas a falta de saneamento em comunidades carentes tem levado ao adoecimento da população, em especial de crianças que são acometidas por doenças e casos de óbitos por doenças infecciosas e parasitárias que são ocasionadas por microrganismos patogênicos (TEIXEIRA, GOMES e SOUZA, 2011). A falta de ações que melhorem o problema e não apenas tenham efeitos paliativos é um aspecto histórico pertinente a discussão; visto que a partir dos anos 1900 o Brasil passou por um processo de gentrificação historicamente.

O conceito desse tipo de periferização da classe trabalhadora não se configura um processo simples de troca de moradias e tem conceitos muito mais relacionado com estruturação urbana nos grandes centros (FURTADO, 2014); desse modo a dificuldade em haver acesso ao saneamento básico de qualidade se faz problemática ainda hoje.

Nesse contexto o descarte de esgoto a céu aberto, e falta de medidas básicas de higiene trazem consigo inúmeras doenças como febre tifoide, desinteria bacteriana, cólera, leptospirose, teníase, hepatite A, giardíase, entre outras que levam a saúde pública a situações complicadas. Essas doenças parasitárias podem ser de fácil tratamento ou não, podendo levar em casos extremos a vítima acometida a morte, levando em consideração a falta de conhecimento para com ela. É então de importância extrema que existam condições favoráveis para que os sistemas de saneamento possam ser implementados; estabelecendo um equilíbrio entre 3 pilares sociais: economia, ecologia e sociedade (RIBEIRO E ROOKE, 2010).

Continentes como a África que concentra a esmagadora maioria da população mais pobre do planeta sofrem com problemas de saneamento e não muito distante dessa situação se encontra o Brasil; onde a maior parte das moradias interioranas não dispõem de sistema completo de saneamento, nesses locais é comum a população ribeirinha apresentar acometimento por enteropatógenos transmitidos por via feco-oral em grande parte pela falta de saneamento na região ou condições precárias de moradia (SILVA, 2014). Em grandes centros urbanos, a exemplo a região metropolitana de Recife, sofrem com problemas no aumento dos

casos de leptospirose por falta de saneamento adequado ou uma rede de drenagem urbana eficiente fazendo com que em alguns locais a água da chuva se misture ao esgoto e transborde podendo entrar em contato direto com a pele, causando malefícios a saúde. Abaixo pode-se observar um quadro resumo com as principais doenças e seus meios de transmissão:

Quadro 1: Doenças causadas por falta de saneamento e suas principais categorias quanto a transmissão

Categoria da doença	Doença
Doenças de transmissão feco-oral	Cólera, diarreias, febres entéricas, hepatite A.
Doenças transmitidas por inseto vetor	Dengue, febre amarela, leishmanioses, filariose linfática, malária, doença de chagas
Doenças transmitidas pelo contato com a água	Esquistossomose, leptospirose.
Doenças relacionadas com a higiene	Tracoma, conjuntivites, micoses superficiais
Geohelmintos e teníases	Helmintíases, teníases.

Fonte: Adaptado de Amaral et al (2018).

Apesar de existir inúmeros problemas causados pela falta de saneamento adequado hoje enfrenta-se outro grande problema gerado com a deposição pós-tratamento do esgoto bruto; com o advento da tecnologia nas grandes indústrias vários materiais e substâncias foram criados para proteção da pele, limpeza de uso geral, fármacos que são usados indiscriminadamente e que hoje não são objeto de estudo e retirada nas Estações de Tratamento de Esgotos.

2.2 Micropoluentes

Na atualidade existe uma crescente na discussão dos poluentes emergentes; compostos que não tem um estudo aprofundado nem formas de descarte mais apropriadas ou retirada do meio ambiente com segurança. Desse modo muitos estudos estão sendo feitos no sentido de mapear as alterações que essas substâncias causam no organismo humano (FONSECA ,2013).

A falta de condições adequadas de descarte para essas substâncias tem trazido cada vez mais prejuízos a população mundial, assim como os agrotóxicos são lixiviados pelas águas da chuva, os poluentes emergentes também podem se concentrar nos tecidos animais causando problemas a saúde daquele organismo. Alguns estudos confirmam problemas com exposição continuada em mulheres e crianças, assim como problemas neuropsicológicos em estudo com crianças (MOREIRA et al,2002).

Os micropoluentes emergentes são nada mais nada menos que um conjunto de substâncias que tem potencial poluente e que não tem destinação adequada nem formas eficientes de serem separadas. “Micropoluentes emergentes compreendem uma gama de substâncias presentes em medicamentos, desinfetantes, meios de contraste, detergentes, surfactantes, pesticidas, corantes, tintas, conservantes, aditivos alimentares e produtos para cuidados pessoais, que podem ser encontrados em matrizes ambientais como esgoto, corpos receptores, sedimentos, lodo biológico e mesmo em águas de abastecimento”. (SOUZA 2011)

Existem diversos tipos de micropoluentes emergentes que causam inúmeros problemas a saúde humana e ao equilíbrio ambiental; Além de comprometer os vários ciclos animais podem causar doenças degenerativas tanto em animais quanto em pessoas. Um dos casos mais emblemáticos de doenças causadas por micropoluentes é a doença de Minamata; a província de Minamata sofreu com a deposição de mercúrio nos seres vivos inicialmente nos animais como pássaros e gatos e 20 anos mais tarde problemas neurológicos surgiram na população causando óbitos (JUS.COM.BR, 2018). Esses tipos de micropoluentes desregulam o sistema endócrino também podendo levar ao câncer ou deficiência, supressão de hormônios.

Os desreguladores endócrinos são substâncias que tem a capacidade de imitar o efeito de hormônios endógenos fazendo com que não ocorra a síntese dos mesmos e uma desregulação na acepção bem como na síntese de receptores também (SOUZA 2011), pelo fato dos desreguladores serem organelas extremamente compatíveis com os receptores pode ocorrer também a troca do hormônio verdadeiro pelo desregulador; fazendo com que várias funções do

organismo, como as funções hormonais, neurológicas e imunológicas sejam alteradas; fazendo com que a saúde do ser humano esteja cada vez mais fragilizada pelo uso desenfreado de substâncias que são potencializadores a formação desses compostos no ambiente. Existem dois tipos base de ação dos DE's (Desreguladores Endócrinos), são eles:

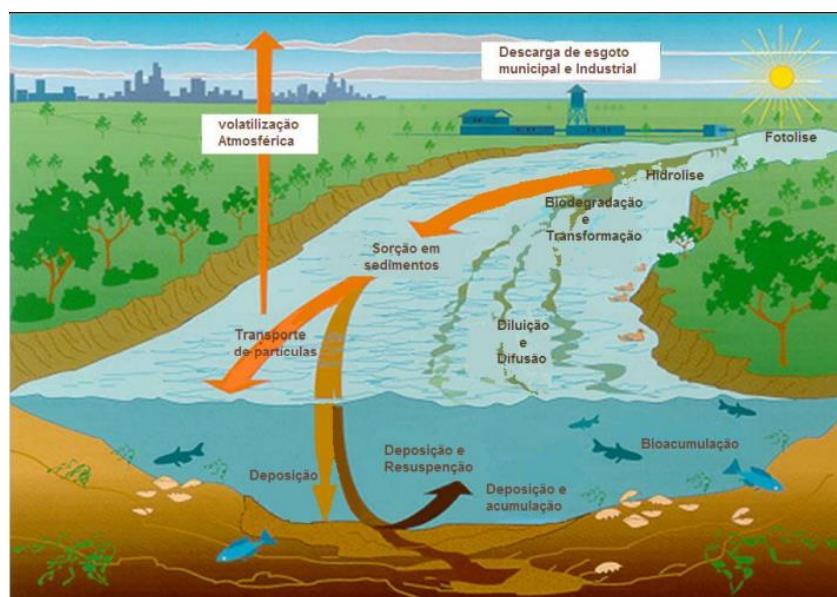
Mimetizadores: Quando o desregulador se acopla ao receptor e funciona como uma espécie de “chave falsa” que desencadeia processos mesmo que de forma errada.

Bloqueadores: São substâncias inanimadas quando estão em contato com o receptor não deixando que a partícula verdadeira cumpra a sua função.

Vários estudos, no entanto, mostram que esses desreguladores estão em forma livre em ETE's e águas residuárias descendentes de esgotos, que confirma que a falta de um tratamento adequado para esse tipo de organela pode ser prejudicial à saúde humana.

Um dos poluentes mais comuns encontrados em Estações de Tratamento de Esgoto após tratamento e polimento é o LAS; o alquilbenzeno linear sulfonato é um dos principais surfactantes que são utilizados na indústria de detergentes atualmente e a importância dos tensoativos se torna indiscutível, porém é necessário fazer a avaliação desses contaminantes no meio ambiente com relação ao tipo de tensoativo e ao seu meio de degradação no meio ambiente (PENTEADO,2006). Na figura 1 pode-se perceber como esses poluentes entram na natureza.

Figura 1- Ciclo dos micropoluentes nos ambientes



Fonte: SOUZA, 2011.

Observando a Figura 1 é importante perceber que a três eixos principais de entrada na natureza, a degradação e bioacumulação em animais aquáticos, deposição e ressuspensão e a

volatilização; em ambos os casos existe uma grande quantidade de poluentes que vão a natureza sem ter o tratamento adequado e podem sofrer com processos físico-químicos se transformando em agentes perigosos como os trihalometanos - clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio (GARCIA, 2018). Desse modo além de observar quais compostos estão presentes no esgoto bruto existem inúmeros outros subprodutos que ocorrem e se intensificam quando estão em contato com a natureza, fontes de água e luz suficiente para desencadear processos de quebra e liberação de formas mais reativas das partículas.

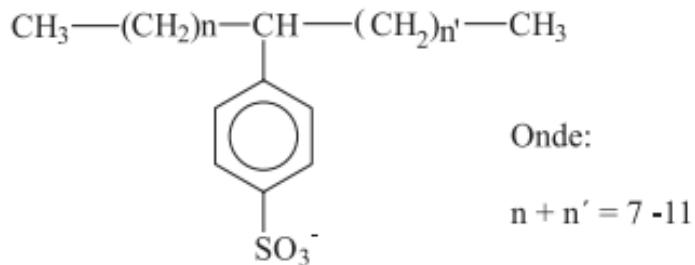
2.2.1 Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS)

O Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS) historicamente tem sua origem do seu precursor Alquilbenzeno Sulfonato (ABS) desenvolvido na década de 40 e largamente utilizado em detergentes pois seu uso em princípio obteve melhores resultados que o sabão convencional, (PENTEADO, 2006).

O grande problema do uso do ABS foi a formação de uma camada densa de espumas nas estações de tratamento de esgoto que dificultam o processo de aeração nas estações de tratamento de esgoto e ainda provocam maior carreamento de poluentes e bactérias ao longo do percurso do tratamento dificultando a limpeza do esgoto, (PENTEADO, 2006).

Logo encontrou-se um surfactante de melhor dissolução, porém de mais difícil remoção nos processos de tratamento convencionais. Além de ser um problema a remoção do LAS em ETE's também existe a intensa poluição ambiental causada pela produção do alquilbenzeno linear sulfonato, ainda segundo Penteado (2006, p. 1039) “a produção do LAS consome mais energia e libera níveis superiores de óxidos de nitrogênio, enxofre e hidrocarbonetos” se comparado ao processo produtivo de sabões convencionais. Na figura 2 é possível perceber como se comporta a estrutura do alquilbenzeno com uma cadeia linear e uma anel aromático com íon sulfato que conferem as características hidrofílica e outra hidrofóbica, o uso dele é problemático para o sistema de esgotamento sanitário ainda hoje.

Figura 2- Esquema molecular do LAS



Fonte: Penteado,2006.

2.3 Os desafios da remoção de LAS em ETEs.

O processo de retirada de micropoluentes se torna complexo por não haver um controle específico na maioria das ETE's; além de serem agentes poluidores com baixa concentração são substâncias com uma grande capacidade de se alojar nos tecidos de animais à medida que são ingeridos (deposição e acumulação); Um estudo em 11 estados brasileiros identificou que com o aumento nas vendas de agrotóxicos a partir de 1985 os seres humanos começaram a apresentar distúrbios reprodutivos, além de mortalidade por câncer sugerindo que a exposição a esses tipos de micropoluentes está associada a distúrbios e doenças na população (KOIFMAN, 2002).

Um método que tem se tornado importante para a remoção de poluentes emergentes, que não são retirados nas etapas de tratamento primário e secundário de esgoto sanitário, fase está do tratamento terciário, onde ocorre o polimento do efluente. A desinfecção por cloração é importante para assegurar que o efluente que está sendo despejado em algum corpo hídrico não tenha microorganismos (bactérias e protozoários); Mesmo com o decaimento dos organismos patogênicos vivos a longo do tratamento do esgoto; o próprio tratamento não tem como fazer a retirada de toda matéria orgânica e substâncias que surgem no mercado; A quantidade de subsâncias descobertas do início do século 18 aos dias atuais tem cada vez mais trazido entraves ao tratamento de esgoto sanitário, trazendo mais poluição ao meio ambiente e como os micropoluentes são considerados partículas que não tem destinação ou tratamento adequado os dados ainda não são totalmente conhecidos.

A importância necessária para o estudo de LAS (Alquibenzeno Linear Sulfonato) no tratamento de efluentes se resume ao fato de que não é sabido a concentração desse micropoluente que está sendo depositado nos leitos onde se descarta as águas residuárias e se sabido não se conhecem os dados potenciais, levando em consideração que esse tipo de micropoluente é uma base cancerígena aos seres humanos e que causa distúrbios animais. A exposição humana a micropoluentes pode afetar o sistema endócrino podendo ser capaz de causar hipo/hipertireoidismo, diabetes, tumores e outras doenças (ALVES,2016).

O LAS é largamente utilizado na indústria por se tratar de um tensoativo aniónico, que é muito usado em indústrias de limpeza, pois a função do tensoativo é permitir que algum tipo de substância tenha sua tensão superficial quebrada fazendo assim com que a substância possa ser “partida” em partículas de menor tamanho provocando eficiência para detergentes por exemplo.

2.4 Desinfecção de esgotos sanitários para degradação de LAS

O processo de desinfecção é o meio pelo qual se retira de algum meio formas vegetativas que possam fornecer algum malefício a saúde humana no âmbito da limpeza de resíduos orgânicos como os esgotos; desse modo o processo de cloração faz a retirada desses compostos; por meio da adição de cloro (Cl) no esgoto para que seja neutralizado os organismos patogênicos que estão ainda no meio após os processos anteriores a desinfecção, sendo o cloro livre o de maior eficácia, por meio desses as formas vivas são inativadas podendo assim a água residuária ser encaminhada ao local adequado para que seja depositada. Assim como em estudos como de Souza (2006) o cloro livre em contato com a matéria orgânica se combinou e teve baixa capacidade de inativação dos microorganismos *E. coli*, cílifagos e *C. perfringens*.

Segundo DANIEL (2001) “Todos os agentes químicos utilizados para a desinfecção tem a função precípua de controlar doenças de veiculação hídrica e inativar organismos patogênicos na potabilização das águas”; desse modo se faz importante avaliar como esse processo está surtindo efeito em compostos de origem industrial e farmacológica, e que oferecem resistência para retirada do meio em esgotos sanitários. Apesar dos incentivos com o uso de novas medidas de tratamento que retenham ou oxidem a matéria orgânica de forma melhor e mais eficiente há diversas demandas que aparecem como é o caso do SARS- CoV-2 que é um desafio para os

diversos órgãos regulamentadores pois não é possível identificar de forma clara os locais de contribuição que dependem de diferentes variáveis inclusive a remoção da carga viral no esgotamento sanitário (CETESB, 2020).

Por esse motivo avalia-se em alguns estudos que a desinfecção de esgotos nas lagoas de polimento onde existe esse tipo de tratamento do esgoto se torna muito mais livre de vírus, bactérias e agentes que possam ser prejudiciais à saúde humana e animal. Já para o LAS que é um dos agentes onde se percebe mudanças em seu padrão de comportamento em contato com os diferentes tipos de cloro encontrados no mercado, apesar de não se avaliar os efeitos causados desse polimento na formação de novos compostos. Além disso pode-se avaliar diferentes efeitos para diferentes tipos de hipoclorito usado.

Existem outros tipos de extração ou inativação de micropoluentes que já se encontram em estudo como o uso de feixe de elétrons para que ocorra a redução da toxicidade dos compostos de LAS como a radiação que se mostra extremamente eficaz.

2.5 Cloração por hipoclorito de sódio in loco.

O processo de desinfecção é importante para que todos os microrganismos que são prejudiciais à saúde humana possam ser inativados ou eliminados; com o uso de substâncias como o hipoclorito de sódio, pode-se inativar essas substâncias que se encontram em grandes quantidades nos esgotos do Brasil; no caso especial dos micropoluentes emergentes são citados na literatura inúmeros tipos de micropoluentes que surgem cada vez mais em maior quantidade nos esgotos das ETE's. Entre os micropoluentes emergentes encontrados em estações de tratamento de esgoto (ETE's) temos 2,4,6-triclorofenol, pentaclorofenol, cafeína, dipirona, diclofenaco de sódio e alquilbenzeno linear sulfonato. Nesse âmbito se faz necessário avaliar se o processo de desinfecção por cloração pode fazer a retirada desses ME (micropoluentes) para que as águas residuárias que são originadas do tratamento de esgotos estejam aptas a voltar para natureza sem que haja maiores danos.

O uso do hipoclorito de sódio in loco é o meio pelo qual pode-se fazer realizar a oxidação do Alquilbenzeno Linear Sulfonato, esse produto é obtido através da eletrolise de uma salmoura contendo água e sal comercial. A salmoura irá passar por uma célula com um catodo e anodo

que produz uma diferença de potencial fazendo com que a reação de dissociação do cloro ocorra transformando o cloro combinado em cloro livre aquoso.

2.5.1 Hipoclorito de sódio in loco e suas características

O hipoclorito de sódio é um material que tem origem corrosiva e que é usado para o polimento dos efluentes finais das estações de tratamento de esgoto; sua utilização se disseminou a partir da descoberta do poder do cloro em fazer a inativação de bactérias e potenciais corpos que sejam prejudiciais a qualidade, saúde e vida dos seres vivos.

Por meio de avaliação em massa é possível avaliar o a predominância do material desejado para o caso já que a produção in loco pode gerar outros subprodutos que podem não ser desejáveis para o estudo como peróxido de hidrogênio.

O material utilizado para a solução é previamente diluído para a composição adequada e após isso entra em contato por um tempo determinado; a seguir podemos observar a concentração do hipoclorito que será abordado nesse estudo na tabela 1:

Tabela 1: Hipoclorito de sódio in loco e teor de cloro.

Hipoclorito	Teor de cloro ativo
Hipoclorito de sódio in loco	0,65%

Fonte: O autor (2022).

De acordo com essa pureza e teor pode-se gerar concentrações adequadas para que sejam realizados os dados de bancada. O processo de polimento atualmente é largamente utilizado para que se faça a desinfecção do esgoto domiciliar, porém não existem estudos mais aprofundados que comprovem a sua eficácia para retirada de LAS já que esses mesmos têm um alto teor atualmente nos esgotos e se não observados atentamente podem se tornar um potencial problema de saúde pública.

O cloro como tratamento de efluentes é um importante aliado pois seus compostos são fortes agentes oxidantes, geralmente a sua reatividade aumenta com o aumento do pH e a velocidade de reação aumenta com o aumento da temperatura. O mecanismo de desinfecção do cloro está ligado ao ácido hipocloroso formado na interação do hipoclorito de sódio com o

meio aquoso, esse ácido é um importante agente na reação com a enzima triosefósfato dihidrogenase, importante para o metabolismo celular, causando assim a desinfecção por bactérias (MEYER,1994).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da ETE Mangueira

Para que seja feita a análise foi avaliada a desinfecção por cloração de esgoto sanitário tratado coletado na ETE Mangueira localizada no Sudoeste do município de Recife. A ETE Mangueira atende os bairros Mangueira, Mustardinha e Bongi.

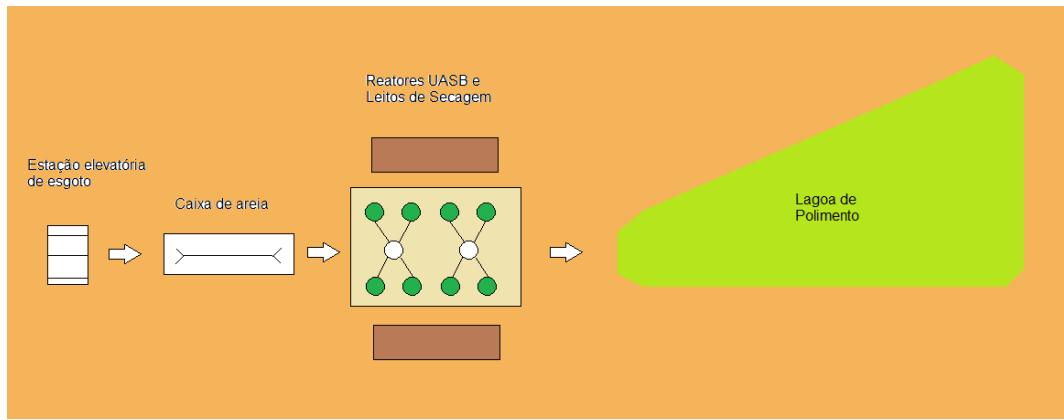
3.1.1 Caracterização da amostragem na ETE mangueira

A ETE Mangueira tem em seu processo de tratamento do esgoto em 5 passos, são eles listados abaixo:

- Grade de barras: Esses dispositivos são para auxílio de retiradas de grandes materiais ou volumes que são descartados junto aos esgotos.
- Desarenador: O desarenador tem como utilidade a retirada excessiva de areia que vem sendo arrastada ao longo da tubulação de esgoto. Geralmente usado quando ocorre transporte excessivo de sólidos ao longo do trajeto do dejeto.
- Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente: Dispositivo para estabilização de matéria orgânica, nele existe elevada atividade microbiana que fará com que a matéria orgânica possa ser inativada.
- Leitos de secagem de lodos: São locais onde o lodo residual do reator UASB pode ser secado e transformasse em material para destinação adequada.
- Lagoa de Polimento: São os locais onde ocorre a desinfecção no processo final da ETE e é nesse local onde interessa ao estudo concentrar-se pois aqui ocorre a cloração para que a água residuária seja descarregada.

Abaixo segue um desenho em planta baixa esquemático da ETE mangueira na figura 3:

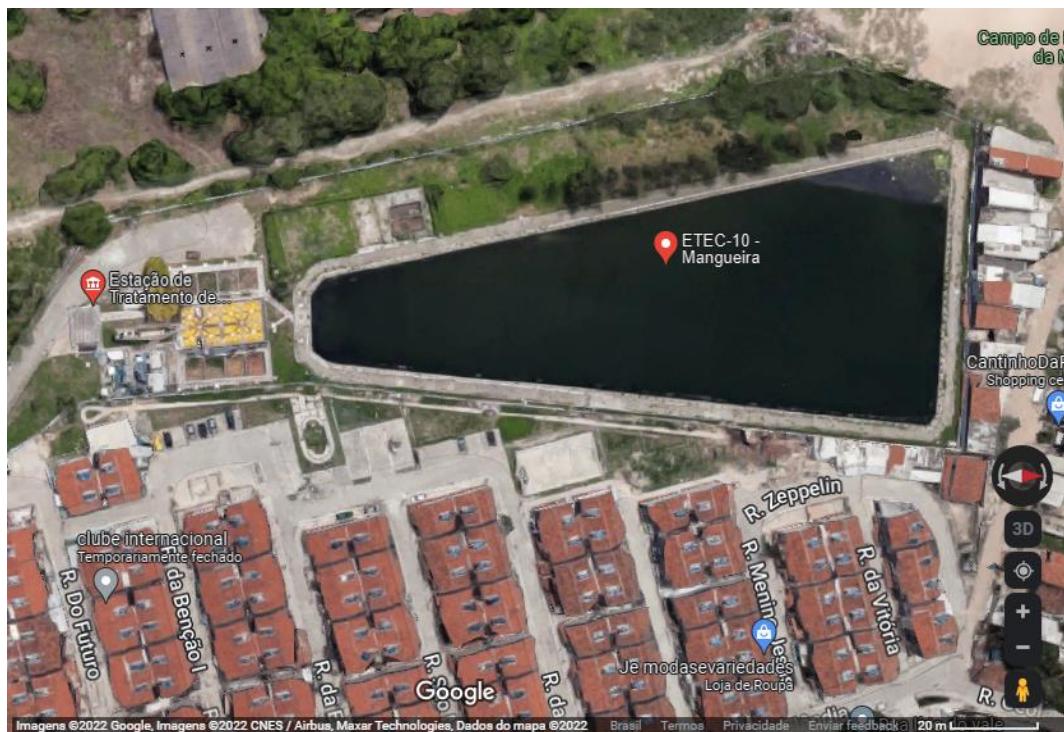
Figura 3: Esquema de estação de tratamento de esgoto ETE Mangueira.



Fonte: O autor (2022).

O ponto de coleta para as análises foi no final do reator UASB, após a coleta é necessária uma filtração das amostras que é feita em uma espécie de filtro de gravidade onde existe carvão além de diversas granulometrias de brita para que a amostra não sofra nas análises com a interferência de material particulado muito grande.

Figura 4: Vista Aérea da ETE Mangueira



Fonte: Google Maps (2022).

3.1.2 Caracterização físico-químicas do esgoto da ETE mangueira

A ETE Mangueira possui as seguintes características físico-químicas apresentadas na tabela 2:

Tabela 2: Análise de parâmetros físico-químicos em esgoto filtrado

Parâmetro	Resultado	Unidade de medida
Temperatura	29,700	° C
pH	6,550	-
Condutividade Elétrica	0,390	-
Nitrito	0,001	-
NTK	8,360	mL
Nitrogênio Amoniacal	6,180	mL
DQO	0,004	ABS
Potencial Redox	55,100	-

Fonte: O autor (2022).

Assim como mostra a tabela 2 podemos observar a temperatura de retirada da amostra e seus parâmetros naturais na ETE mangueira, ou seja, esgoto filtrado proveniente de esgoto bruto quando está se encaminhando a estação de tratamento. Desse modo podemos perceber que além de um pH próximo da neutralidade temos uma carga de NTK (soma das formas amoniacal e orgânica no esgoto filtrado) considerável para estudo. A condutividade elétrica, que em suma é um indicativo bastante forte de que naquele meio existem sais demonstra que o meio tem também grande potencial de ser uma fonte de nutrientes (matéria orgânica) e que deve ser tratada de forma adequada.

Sólidos suspensos e totais em amostra filtrada

O procedimento de obtenção da quantidade de sólidos totais se faz necessário pois a quantidade de sólidos é um indicativo da quantidade de matéria orgânica que existe naquele meio e é para efeito de estudo um bom parâmetro para descobrir qual o nível de degradação daquela solução, além de um fator importante para a amostra analisada que diz respeito a inativação do cloro pela quantidade de sólidos, desativando assim sua ação oxidante.

Sólidos suspensos – Esgoto Filtrado

O procedimento de ensaio baseia-se basicamente em fazer a medida (pesar) a membrana de fibra de vidro $1,2\mu\text{m}$ depois de filtrada com água deionizada e seca em estufa e dessecador (P1), após isso, no aparelho de filtração, filtra-se 100 ml da amostra e a mesma será novamente secada em estufa e na mufla e após total secagem se faz a pesagem (P2), colocar novamente na mufla por quinze minutos e retirar (P3), com isso pode-se obter o valor de sólidos suspensos totais.

Abaixo podemos observar os resultados encontrados na tabela 3:

Tabela 3: Resultados de sólidos suspensos

Sólidos Suspensos	Unidade (mg/L)
Sólidos suspensos totais (mg SST/L)	121,00
Sólidos suspensos fixos (mg SSF/L)	82,00
Sólidos suspensos voláteis (mg SSV/L)	39,00

Fonte: O autor (2022).

O método gravimétrico pode ser utilizado para que seja encontrados os valores de sólidos totais, fixos e voláteis da amostra.

Sólidos suspensos totais (SST):

$$mg\ SST/L = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000 \times 1000}{VOL\ A} \quad (1)$$

Sólidos suspensos fixos (SSF):

$$mg\ SSF/L = \frac{(P_3 - P_1) \times 1000 \times 1000}{VOL\ A} \quad (2)$$

Sólidos suspensos voláteis (SSV):

$$mg\ SSV/L = \frac{(P_2 - P_3) \times 1000 \times 1000}{VOL\ A} \quad (3)$$

Sólidos totais – Esgoto Filtrado

Através do método gravimétrico é feita a pesagem dos sólidos totais em uma determinada amostra, esse tipo de procedimento é feito de maneira análoga ao método de sólidos suspensos, dispensando- se assim o uso da fibra de vidro colocada na capsula de porcelana, e do mesmo modo deve ser feita a pesagem dos sólidos, mas para a segunda pesagem é necessário levar a cápsula ao banho maria até que 98% do volume da amostra tenha sido reduzido.

Abaixo também podemos observar os resultados encontrados na tabela 4:

Tabela 4: Resultados de sólidos totais.

Sólidos Totais	Unidade (g)
Sólidos totais (mg ST/L)	770,00
Sólidos totais fixos (mg SSF/L)	491,00
Sólidos totais voláteis (mg SSV/L)	279,00

Fonte: O autor (2022).

Pelo método gravimétrico são encontrados os valores de sólidos totais, fixos e voláteis respectivamente.

Sólidos totais (ST):

$$mg\ ST/L = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000 \times 1000}{VOL\ A} \quad (4)$$

Sólidos totais fixos (STF):

$$mg\ STF/L = \frac{(P_3 - P_1) \times 1000 \times 1000}{VOL\ A} \quad (5)$$

Sólidos totais voláteis:

$$mg\ STV/L = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000 \times 1000}{VOL\ A} \quad (6)$$

NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) – Esgoto Filtrado

O procedimento para conseguir o valor de nitrogênio total da amostra consiste em com uma pipeta volumétrica transferir 100 mL da amostra para cubeta de macro digestão e acrescentar sulfato de potássio ou cobre e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado; colocá-la no digestor e elevar temperatura até 350 °C deixando o volume reduzir a 10 mL com coloração verde ou azul claro, ou continuar a digestão até obter a coloração, retirar e deixar esfriar. Depois

desse procedimento colocar a cubeta em um destilador com um Erlenmeyer contendo ácido bórico e indicador misto, na cubeta adicionar hidróxido de sódio 40%, a coloração ficará preta e espera-se até o conteúdo do Erlenmeyer dobrar de volume, fazendo-se assim a titulação com ácido sulfúrico 0,02 N e com os valores encontrados entrar na fórmula abaixo:

$$mg\ N-NTK/L = \frac{(A-B) \times N \times F \times 1000 \times 14}{VOL\ da\ amostra} \quad (7)$$

A= volume de ácido sulfúrico necessário para titulação da amostra

B = volume de ácido sulfúrico necessário para titulação do branco.

N = Normalidade do ácido sulfúrico.

14 = molaridade do nitrogênio

F= fator de correção da solução de ácido sulfúrico 0,02N.

O valor encontrado para a concentração de NTK na amostra foi de 25,608 mg N-NTK/L.

Nitrogênio Amoniacal – Esgoto Filtrado

O nitrogênio amoniacal na amostra é obtido através dos procedimentos listados. Transfere-se 100 mL da amostra para cubeta de macro digestão, acrescentando-se 12,5 mL de tampão borato ou fosfato. E para o branco se faz o mesmo procedimento com água deionizada; com a pipeta volumétrica coloca-se 25 mL de ácido bórico contendo indicador misto em um Erlenmeyer colocá-los no destilador e o procedimento apenas acaba quando a solução no Erlenmeyer dobrar de volume, após isso é necessário fazer a titulação e anotar o valor e com a fórmula abaixo é possível descobrir a concentração de amônia em mg /L, que tem um valor de 17,304 mg/L.

$$mg\ N-NTK/L = \frac{(A-B) \times N \times 1000 \times 14}{VOL\ da\ amostra} \quad (8)$$

Onde:

A= volume de ácido sulfúrico necessário para titulação da amostra

B = volume de ácido sulfúrico necessário para titulação do branco.

N = Normalidade do ácido sulfúrico.

14 = molaridade do nitrogênio

DQO – Esgoto Filtrado

Para determinar a concentração de oxigênio na amostra (DQO), necessário transferir para tubos lavados com ácido sulfúrico 30% 2 mL de amostra para cubeta com tampa rosqueada e em seguida adicionar 0,5 mL de dicromato de potássio 0,25N e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado colocando a amostra em um bloco digestor por 2 horas e após o resfriamento fazer a limpeza do tubo com álcool e leitura no espectrofotômetro substituindo a leitura em ABS na curva de calibração indicada abaixo:

$$Y = 1994X - 1,4875 \quad (9)$$

O valor encontrado foi de 6,488 mg/L.

O que a princípio é necessário analisar são a quantidade de NTK na amostra que diminui pois a quantidade de matéria orgânica diminui com a filtragem além da demanda bioquímica de oxigênio ou DQO; que nada mais é do que a quantidade de oxigênio que as substâncias orgânicas oxidam no meio em que estão, o método utilizado para a obtenção desse parâmetro é o método da absorbância que é a passagem de feixes de luz através da amostra; a medida foi feita com um espectrofotômetro e percebesse a quantidade absorvida na amostra não filtrada é muito maior com relação ao esgoto bruto. O método utilizado para avaliar a medida de DQO foi a leitura no espectrofotômetro que exprime a medida em absorbância e quanto maior a absorbância do meio menor será a transmitância fazendo com que a medida de DQO se eleve.

O uso desses indicadores e parâmetros físico-químicos são de extrema importância pois a interação com o meio desses elementos orgânicos e inorgânicos tem consequências no ecossistema, como decomposição de microrganismos; e essas mudanças são causadas pelas atividades humanas como agricultura indústria e meio urbano (EMBRAPA,2011).

3.2 Configuração do ensaio de jarros (Jar test)

3.2.1 Ensaio de Jarros e sua utilidade.

O ensaio de jarros ou jar test como é mais conhecido é amplamente utilizado para avaliar a quantidade necessária de componente para que ocorra desinfecção eficiente em Estações de Tratamento de Esgoto; nele é possível entender como o oxidante se comporta frente a solução podendo prever os tipos de oxidantes que serão mais eficazes na situação em específico; quais as variações de concentração trarão melhores resultados e o tempo de contato necessário para que ocorra a desinfecção total daquela quantidade amostrada.

O ensaio é feito por meio de um equipamento de *jar test* onde cada jarro específico gera em laboratório uma condição isolada e específica; ou seja, em um teste pode-se conseguir resultados de até 6 parâmetros diferentes com diferentes coagulantes/oxidantes com diferentes concentrações por um tempo determinado, essa desinfecção se dá por meio de agitação mecânica e posterior observação das amostras.

O teste consiste em etapas de preparo e realização que serão listadas abaixo:

ETAPA 1- Estudos Preliminares

Nele é necessário entender por meio de dados de bancada quais são as melhores concentrações para a solução;

- I- Para isso é necessário escolher os oxidantes que devem ser utilizados, as variações de concentração e tempo de contato adequado.
- II- O tipo de oxidante usado no experimento foi o hipoclorito de sódio gerado *in loco*.
- III- Os tempos de contato escolhido para cada solução são 10, 20 e 30 min para que ocorra a desinfecção.
- IV- As concentrações utilizadas para cada tempo de contato para os do oxidante foi de 5, 10 e 15 ppm.

ETAPA 2 – Execução do ensaio

Após a filtração simples da amostra se faz a separação e concentração; são colocados em cada jarro uma quantidade de solução filtrada com seus respectivos oxidantes e; esse equipamento é dotado de paletas de rotação que farão a função de agitadores para que possa

ocorrer a desinfecção. Existem dois tipos de mistura nesse tipo de equipamento que trabalha por meio de um gradiente de velocidade pré-estabelecido ao fazer a utilização do aparelho, a mistura rápida que geralmente é utilizada para que ocorra a coagulação em determinada amostra e é extremamente utilizada em estações de tratamento de água para retirada de impurezas que possam vir a formar flocos e a agitação lenta que ajuda na formação desses flocos, o equipamento ainda é acoplado a um sistema de descarregamento simultâneos dos fluidos para que não haja interferência nos tempos de contato; esse mecanismo permite que sejam eliminados erros inerentes aos processos intrínsecos ao teste. A Seguir na figura 5 pode ser observado foto do equipamento.

Figura 5- Aparelho Jar test para procedimento de desinfecção do esgoto.



Fonte: O autor, 2022.

Um dos principais motivos do *jar test* ser utilizado para o tratamento de esgoto e água é que ele promove uma maior economia com relação aos gastos de substâncias necessárias a desinfecção daquela amostra; o controle com o qual se tem as quantidades e tempo necessário para determinadas possibilidades é um evento rotineiro nas estações de tratamento; utilizando-se desse tipo de ensaio o químico encarregado pode observar mudanças de parâmetros e de padrões ao longo do tempo. São colocados no equipamento 1 litro de amostra filtrada para que

seja desinfetado o esgoto com os tempos de concentração de 10,20 e 30 minutos com concentrações diferentes.

3.2.1.1 Tipo de Oxidante

O oxidante utilizado para que o procedimento pudesse ser realizado foi o hipoclorito de sódio gerado *in loco*. O oxidante pode ser calculado para ser colocado em solução pela seguinte fórmula onde podemos encontrar a eficiência do desinfetante.

$$k = c^n \times t \quad (10)$$

K= Concentração da substância desinfetante;

t= tempo de contato para inativação;

n= Coeficiente de diluição;

K = coeficiente de eficiência.

Abaixo seguem os tipos de desinfetantes usados para o que seja realizado o ensaio e suas concentrações além de quantidades utilizadas na tabela 5.

Tabela 5: Concentração das amostras de hipoclorito de sódio in loco.

Hipoclorito de sódio in loco (denominação)	Concentração (ppm – mg/L de solução)
5I.1, 5I.2 e 5I.3	5 ppm
10I.1, 10I.2 e 10I.3	10 ppm
15I.1, 15I.2 e 15I.3	15 ppm

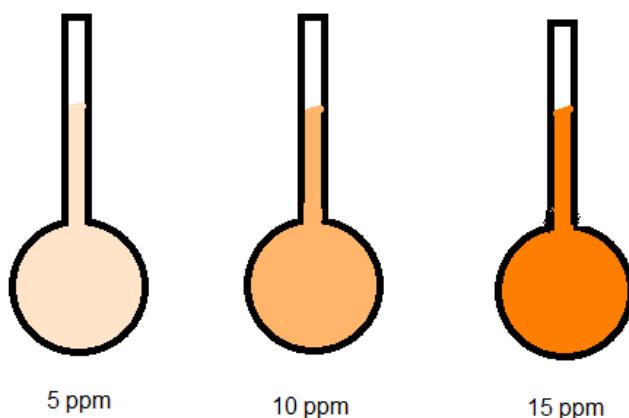
Fonte: O autor (2022).

3.2.1.2 Variação de concentração de oxidantes nas amostras

A reação química associada a desinfecção das Estações de Tratamento de Esgoto são reações de oxidação pois o agente que degrada (inativa) a matéria orgânica/patógenos na solução é o Cloro (Cl), como o elemento puro é encontrado em forma de gás usam-se associações do mesmo em concentrações estabelecidas comercialmente.

No caso em questão foram utilizados para os dados de bancada em 3 concentrações para desinfecção, ou seja, para cada amostra que foi separada foram utilizados 5 mg/L, 10 mg/L e 15 mg/L em concentração de hipoclorito de sódio assim pode-se entender por meio do desenho esquemático abaixo a quantidade de pontos observados:

Figura 6- Esquema de concentração de hipoclorito por jarro.



Fonte: O autor, 2022

3.2.1.3 Tempo de contato

O tempo de contato de um oxidante com uma amostra é um importante parâmetro para análise da eficiência de degradação da matéria orgânica e oxidação completa; para isso é necessário que seja feita a escolha do tempo de acordo com a FISPQ de cada oxidante específico; onde o comerciante expressa o tempo mínimo para desinfecção. É importante entender que o processo de desinfecção/polimento de uma ETE envolve processos tanto físicos quanto químicos e que o tempo de contato é apenas um dos parâmetros utilizados para a análise, espera-se que quanto maior o tempo de contato para a amostra maior será a eficiência da solução oxidante. Bem como a utilização do tempo mínimo para desinfecção prescrito na FISPQ (Ficha de Segurança de Produtos Químicos) tem-se 3 tempos de contato diferentes, 10,20 e 30 min.

3.2.1.4 Princípio da geração de hipoclorito de sódio in loco

A geração de hipoclorito de sódio in loco é feita por um equipamento gerador de cloro estático capaz de gerar o mesmo a partir de uma salmoura; desse modo é muito mais fácil para o consumidor ter o insumo necessário a utilização; isso se deve ao fato de não ser necessário custo com transporte e armazenamento do mesmo. O dispositivo é composto pelas partes mencionadas abaixo:

- I- Saturador de sal
- II- Recipiente com água
- III- Pós decantador
- IV- Fonte de corrente

Com esses componentes o equipamento consegue por meio de diferença de potencial quebrar as partículas promovendo a dissociação do cloreto de sódio que estava na salmoura; por meio de associação transformar-se em hipoclorito de sódio por meio e eletrólise, assim é possível conseguir o hipoclorito de sódio com concentração em média de 0,65% de cloro ativo, essa solução ainda contém em sua composição peróxido de hidrogênio e ozônio, que são ativos gerados na produção através da salmoura.

3.3 Análises físico-químicas – Avaliação de LAS

3.3.1 Concentração das amostras

Foi necessário a concentração das amostras pois os micropoluentes aparecem em pequenas concentrações nas amostras; se não realizada essa concentração pode não haver leitura adequada ou o cromatógrafo pode não conseguir realizar a separação, pois como a quantidade de agentes poluidores que são os micropoluentes é tão baixa que apenas com a concentração é possível fazê-la. As amostras foram concentradas em 30 vezes para obter um melhor parâmetro desse modo pode-se avaliar o efeito da degradação do LAS. As amostras desinfectadas com o hipoclorito de sódio *in loco* citado acima serão utilizadas em concentrações e tempos diferentes.

Além das amostras cloradas foi feita a leitura do LAS para a amostra bruta, pois a partir dela é possível encontrar o quanto efetivamente foi retirado do micropoluente de estudo.

O concentrador de amostras baseia-se no princípio da secagem da amostra, assim concentrando-a mais e melhor para posterior análise; esse procedimento em média tende a durar 30 min. Na figura 7 está foto do concentrador utilizado:

Figura 7- Concentrador de Amostras.



Fonte: O autor, 2022

3.3.2 Método Cromatográfico

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

A Medo logia usada para a quantificação de LAS é uma adaptação de SILVA (2017) e o método utilizado para o presente trabalho foi a injeção direta, para tal foi necessário que as amostras fossem concentradas em evaporador centrífugo SP Scientific GeneVac EZ-2.3 Elite por 30 vezes e após isso foi adicionado 1mL de uma solução metanol/água (1:1); passou-se por um filtro de acetato de celulose de 0,2 μm de porosidade com o auxílio de uma seringa. Posteriormente colocado em um vail identificado e injetar no HPLC.

Abaixo segue foto do cromatógrafo utilizado na figura 8:

Figura 8- Cromatógrafo



Fonte: O autor, 2022.

Com as amostras concentradas obteve-se os seguintes resultados para a mostras brutas mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Leitura HPLC dos homólogos de LAS encontrados na amostra bruta.

Amostra	Leitura (mg/L)	(Leitura mg/L /30)
C10	9,741	0,325
C11	24,429	0,814
C12	12,919	0,431
C13	3,543	0,118

Fonte: O autor (2022).

As frações apresentadas acima são homólogos do Alquibenzeno Linear Sulfonato, ou seja, são as frações que ocorrem com o mesmo no processo de degradação. Por exemplo: O C11 é o homólogo do LAS, que constitui sua cadeia de moléculas e constitui uma parte do

tensoativo que pode ficar livre na natureza junto aos seus homólogos por esse motivo o estudo do LAS com processos oxidativos podem gerar reações e subprodutos indesejados.

Agora serão avaliados qualitativamente e quantitativamente 2 amostragens para que possa ser posteriormente analisado o resultado dos métodos, no caso em questão está a amostragem 10I.5 (tempo de contato de 10 min com hipoclorito de sódio e 5 ppm em concentração) com todos os seus pontos (triplicata) para o homólogo do LAS C10, como mostra a tabela 7:

Tabela 7 : Leitura HPLC para concentração 5ppm e homólogos do LAS C10.

Amostra	Concentração	C10				Desvio Padrão
		-	(ppm)	mg/L	mg/L	
10C 5.1				0,143	0,005	98,533
10C 5.2	5			0,052	0,002	99,468
10C 5.3				0,046	0,002	99,527

Fonte: O autor (2022).

Para o caso em questão a concentração na amostra de hipoclorito é de 5 ppm, e o tempo de contato de 10 min, após passar por concentração e leitura hplc encontram-se os valores listados na coluna 3, esse valor é corrigido e após isso utiliza-se de avaliação da amostra com os homólogos encontrados com relação a amostra bruta para encontrar-se a quantidade expressa em mg/L e daí também pode ser retirada a média de aparição daquele homólogo retirado o valor encontrado na amostra bruta, ou seja o valor restante para aquele tempo de contato.

Para o segundo exemplo observa-se para a mesma amostragem e para tempo de contato e concentração encontramos o homólogo C11, como demonstra a tabela 8.

Tabela 8: Leitura HPLC para concentração 5ppm e homólogos do LAS C11.

Amostra	Concentração	C11				Desvio Padrão
		-	(ppm)	mg/L	mg/L	
10I 5.1				1,193	0,004	95,115
10I 5.2	5			1,225	0,004	94,985
10I 5.3				0,854	0,003	96,503

Fonte: O autor (2022).

Observa-se que para a mesma concentração o cromatógrafo encontrou homólogos de C11 em proporções maiores que as encontradas na tabela anterior e com relação a amostra bruta de LAS; assim com os valores das amostras para o hipoclorito de sódio gerado *in loco* podem ser avaliadas algumas propriedades e predisposições dos resultados, nelas podem ser encontradas também a porcentagem de oxidação e avaliados os fatores limitantes na retirada do LAS (oxidação) em resíduo de esgoto doméstico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados das Análises laboratoriais amostra bruta.

A leitura em HPLC resultou em dados de retirada de LAS tanto para as amostras brutas quanto para as amostras desinfectadas nas diferentes concentrações e diferentes tempos de contato.

O primeiro experimento feito partiu da amostra bruta, para isso foram realizadas a concentração da amostra e logo foram colocados, após a preparação adequada, no cromatógrafo para separação de fases e verificação da quantidade em massa de cada homólogo constituinte do LAS, a partir das análises é notaria a quantidade de C11 que foi mais encontrada em relação ao esgoto bruto, ou seja, para a amostra sem desinfecção o maior percentual encontrado foi de C11; assim como se pode perceber na tabela 9:

Tabela 9: Concentração de LAS antes da desinfecção.

Isótopo retido	C10	C11	C12	C13
Concentração(mg/L)	0,325	0,814	0,431	0,118

Fonte: O autor (2022).

Os homólogos encontrados na faixa de detecção foram muito maiores em C11, ou entre os homólogos de C10 e C12. A quantidade total de LAS encontrada foi de 1,688 mg/L de amostra analisada.

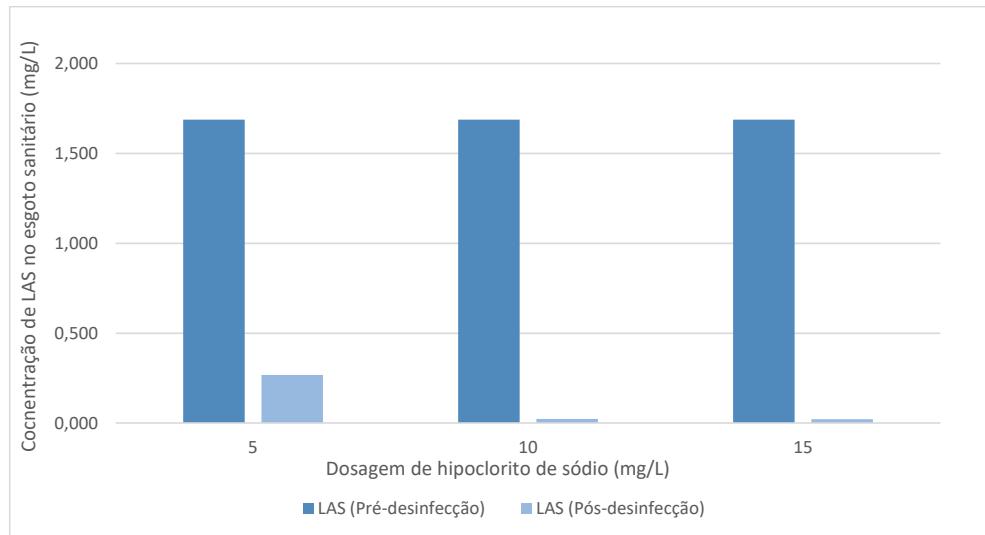
4.2 Análise comparativa

Para os diferentes tipos homólogos lidos no método HPLC existem diferentes condições para retirada mais eficiente dependendo da substância escolhida para analise os homólogos aparecem em tempos específicos na leitura e a cada faixa de tempo são atribuídos diferentes homólogos, os predominantes no LAS são C10, C11, C12 e C13.

e os gráficos abaixo têm como finalidade avaliar em qual tempo de concentração de hipoclorito de sódio o material se mostrou mais eficiente na remoção de LAS, para isso foram feitos 3 gráficos distintos; onde cada um representa a concentração relativa de LAS que foi

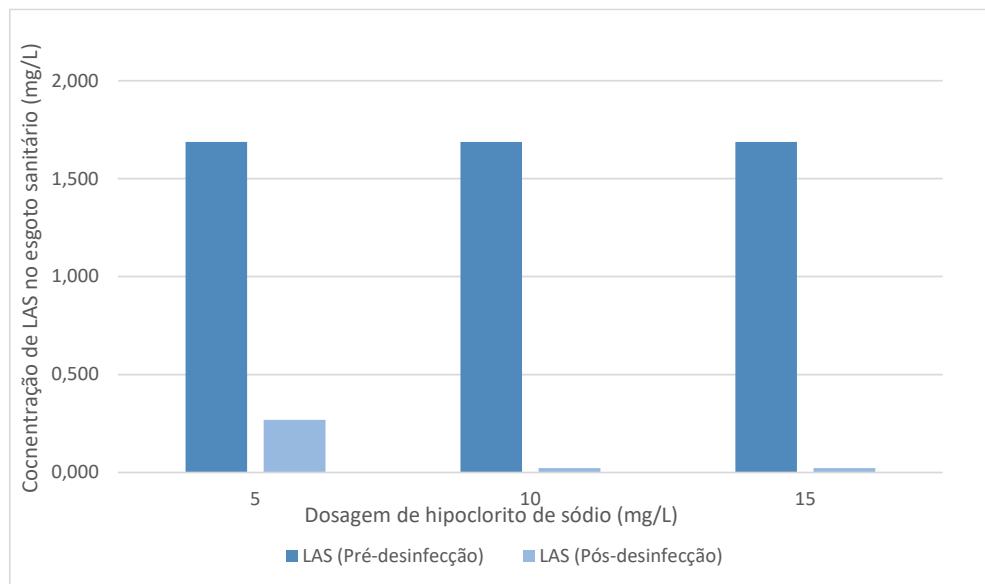
encontrado na amostra, além do comparativo geral. Nesses gráficos pode-se perceber o que ocorre quando são variados tempos de contato e concentração de oxidante para remoção de LAS:

Gráfico 1 – Eficiência de oxidação do LAS t = 10 min.



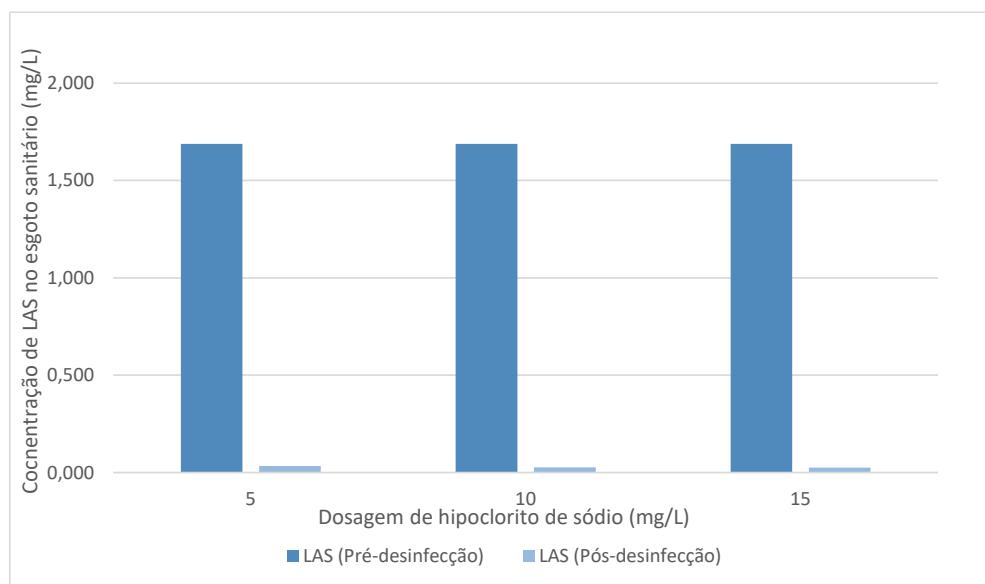
Fonte: O autor (2022).

Gráfico 2 – Eficiência de oxidação do LAS t = 20 min.



Fonte: O autor (2022).

Gráfico 3 – Eficiência de oxidação do LAS $t = 30\text{ min}$.



Fonte: O autor (2022).

O gráfico 3 mostra um resultado geral frente as diversas frações e estudos que podem ser avaliados para o hipoclorito de sódio produzido por eletrólise. Nesse estudo foi possível fazer uma avaliação de bancada em estrutura controlada do que ocorre com a quantidade de LAS retida do esgoto com a amostra bruta e com a amostra já polida com o hipoclorito gerado in loco através da eletrólise.

Do total oxidado a análise que se faz pertinente é que para maiores concentrações presentes de LAS na amostra teremos um tempo de contato menor necessário para que o LAS seja totalmente oxidado, logo quanto maior o tempo de desinfecção da amostra melhor seria a oxidação do LAS; desse modo a diminuição percentual de LAS nas amostras estudadas para o tempo no universo estudado entre 30 min e 10 min que é o mínimo de contato necessário para oxidação foi de 69% esse valor foi retirado entre a amostra que mais oxidou LAS e a que menos oxidou; respectivamente 30 min e 5 ppm e 20 min e 5 ppm; observando ponto a ponto do experimento em triplicata. para uma avaliação melhor é possível agrupar e retirar a média dos ensaios, desse modo a taxa cai para mais que 12 % para o mesmo campo estudado. Indicando assim que em média tempos de contato maiores podem fazer com que haja um aumento da oxidação do LAS em 12%.

Como o LAS é uma mistura de homólogos e isômeros onde predominam entre esses homólogos os padrões encontrados C10, C11, C12 e C13; tendo o mesmo inúmeras bases de

cadeia carbônica que podem se ligar a outros compostos se transformando em outro tipo de substâncias mais agressivas; logo se a quantidade desse material é dispersa na natureza em menores quantidades será mais fácil ao meio receber essa substância que inevitavelmente vem a ser depositada. Na tabela 10 pode-se perceber um resumo do que ocorre com a eficiência de oxidação e a concentração do tensoativo na amostra já desinfectada em comparação com a amostra bruta.

Tabela 10: Eficiência de oxidação do LAS.

Tempo de contato (min)	10		
Concentração do oxidantes (mg/L)	5	10	15
LAS (Pré-desinfecção)	1,688	1,688	1,688
LAS (Pós-desinfecção)	0,267	0,024	0,022
Eficiência de remoção (%)	84,169	98,595	98,711
Tempo de contato (min)	20		
Concentração do oxidantes (mg/L)	5	10	15
LAS (Pré-desinfecção)	1,688	1,688	1,688
LAS (Pós-desinfecção)	0,269	0,022	0,023
Eficiência de remoção (%)	84,055	98,702	98,642
Tempo de contato (min)	30		
Concentração do oxidantes (mg/L)	5	10	15
LAS (Pré-desinfecção)	1,688	1,688	1,688
LAS (Pós-desinfecção)	0,034	0,026	0,025
Eficiência de remoção (%)	97,996	98,446	98,527

Fonte: O autor (2022).

Na tabela 10, situada acima, existe uma tendência a rápida oxidação do LAS; mesmo em tempos de contato e concentração baixas existe uma eficiência extremamente alta. Desse modo pode-se chegar a resultados muito satisfatórios com relação ao polimento nos testes de bancada. É importante citar que o testes apesar de obter resultados bons são análises em pequena escala.

Pode-se observar que em média a taxa de eficiência do método variou entre aproximadamente 85 e 98 % de oxidação da substância de estudo; é possível perceber que para qualquer tempo de contato entre 10 e 20 min as concentrações de 10 e 15 são muito mais efetivas na retirada de LAS; o que não ocorre para o tempo de 30 min onde existe um maior contato da amostra com o hipoclorito de sódio gerado *in loco*, não importando necessariamente a concentração. Assim pode-se perceber que o hipoclorito de sódio gerado atende a oxidação de LAS como desejado, além disso é importante citar que estudos comprovam que o método de geração de hipoclorito de sódio *in loco* de conseguem eficiência de 95% de desinfecção em águas para tratamento para coliformes totais e *Escherichia coli*. (GARCIA,2018). O que

demonstra que o hipoclorito gerado *in loco* está em relação de paridade com parâmetros de desinfecção atendendo aos requisitos estabelecidos ambientalmente para potabilidade da água.

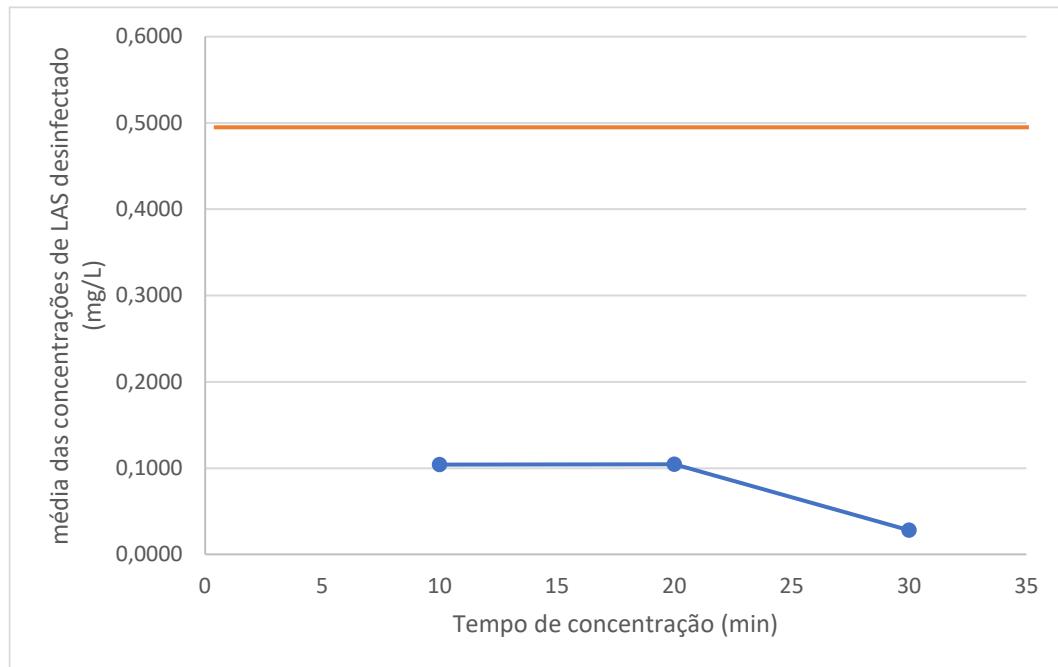
Os resultados foram consideravelmente efetivos na remoção de LAS mostrando que foram obtidos valores que superam a remoção do mesmo tensoativo por sistema integrado de Reator UASB com filtro biológico de alta taxa, que alcançou a taxa de 1,5 mg/L em 2015 na ETE Criciúma (TIBURCIO,2016); o que evidencia a eficiência do método empregado no seguinte estudo, pois a maior taxa encontrada para a remoção de LAS após a desinfecção foi de 0,26 mg/L, taxa essa aproximadamente 6 vezes menor que a encontrada na ETE Criciúma; Além da alta taxa de desinfecção as lagoas de polimento existe um aditivo no seu método de tratamento que o distingue dos outros tipos; além de ter retirado da natureza surfactantes que são prejudiciais aos corpos d'água e aos seres vivos também traz consigo a vantagem da inoculação de microrganismos patogênicos como os já mencionados nesse trabalho evitando doenças associadas a falta de esgotamento sanitário adequado.

Assim como estudos de avaliação de LAS para a ETE Mangueira mostraram resultados satisfatórios, assim como explicita Silva et al (2017) que indica uma remoção eficiente de LAS com relação aos padrões de tratamento utilizados (Reator UASB e Lagoa de Polimento) em conjunto na estação. Evidencia-se que o sistema de desinfecção por meio do hipoclorito de sódio *in loco* é uma excelente via de degradação e limpeza do afluente doméstico.

4.3 Legislação e adequação.

A legislação segundo a Portaria N° 2914/2011 considera que níveis de surfactantes maiores que 0,5 mg /L em amostras coletadas não devem ultrapassá-lo. Para o estudo realizado as amostras apresentaram valores de desinfecção todos abaixo do valor especificado pela portaria; nesse caso o indicativo é de que para o teste de bancada os resultados se mostraram eficientes na remoção desse surfactante. Abaixo segue um gráfico que expressa as concentrações de hipoclorito de sódio que mais impactaram na oxidação do LAS.

Gráfico 4 – máxima concentração permitida de surfactante e valores encontrados



Fonte: O autor (2022).

Pode-se notar que o padrão de LAS desinfectado é menor do que o mínimo exigido para a potabilidade da água o que indica que para as amostras em estudo o método de desinfecção se mostrou eficiente com relação a potabilidade da água, o que atende aos questionamentos levantados no presente estudo. A faixa laranja no gráfico acima mostra o nível máximo permitido para padrões de potabilidade da água, esse fato se faz importante pois as águas residuárias são devolvidas a natureza nos corpos d'água.

O CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) tem em sua resolução 357/05 que a quantidade máxima de fenóis no meio não pode ultrapassar 0,5 mg /L também; evidenciando assim que para parâmetros de efluente o esgoto proveniente da ETE Mangueira e desinfectado em todos os testes não ultrapassou esse marco, assim há enorme potencial no uso da desinfecção por cloração para o esgoto para remoção de LAS.

5. CONCLUSÃO

Assim conclui-se que nas avaliações feitas com o LAS o uso de hipoclorito de sódio gerado *in loco* supriu as necessidades de expressiva redução na concentração deste poluente visto que a queda percentual do mesmo ultrapassou a marca dos 90% comparando-se amostra sem o tratamento de polimento e amostra polida com hipoclorito gerado *in loco*.

Esse fato elucida a importância das lagoas de polimento nas ETE's que atuam no presente, o uso do cloro como fonte de prevenção as diversas formas de patógenos tem na atualidade se transformado em uma forma de retirar da natureza compostos prejudiciais à saúde humana que possam levar a população ao adoecimento precoce por diversas doenças.

Com relação ao uso de um oxidante não convencional percebe-se o ganho considerável que o equipamento traz a um sistema de esgotamento e tratamento; o “deslocamento” da produção da substância para o local poderá facilitar o transporte, acondicionamento, atrasos e problemas contratuais além disso diminui custos com o sistema de tratamento já que o sistema é um dos únicos onde não existe rentabilidade direta o uso desse equipamento é um marco por se tratar de um facilitador para obtenção de oxidantes.

Entende-se ainda que apesar de haver uma considerável falta de estudos mais robustos no que diz respeitos aos problemas que ocorrem após o descarte das águas residuárias do tratamento de esgoto na natureza provenientes do polimento e tratamento; E para efeito de análise encontrada o melhor ponto de convergência entre custo-benefício e viabilidade para uso do hipoclorito de sódio *in loco* seria o tempo de 10 minutos para uma concentração de 10 ppm, porém vale salientar que todas as combinações de tempo de contato e concentração configuram excelente capacidade de oxidação do poluente em estudo.

6.REFERÊNCIAS

- ALVES, T.C *et al.* Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação. **Rega**, v. 14, n. 1, p. 99-110, 2017.
- AMARAL, M.H et al. Tendencia das taxas de internação por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI): Brasil,1998 a 2014. **Ciencia et praxis**, v. 11, n. 21, p. 45-51, 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Portaria N° 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso :04 out.2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução N° 357/2005**. 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 providencias. Brasilia:2005. Disponível em :<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> . Acesso :04 out.2022.
- DANIEL, LUIZ ANTÔNIO et. al. **Métodos alternativos de desinfecção da água**. Programa de pesquisa em saneamento básico– PROSAB. RIMA ARTES E TEXTOS, São Carlos, SP, 149 p. 2001.
- FLORIPES, T.C. *et al.* Ocorrência de fármacos e desreguladores endócrinos em esgoto bruto e tratado na cidade de Belo Horizonte. **Eng Sanit Ambient**, v. 23, n. 6, p. 1199-1211, 2018.
- FURTADO, C.R. Intervenção do estado e (re)estruturação urbana. Um estudo sobre gentrificação. **Cadernos Metrópole**, v. 16, n. 32, p. 341-363, 2014.
- GARCIA, R.C.D. **Avaliação da substituição do cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio in loco em estação de tratamento de água de grande porte**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, 2018. 86 p
- GHISELLI, G *et al.* Interferentes endócrinos no ambiente. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 695-706, 2007.
- KOLFMAN, S et al. Human reproductive system disturbances and pesticide exposure in Brazil. **Cad. Saúde Pública**, v. 18, n. 2, p. 435-445, 2002.
- MEYER, S.T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cad. Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.
- MOREIRA, J.C et al. Avaliação inegrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 7, n. 2, p. 299-311, 2002.

PARRON, LUCILIA MARIA et. al. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** EMBRAPA. EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, PR, 1 p. 2011.

PENTEADO, J.C.P et al. Alquilbenzeno sulfonato linear: Uma abordagem ambiental e analítica. **Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 1038-1046, 2006.

RIBEIRO, J.W et al. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Especialização – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010. 28 p

SANTESTEVAN, V.A. **Caracterização de frações de petróleo brasileiro por cromatografia gasosa.** Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 34 p

SANTOS, B.C.D.B. **Desenvolvimento, aperfeiçoamento e validação de método cromatográfico para previsão da qualidade e propriedades físico-químicas do óleo diesel tipo B.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, 2009. 188 p.

SILVA, A.C.B. et al. Doença de minamata – 1954 - Japão. **JUS.COM.BR**, 2018. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/69295/doenca-de-minamata-1954-japao>. Acesso em: 13 out. 2022.

SILVA, A.M.B. Ocorrência de enteroparasitoses em comunidades ribeirinhas do município de Igarapé Miri, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan- Amazônica de Saúde**, v. 5, n. 4, p. 45-51, 2014.

SILVA, L.G et al. Quantificação de alquilbenzeno linear sulfonato em estação de tratamento de efluentes e rios por cromatografia líquida de alta eficiência e extração em fase sólida. **Química Nova**, v.40 , n.3 , p. 334-341, 2017.

SOARES, A. F. S. et al. Presença de Micropoluentes nos Esgotos e Contaminação dos Manciais de Abastecimento Público. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Vitoria-ES. 2020.

SOUZA, J.B. **Avaliação de métodos para desinfecção de água, empregando cloro, ácido peracético, ozônio e o processo de desinfecção combinado ozônio/cloro.** Dissertação (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2006. 176 p

SOUZA, N.C. **Avaliação de micro poluentes emergentes em esgotos e águas superficiais.** Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011. 183 p.

TEIXEIRA, J.C et al. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros – estudo comparativo entre 2001 e 2006. **Eng Sanit Ambient**, v. 16, n. 2, p. 197-204, 2011.

TIBURCIO, J.O.C. **Remoção de alquilbenzeno linear sulfonato (LAS) em sistema anaeróbio (UASB) seguido de filtro biológico de alta taxa. Caso de estudo: ETE Criciúma, SC.** Dissertação (Graduação) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2016. 57 p

TORRES, N.H. Farmacos em uma estação de tratamento de esgoto na região centro- oeste do Brasil e os riscos aos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, , v. 17, n. 3, p. 61-67, 2012.

VERONEZ, F.A. **Desempenho de um Reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2001. 151 p

WANDERLEY, M.C *et al.* **Estudo sobre os desafios no tratamento de efluentes da indústria farmacêutica.** Dissertação (Graduação) – Universidade Federal Fluminense, 2017. 107 p