



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ENG07053 – TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA

QUÍMICA



Avaliação do Potencial de Reúso do Efluente Gerado em uma Indústria de Cosméticos do Rio Grande do Sul

Autor: Gustavo Toso Paese

Orientadora: Prof^ª. Dra. Liliana Amaral Féris

Coorientadora: Dra. Keila Guerra Pacheco Nunes

Porto Alegre, 2021

Autor: Gustavo Toso Paese

Avaliação do Potencial de Reúso do Efluente Gerado em uma Indústria de Cosméticos do Rio Grande do Sul

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química*

Orientadora: Prof^a. Dra. Liliana Amaral Féris

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nilson Romeu Marcílio, UFRGS/DEQUI

Dra. Tatiana Calvete, UFRGS/DEQUI

Porto Alegre

2021

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais Beatriz e Wilson por todo o suporte, amor, carinho e principalmente por sempre estarem comigo nos momentos mais difíceis. Sem a confiança que depositaram em mim nada disso teria sido possível. Agradeço ao meu irmão Alexander por sempre acreditar em mim e sempre me apoiar quando foi necessário.

A minha estimada namorada, Thais, todo o meu amor e conquistas dedico a ti, sempre me apoiando nos momentos bons e ruins e dando força para que a caminhada durante o curso se tornasse possível.

Agradeço a minha orientadora Profa. Liliana por ter dado minha primeira oportunidade de trabalho como bolsista no LASOP e ter aceitado me orientar na última etapa do curso na elaboração deste trabalho. À minha coorientadora, Keila, meu muito obrigado por ajudar dando sugestões sempre pertinentes para a melhora deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos, Gabriel, Bibiana, Guilherme e João que me acompanharam durante todo o curso deixo meu agradecimento por tornarem a caminhada até aqui muito melhor.

Resumo

Os impactos ambientais causados ao meio ambiente vêm se tornando agravantes à qualidade de vida. Nesse contexto, a implementação de processos mais sustentáveis, bem como a correta utilização dos recursos hídricos por parte das indústrias podem ser alternativas para a redução desses impactos. A utilização de processos de tratamento de efluentes adequados às características dos efluentes gerados e o reúso das águas tratadas podem tornar-se um caminho atrativo econômica e ambientalmente para as empresas, visto as vantagens de diferenciais competitivos que podem trazer. Observa-se um crescimento exponencial dessas ações ao longo dos anos, sendo acompanhadas por uma legislação ambiental cada vez mais restritiva. Baseado nisso, o presente estudo foi desenvolvido em uma indústria de cosméticos localizada no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, tendo como principal objetivo a avaliação do potencial de reúso do efluente tratado na estação de tratamento de efluentes (ETE) da empresa através do monitoramento de parâmetros físico-químicos. Parâmetros como DQO, pH, temperatura e turbidez foram monitorados durante três meses e comparados à legislação ambiental de lançamento de efluente em corpos hídricos e às legislações para reúso de efluente. Os resultados do estudo de caso mostraram que, dentre estes parâmetros, somente a turbidez não atendeu aos limites máximos de reúso, ensejando, então, a realização de um tratamento posterior ao tratamento convencional aplicado a esse efluente. Com isso, foi possível elaborar um projeto de reúso do efluente final em descargas de vasos sanitários, visando, assim, reduzir o consumo de água potável e os gastos econômicos desta empresa de cosméticos.

Palavras-Chave: Estação de Tratamento de Efluentes, Reúso, Legislação Ambiental.

Lista de Figuras

Figura 1: Gráfico do número de publicações sobre o reúso de efluentes industriais no Brasil por ano no período entre 2005 e 2020.	2
Figura 2: Fluxograma de blocos do processo produtivo de uma Indústria de Cosméticos	6
Figura 3: Fluxograma qualitativo de um sistema convencional de lodos ativados de uma ETE genérica.	9
Figura 4: Diferentes formas de reúso da água	18
Figura 5: Desenho Esquemático da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Cosméticos do Caso em Estudo em sua Fase Inicial.	19
Figura 6: Planta Alta do Tratamento Biológico Implementado na ETE da Indústria de Cosméticos.....	20
Figura 7: Sistema de Gradeamento para Remoção de Sólidos e Decantador Primário do Processo de Tratamento de Efluentes	21
Figura 8: Reator Biológico SBR aerado	21
Figura 9: Principais Etapas do Desenvolvimento do Trabalho	22
Figura 10: Pontos de amostragem de Efluente Bruto (EB) e Efluente Tratado (ET).	23
Figura 11: Remoção de DQO do efluente bruto obtida no Tratamento Primário (TP) e no Tratamento Secundário (TS) no período entre janeiro de 2020 e fevereiro de 2021.	25
Figura 12: Comparação Visual entre as Amostras do Efluente Bruto e de Tratamentos Posteriores.....	26
Figura 13: Resultado das Análises de DQO do Efluente Tratado Dentro do Período Avaliado no Presente Estudo.....	26
Figura 14: Resultados das Medidas de Temperatura do Efluente Tratado no Período Avaliado no Presente Estudo.....	27
Figura 15: Resultado das Análises de pH do Efluente Tratado no Período Avaliado no Presente Estudo.....	28
Figura 16: Resultado da Análise de Turbidez do Efluente Tratado dentro do Período Avaliado no Presente Estudo.....	28
Figura 17: Proposta de Tratamento do Efluente Tratado para Reúso da Água em Descargas de Banheiros.....	30

Lista de Tabelas

Tabela 1: Ranking do mercado mundial de produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos em 2019	4
Tabela 2: Parâmetros físico-químicos analisados em efluentes industriais, de acordo com o ramo da atividade.....	8
Tabela 3: Padrões de lançamento de efluentes em corpo hídrico para vazão, $Q < 100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, segundo Resolução CONSEMA 355/2017	16
Tabela 4: Classes e parâmetros de efluente tratado conforme necessidade de reúso.....	17
Tabela 5: Economia de Água do Processo de Tratamento Proposto na Reutilização Interna do Efluente Tratado da Empresa.	31

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS.....	4
3.2. EFLUENTE LÍQUIDO INDUSTRIAL	7
3.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	8
3.4 PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO EFLUENTE	14
3.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	15
3.6 REÚSO DE EFLUENTE TRATADO	17
3.7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 ETAPAS DO TRABALHO.....	22
4.2 PONTOS DE AMOSTRAGEM	22
4.3 PARÂMETROS ANALISADOS.....	23
4.4 METODOLOGIAS APLICADAS	24
4.5 LEGISLAÇÕES COMPARADAS	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 RESULTADO DE DQO PARA O EFLUENTE BRUTO.....	25
5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO EFLUENTE FINAL.....	26
5.3 PROPOSTA DE REÚSO DO EFLUENTE FINAL.....	29
6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	32
REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

A redução da disponibilidade de recursos naturais no mundo torna imprescindível a busca por um equilíbrio entre processos produtivos e a proteção do meio ambiente, nas pequenas, médias e grandes empresas. Esse equilíbrio pode ser alcançado com processos mais sustentáveis, que acabam reduzindo o impacto ambiental causado pelas empresas potencialmente poluidoras (CONAMA, 1997). Sendo assim, a forte fiscalização ambiental realizada por órgãos do poder público, que exigem das indústrias a adequação às legislações ambientais vigentes com vistas à diminuição da poluição, torna-se de suma importância para a implementação de novas tecnologias nessas empresas.

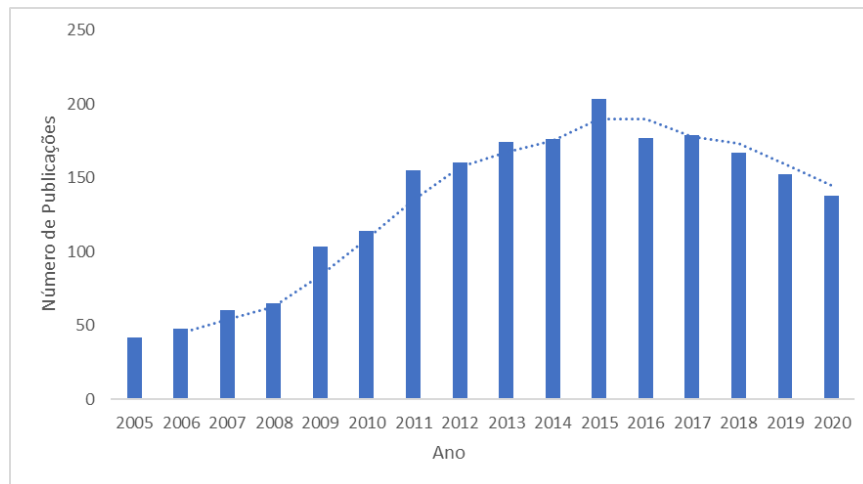
Neste contexto é válido ressaltar que qualquer empreendimento, a nível industrial, apresentará geração de resíduos e efluentes associada à produção do seu produto principal. Cada tipo de resíduo necessitará de tratamento específico e/ou disposição final adequada, o que irá variar de acordo com sua origem e classificação, segundo a norma NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Dessa forma, se faz necessária a busca por alternativas ambientalmente corretas de tratamento e disposição dos resíduos e/ou efluentes.

O lançamento inadequado de efluentes líquidos de processos industriais em corpos hídricos receptores pode acarretar sérios prejuízos para o meio ambiente. A eutrofização, por exemplo, causada pelo lançamento inadequado, ocasionando a proliferação em massa de algas, devido à grande concentração de nitrogênio e fósforo presente no efluente, o que impede a penetração de luz na água. Assim, efluentes de diversas indústrias, como a de cosméticos, necessitam de tratamento antes do lançamento no corpo hídrico (MARONEZE *et al.*, 2014).

Segundo Von Sperling (1995), a qualidade desejável para determinado recurso hídrico é função do seu uso. Sendo assim, é possível inferir que a qualidade de um efluente gerado por uma indústria depende do seu destino final. O lançamento em corpos hídricos e o reúso do efluente precisarão atender aos parâmetros de qualidade exigidos pelo órgão ambiental, os quais consideram o tipo de destino final para adotar parâmetros mais restritivos ou abrangentes.

Grande parte das indústrias possuem estações de tratamento de efluentes (ETEs) convencionais, que envolvem o tratamento preliminar, primário, secundário, terciário e secagem de lodo, para adequarem os parâmetros de lançamento à legislação (MELO, 2012). Após essas etapas, a possibilidade de reúso do efluente, com consequente redução do consumo de água potável, se torna economicamente vantajosa e ambientalmente importante. Apesar de ainda não existir, no Brasil, uma legislação que estabeleça os limites dos parâmetros para reúso dos efluentes industriais, o estudo sobre o assunto vem sendo abordado ao longo dos anos em diversas publicações, como apresentado na Figura 1.

Figura 1: Gráfico do número de publicações sobre o reúso de efluentes industriais no Brasil por ano no período entre 2005 e 2020. Palavras-chave: tratamento de efluentes; reúso de efluentes.



Fonte: base de dados Scielo e Capes periódicos

Observando o gráfico apresentado na Figura 1, percebe-se um número de publicações com tendências crescentes, sendo possível a inferência da importância do tratamento de efluentes e do reúso de efluentes para o meio ambiente.

Nesse sentido, o presente trabalho visa avaliar o potencial de reúso de um efluente gerado em uma indústria de cosméticos, através do monitoramento dos parâmetros físico-químicos envolvidos no processo de sua estação de tratamento de efluentes (ETE). A partir da análise dos resultados pretende-se propor um projeto de tratamento posterior ao que é realizado convencionalmente realizado na ETE para reúso do efluente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de reúso do efluente tratado em uma indústria de cosméticos por meio do monitoramento dos parâmetros físico-químicos.

2.1.1 Objetivos Específicos

- a) Realizar o monitoramento de parâmetros físico-químicos (Demanda Química de Oxigênio (DQO), Turbidez, Temperatura e Potencial Hidrogeniônico (pH)) do efluente final do tratamento da ETE em um determinado período de tempo e verificar se atendem à legislação.
- b) Comparar a eficiência do tratamento primário (físico-químico) e do tratamento secundário (biológico) utilizados, de maneira que seja possível comprovar a relevância de cada tratamento para a obtenção da qualidade do efluente final.
- c) Avaliar o potencial de reúso do efluente final com base nas características do efluente tratado para uso interno na Indústria de Cosméticos.
- d) Elaborar uma proposta para o reúso do efluente final na indústria estudada.

3. Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta os principais tópicos necessários ao desenvolvimento do presente trabalho. Tais tópicos estão subdivididos de forma que seja possível entender como funciona a indústria de cosméticos, a geração de efluentes líquidos neste tipo de indústria, bem como os principais tratamentos e parâmetros de análise envolvidos no seu processo. Por fim, são apresentadas as legislações pertinentes à destinação final do efluente tratado, formas de reúso e a caracterização da área de estudo.

3.1 Indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos

O setor de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (HPPC), que será tratado como Indústria de Cosméticos neste trabalho, vem ocupando um local de relevante interesse econômico, tanto em escala nacional, quanto em internacional. Isso se deve à grande demanda de lançamentos de novos produtos e a resistência que a indústria possui em épocas de crise, visto que se trata de um setor essencial à qualidade de vida humana (SEBRAE, 2016).

O mercado consumidor brasileiro representa cerca de 6% do mercado mundial, ocupando a 4ª posição no ranking, demonstrado na Tabela 1, permanecendo atrás apenas dos Estados Unidos da América, da China e do Japão. Na América Latina, o Brasil ocupa a 1ª posição, tendo uma participação de 48,6% no mercado, o que demonstra o grande investimento que esta indústria está tendo ao longo dos anos (ABIHPEC, 2019).

Tabela 1: Ranking do mercado mundial de produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos em 2019

Posição	País	US\$ Bilhões	Participação (%)
1°	Estados Unidos	89,5	18,3
2°	China	62	12,7
3°	Japão	37,5	7,7
4°	Brasil	30,3	6,2
5°	Alemanha	20,2	4,1
6°	Reino Unido	18,3	3,6
7°	França	15,3	3,1
8°	Índia	14,1	2,9
9°	Coréia do Sul	13,5	2,9
10°	Itália	11,8	2,4

Fonte: adaptado de ABIHPEC, 2019

Aliado ao efetivo crescimento da indústria de cosméticos há, também, o aumento da geração de resíduos associada ao processo produtivo dessa indústria. Esse processo,

apresentado na Figura 2, abrange um formato de produção globalizado, o qual consiste em diversas etapas, sendo cada uma delas explicadas a seguir (CETESB, 2004).

- **Recebimento das matérias-primas:** identificação e verificação do material recebido, por amostragem e análises de qualidade. Caso constata-se não conformidades, os materiais podem ser devolvidos aos fornecedores.
- **Armazenagem:** estocagem das matérias-primas e embalagens em área adequada para tal finalidade (almoxarifado). Nesta etapa há a segregação dos materiais, por compatibilidade, e, também, quando for o caso, armazenamento em condições especiais de refrigeração.
- **Pesagem e separação da matéria-prima a ser utilizada na produção:** as matérias-primas são direcionadas para o setor produtivo e pesadas de acordo com as quantidades necessárias exigidas pela Ordem de Produção. A distribuição da matéria-prima pode ser feita através de tubulação ou manualmente, de acordo com a tecnologia da empresa.
- **Produção:** previamente, faz-se a limpeza e sanitização dos reatores para evitar contaminação microbológica. Posteriormente ocorre a adição das matérias-primas e da água desmineralizada para manipulação dos produtos.
- **Análises:** quando o lote de determinado produto é finalizado, este é amostrado e submetido ao controle físico-químico (viscosidade, pH, cor, dentre outros) e microbológico.
- **Envase:** o produto acabado (PA) é devidamente acondicionado em recipientes apropriados e identificados.
- **Expedição/Comercialização:** o PA é encaminhado para a área de armazenamento, onde será direcionado para comercialização.

Figura 2: Fluxograma de blocos do processo produtivo de uma Indústria de Cosméticos



Fonte: Autoria Própria

Em geral, os cosméticos podem ser classificados em quatro categorias, sendo elas, produtos para higiene, perfumes, produtos para bebês e de beleza (GALEMBECK; CSORDAS, [s. d.]). Segundo a Resolução da ANVISA 79/2000, esses produtos apresentam dois grupos de risco quando dispostos no meio ambiente, elencados a seguir:

- **Risco nível 1 (Mínimo):** maquiagens, perfumes, sabonetes, xampus, cremes de barbear, sais de banho, etc.
- **Risco nível 2 (Potencial):** protetores labiais, óleos para massagens, repelentes, tinturas para cabelo, clareadores de pelos, etc.

Devido à grande diversidade de produtos que uma indústria deste tipo suporta, há uma enorme variedade de matérias-primas empregadas pelo setor. Dentre elas, podemos citar óleos essenciais, água, polímeros, detergentes, emulsificantes, solventes orgânicos, corantes, peróxidos, dentre outros (CETESB, 2004). Todas essas substâncias ao serem manipuladas para formação do produto acabado acabam se incorporando ao efluente, após lavagens dos tanques, o que pode gerar danos ambientais, caso não seja adotado um tratamento específico.

Segundo dados da empresa Natura, cerca de 64% da água utilizada no processo produtivo, a qual passa por uma desmineralização com a finalidade de se retirar metais pesados que possam afetar a utilização dos produtos por clientes, é transformada em efluente (NATURA, 2007). Isto acontece, pois a água é a principal constituinte dos produtos e é amplamente utilizada nas operações de lavagens e sanitizações de tanques, equipamentos e

utensílios, bem como nos laboratórios de controle de qualidade e sistemas de refrigeração (MELO, 2012).

3.2. Efluente líquido industrial

Segundo a norma ABNT NBR 9800/1987, efluente líquido industrial significa: “despejo líquido industrial proveniente de estabelecimento industrial, compreendendo efluentes do processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico”. Tais efluentes devem ser tratados de modo que as características físico-químicas fiquem de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

O impacto ambiental causado pelo efluente depende de prévia caracterização do mesmo, a fim de que seja possível a mensuração dos danos (SILVA; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2018). Na indústria de cosméticos, existe uma variabilidade de composições devido à diversidade de matérias-primas presentes no processo produtivo, o que acaba tornando, muitas vezes, uma tarefa árdua a quantificação destes danos (CETESB, 2004).

Os riscos que os diversos tipos de produtos HPPCs acarretam ao meio ambiente são provenientes tanto da lavagem dos tanques da indústria de cosméticos, quanto da utilização doméstica, sendo estes encontrados em altas concentrações nas águas superficiais de todo o mundo (BRAUSCH E RAND, 2011). Uma pesquisa realizada por Stackelberg *et al.* (2004) evidenciou o aparecimento de contaminantes orgânicos em água potável, dentre eles compostos de produtos cosméticos, fragrâncias e medicamentos. De acordo com Abidemi *et al.* (2018), os componentes de produtos cosméticos tendem a ser ambientalmente persistentes, bioativos e possuem potencial de bioacumulação, o que os caracteriza como poluentes emergentes, devido ao dano que causam a ambientes aquáticos e ao solo.

Alguns parâmetros físico-químicos que são utilizados para monitoramento da efetividade do tratamento das ETEs industriais podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos analisados em efluentes industriais, de acordo com o ramo da atividade.

Ramo	Atividade	DBO ou DQO	SS	Óleos Graxas	Fenóis	pH	CN-	Metais
Produtos Alimentares	Usinas de açúcar e álcool	x	x		x	x		
	Conservas carne/peixe	x	x			x		
	Laticínios	x	x	x		x		
	Matadouros e Frigoríficos	x	x	x				
	Moagem de Grãos	x	x					
Bebidas	Refrigerantes	x	x	x		x		
	Cervejaria	x	x	x		x		
Têxtil	Algodão	x				x		
	Lã	x		x		x		
	Sintéticos	x				x		
	Tingimento			x	x	x	x	
Papel	Process. Da polpa-celulose	x	x			x		x
	Fabric. De papel e papelão	x	x			x		x
Produtos minerais não metálicos	Vidros e espelhos		x	x		x		x
	Fibra de Vidro	x	x	x	x			
	Cimento		x	x		x		
	Cerâmica		x	x				x
Borrachas	Artefatos de borracha	x	x	x		x		
	Pneus e câmaras	x	x	x		x		
Produtos Químicos	Produtos químicos				x	x	x	x
	laboratório fotográfico							x
	Tintas e Corantes							x
	Inseticidas					x		x
Plásticos	Desinfetantes				x			x
	Plásticos e Resinas	x	x		x	x		x
Perfumaria e sabões	Cosmêt., detergentes e sabões	x		x				x
Mecânica	Produção de peças mecânicas		x	x				

Fonte: adaptado de Von Sperling, 1995

A indústria de cosméticos, especificamente, por possuir muitos produtos com componentes como óleos e graxas, sulfetos, nitrogênio amoniacal, tensoativos e fosfatos apresenta certa dificuldade de tratamento do efluente (CETESB, 2004). Isso se deve à toxidez dos componentes, que acaba afetando negativamente a eficiência do processo e por isso requer um controle adequado (VON SPERLING, 1995).

3.3 Sistemas de tratamento de efluentes

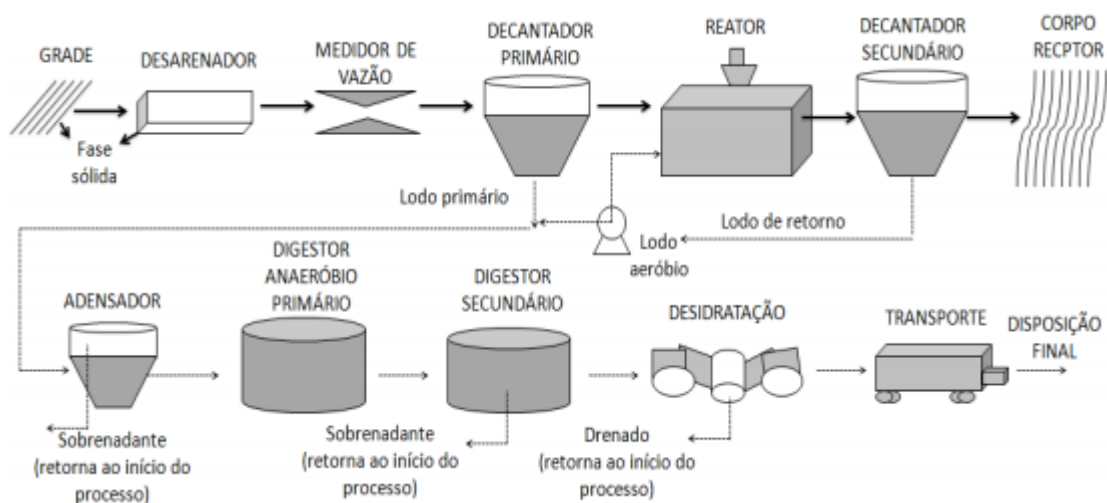
O despejo de efluentes líquidos industriais é inevitável, porém existem formas de se reduzir os impactos ambientais através da utilização de tecnologias econômicas, como é o caso das ETEs (ABIDEMI *et al.*, 2018). O processo de tratamento consiste na remoção dos principais poluentes presentes no efluente de origem, para que retornem ao corpo receptor sem alteração de sua qualidade e atendendo aos parâmetros das legislações vigentes (AISSE, 2000).

Os sistemas de tratamento precisam se adaptar às necessidades exigidas pelo caso concreto, ou seja, o processo, as operações unitárias e os tratamentos a serem utilizados estão relacionados com o nível de entrega e a qualidade dos efluentes brutos (oriundos do processo produtivo) ao corpo receptor. Isso se estabelece a partir das características físico-químicas e biológicas do efluente de origem, que direcionarão a forma com que as empresas deverão moldar seus tratamentos, buscando uma ótima relação custo/benefício (VON SPERLING, 2005).

A tecnologia mais comumente utilizada e que abrange custo razoável de implantação gira em torno do processo de Lodos Ativados. Esse processo de tratamento secundário consiste em uma complexa associação de micro-organismos composta por bactérias, fungos e protozoários, os quais oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos, de forma a reduzir os valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de DQO e entregar efluentes de qualidade aos corpos receptores (OLIVEIRA *et al*, 2009).

O sistema convencional de lodos ativados, que pode ser visto na Figura 3, abrange quatro níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 1995). Tais níveis serão dispostos de forma exemplificada para que seja possível visualizar a ETE abordada no presente estudo.

Figura 3: Fluxograma qualitativo de um sistema convencional de lodos ativados de uma ETE genérica.



Fonte: Von Sperling, 2005

3.3.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar visa à remoção de sólidos grosseiros, areia e outros tipos de particulados maiores do efluente bruto. O objetivo é facilitar o processo de degradação da matéria inorgânica e orgânica feita pelas bactérias e protozoários presentes em etapas subsequentes do processo, e também proteger os equipamentos, como bombas e tubulações, de entupimentos e abrasão.

Esta é uma etapa estritamente física, a qual utiliza operações unitárias comuns, como peneiramento e sedimentação. A remoção dos sólidos grosseiros é feita por um conjunto de grades que possuem espaçamento entre as barras, grosso, médio e fino, sendo estas grades dispostas do espaçamento maior para o menor (VON SPERLING, 1995).

É comum, nesta etapa, a utilização de caixas de areia (desarenadores) e medidores de vazão, como as calhas Parshall. A finalidade dos desarenadores é evitar a abrasão das tubulações, a qual é uma forma de desgaste da tubulação por ação do particulado de menor diâmetro proveniente do efluente (DIAS DE SOUSA; JUNIOR, 2019).

3.3.2 Tratamento Primário

O tratamento primário visa à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, através de processos físico-químicos, em unidades denominadas decantadores primários. Após o tratamento preliminar, o efluente é encaminhado para os decantadores, onde ocorre a sedimentação dos sólidos em suspensão, formando uma camada de lodo primário no fundo do tanque (normalmente cônico).

Nesta etapa, a fim de melhorar a eficiência do processo, agilizando a sedimentação das partículas, utiliza-se técnicas como coagulação e floculação, as quais, respectivamente, se encarregam de formar e aderir os flocos (aglomerados de partículas com densidade maior que a mistura líquida) tornando-os mais pesados. Os produtos químicos utilizados para a realização da técnica de coagulação e floculação são o sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio (PAC) (QUERNE; PASSIG; KREUTZ, 2011; MORAES, 2004). O lodo gerado por essa etapa de tratamento é direcionado para um tanque, onde será adensado e levado à secagem, com filtros-prensa, centrífugas e outros flotores (QUERNE; PASSIG; KREUTZ, 2011).

3.3.3 Tratamento Secundário

Esta etapa pode ser considerada vital para o processo, ainda que seja a mais complexa em termos de controle. Trata-se da remoção da matéria orgânica biodegradável, contida nos sólidos dissolvidos no efluente advindo do tratamento primário, através de processos biológicos aeróbios (com injeção de O₂) ou anaeróbios (sem O₂). Além dos particulados, ocorre a diminuição da DBO e DQO e, remoção de coliformes e nutrientes, como Nitrogênio e Fósforo, que devem estar de acordo com legislação (TELLES; PACCA COSTA, 2010)

Como é uma etapa constitutivamente biológica, uma série de reações bioquímicas é realizada por micro-organismos específicos. Bactérias, fungos e protozoários se encarregam de degradar o material orgânico presente no efluente vindouro das outras etapas, de forma que este material seja convertido em gás carbônico, água e material celular. A composição da biota de micro-organismos dependerá da qualidade do substrato e das condições ambientais do tanque de aeração. Essa etapa necessita de um controle rigoroso, visto que em condições inadequadas, poderá haver a formação de excesso de bactérias filamentosas, as quais dificultam a sedimentabilidade do lodo biológico (PEIRANO, 2014; VON SPERLING, 1995).

Existe na literatura uma variedade de métodos de tratamento biológico, sendo que os mais comuns são: lagoas de estabilização, reatores aeróbios de lodos ativados, filtros biológicos e tratamento anaeróbio (QUERNE; PASSIG; KREUTZ, 2011). Desse modo, será abordado no presente estudo, com mais detalhamento, os reatores aeróbios, visto que o processo da ETE sobre a qual se é dissertada utiliza deste tipo de tratamento secundário.

3.3.3.1 Reatores Biológicos Aeróbios

O processo de lodos ativados, o qual engloba o tratamento de efluentes industriais que emprega a injeção de oxigênio nos reatores, é uma das mais antigas aplicações de biotecnologia em indústrias. Esse processo consiste, em sua forma convencional, na utilização de um tanque aeróbio de diferentes volumes para cada tipo de tratamento, o qual é alimentado com um inóculo de lodo biológico, advindo de outra estação. O ar comprimido injetado ascendentemente, se encarrega de dissolver o oxigênio no inóculo e possibilitar o crescimento das bactérias já presentes no sistema (NARAYANAN; NARAYAN, 2019)

Segundo Von Sperling (1995), existem três tipos de sistemas de lodos ativados, sendo eles, o convencional, o de aeração prolongada e o de fluxo intermitente (batelada). O primeiro tem como base a utilização de um decantador secundário pós-reator aeróbio. A finalidade

desse decantador é de promover a recirculação dos sólidos que se encontram no fundo para o reator, mantendo, assim, uma concentração de sólidos elevada no reator. O tempo de retenção dos sólidos, denominado idade do lodo, para este processo, é da ordem de 4 a 10 dias, o que garante grande eficiência ao método convencional, visto que os micro-organismos possuem tempo suficiente para degradar a matéria orgânica.

A aeração prolongada possui uma idade de lodo na ordem de 20 a 30 dias, o que limita a disponibilidade de alimento para os micro-organismos, visto que, devido ao grande tempo de permanência do lodo no reator, há a necessidade que o reator seja maior, ou seja, tem-se menos matéria orgânica por volume do tanque. Este sistema permite processos de tratamento mais eficientes que os convencionais, com maiores remoções de DBO, pois devido à falta de substrato no reator, há a maior assimilação da matéria orgânica pelos organismos vivos.

Por fim, tem-se o sistema de fluxo contínuo realizado em batelada, o qual opera em ciclos de enchimento, repouso e esvaziamento e que possibilita um sistema simplificado de estações de tratamento, visto que permite retirar do processo etapas de tratamento primário, as quais são incorporadas diretamente no reator.

Muito comum em sistemas de lodos ativados é a utilização de sistemas de fluxo intermitente, os quais têm como principal etapa os reatores *Sequential Batch Reactors* (SBR). Tais reatores operam em batelada, de forma que funcionem em períodos de alimentação e esvaziamento, expandindo para uma sequência de cinco etapas: alimentação, reação, assentamento, decantação e despejo.

A primeira etapa consiste no enchimento dos reatores com o efluente advindo de tratamentos anteriores. Os reatores são preenchidos até um volume especificado, para que não haja sobrecarga de DQO no sistema. Durante a fase de reação há a oxidação do substrato e da matéria orgânica em nitratos pela ação de micro-organismos presentes no lodo biológico. Em seguida, tem-se a fase de assentamento, a qual envolve a separação dos sólidos granulares do efluente, garantindo tempo para que os sólidos suspensos se acumulem e assentem. Já na decantação, há a retirada do efluente pela parte superior, visto que os sólidos já atingiram um assentamento ótimo. Por fim, a última etapa, consiste na remoção de lodo a fim de sempre renovar a biota (ALAGHA *et al.*, 2020)

O estudo realizado por Querne *et al.* (2018), abordou a avaliação de remoção de DBO, DQO e Nitrogênio Amoniaco. Através da utilização de reatores SBR para tratamento de esgoto sanitário, foi mensurada a eficiência de remoção desses parâmetros, que ultrapassou 80% para todos eles. Concluiu-se que este sistema em batelada foi um processo promissor, de baixo investimento e, que, além disso, entregou um efluente com a qualidade exigida pela legislação ambiental.

3.3.4 Tratamento Terciário

Esta etapa tem como objetivo a remoção de organismos patogênicos, nutrientes inorgânicos e orgânicos advindos do tratamento secundário onde não foram totalmente removidos. Por tratar-se de uma etapa que utiliza tratamento avançado de efluentes, há a possibilidade de reuso da água, pois são aplicados processos de desinfecção que a tornam potável. Dessa forma, a água pode ser utilizada em processos internos, ou até mesmo para consumo próprio dos colaboradores da empresa (SILVA, 2015).

O tratamento terciário pode ser dividido em duas fases: desinfecção dos efluentes advindos do tratamento secundário, a fim de remover os organismos patogênicos e, remoção de nutrientes, para que seja possível evitar um desequilíbrio no corpo receptor. Alguns métodos são exemplificados a seguir:

- **Cloração:** processo muito utilizado para desinfecção de efluentes, no qual se utiliza fontes de cloro para eliminação de organismos patogênicos. Ocorre uma inibição enzimática e a danificação do material genético dos organismos, que acaba por interromper a sua proliferação. Geralmente utilizam-se tanques para realização do processo (SILVA, 2015).
- **Ozônio:** pode ser utilizado no tratamento de contaminantes numa ampla faixa de concentração e com alto grau de toxicidade. Geralmente mineraliza totalmente os compostos do efluente e melhoram as propriedades da água. Não é muito empregado, devido ao alto custo de implementação e consumo de energia (SOUZA, 2015).
- **Adsorção com Carvão Ativado:** processo de transferência de massa em que substâncias presentes na fase líquida (adsorvatos) são adsorvidas na superfície do carvão ativado (adsorvente). Muito utilizado para remover poluentes que causam turbidez em processos de tratamento de água (AWWA, 2005).

3.4 Parâmetros de monitoramento da qualidade do efluente

Os parâmetros de monitoramento de efluentes são indicadores para o dimensionamento e controle da poluição presente nos diversos tipos de efluentes gerados, tais como domésticos, industriais e de carga difusa urbana e agrícola (CETESB, 2004). Há diversos parâmetros de análise da qualidade do efluente, sendo que alguns podem caracterizar com precisão a eficiência de um tratamento. Dentre eles, podemos citar a temperatura que, no caso do efluente ser descartado com parâmetros acima do limite exigido, pode ocasionar poluição térmica ao corpo hídrico. Por fim, pode-se citar a DQO, a turbidez e o pH, que são parâmetros essenciais à qualidade da água final (GIORDANO, 2004).

3.4.1 Parâmetros Físico-Químicos

3.4.1.1 Temperatura

O aumento da temperatura dos corpos d'água geralmente é ocasionado por despejos industriais e de usinas termelétricas. Como esse parâmetro desempenha papel vital no meio aquático, ele exerce grande influência em uma série de parâmetros físico-químicos, como por exemplo viscosidade, tensão superficial, condutividade térmica. Além disso, trata-se de um parâmetro fundamental para o controle de reatores biológicos, visto que os organismos vivos possuem limites de tolerância térmica (CETESB, 2004).

A medida da temperatura pode ser feita utilizando-se de qualquer tipo de termômetro comum ou eletrônico, através de uma imersão do bulbo na amostra desejada (BRANDI; WILDE, 2013).

3.4.1.2 Turbidez

Turbidez é o espalhamento da luz produzido pela presença de partículas em suspensão ou coloidais. Essa característica é causada por partículas suspensas e coloidais, como cinzas, lodo, matéria orgânica e inorgânica fina, e organismos microscópicos. Altos valores de turbidez podem causar aos corpos hídricos a redução da fotossíntese de plantas aquáticas e a produtividade de peixes. Além disso, afeta de forma negativa o reuso da água a nível doméstico, industrial ou recreacional (BRANDI; WILSON-WILDE, 2013; CETESB, 2004). O método comumente utilizado para sua mensuração é o nefelométrico, o qual apresenta maior precisão, sensibilidade e aplicabilidade, sendo expresso em unidades de turbidez nefelométrica (NTU) (BRANDI; WILSON-WILDE, 2013).

3.4.1.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO significa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de agente químico, como o dicromato de potássio. Esse parâmetro é indispensável para avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes, pois ele facilita a mensuração da carga que irá adentrar nos reatores biológicos, por meio do efluente previamente tratado. Logo, é possível quantificar o nível de agressão que o efluente poderá ocasionar nas etapas do processo e se ele precisará de mais etapas de tratamento antes de continuar para a etapa biológica. Somado a isso, a DQO também estima o potencial poluidor de efluentes industriais e o impacto que pode causar nos corpos hídricos de destino (CETESB, 2004; ZUCCARI; GRANER; LEOPOLDO, 2005).

O método mais utilizado para quantificar a DQO é o colorimétrico, o qual consiste na oxidação da matéria orgânica presente nos efluentes através da ação de um oxidante forte, como o dicromato de potássio, em meio fortemente ácido. Após contato do efluente com a solução oxidante, a mistura é levada ao digestor e, posteriormente, analisada em espectrofotômetro, sendo o resultado expresso em miligrama de O_2 por litro ($mg L^{-1}$) (BRANDI; WILSON-WILDE, 2013).

3.4.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é um parâmetro que afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas, sendo essencial que os valores, para o efluente descartado, estejam na faixa entre 6 a 9, mantendo-se em certa neutralidade (ANA, 2004). Sua medida é feita através do método eletrométrico, que consiste na medição da diferença de potencial resultante da atividade dos íons H^+ da solução interna do eletrodo e da amostra, sendo convertido para a escala de pH. Utiliza-se, para isso, um aparelho chamado peagâmetro, constituído basicamente de um potenciômetro e um eletrodo padrão de hidrogênio (ou, mais comumente, eletrodo de pH). Há diferentes tipos de eletrodos de pH, mas o eletrodo combinado é o mais utilizado para medições em amostras de água. O eletrodo combinado de pH consiste de um eletrodo de pH e outro de referência. O eletrodo padrão de hidrogênio é imerso na solução desejada e retorna no visor do equipamento o valor medido (BRANDI; WILDE, 2013).

3.5 Legislação Ambiental

Para que o efluente industrial, após todo o processo de tratamento, possa ser despejado em rede de esgotos, ou até mesmo ser reutilizado em processos internos da

empresa, é necessário uma série de análises de parâmetros de monitoramento e de qualidade da água, a fim de que seja possível atender às legislações ambientais vigentes. Esta necessidade de controle e fiscalização visa preservar a qualidade ambiental, os recursos naturais e a saúde pública, os quais são considerados bens essenciais à qualidade de vida (BRASIL, 2017). As legislações vigentes para disposição e padrões de lançamentos de efluentes em corpos hídricos se resumem a, em âmbito nacional, Resolução CONAMA 357/2005, alterada pela Resolução CONAMA 430/2011 e, em âmbito estadual, a Resolução CONSEMA 355/2017.

De acordo com o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), em sua resolução 355/2017, que dispõe sobre critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradores que lancem seus efluentes em águas superficiais, é possível obter os valores limites para despejo do efluente, os quais podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Padrões de lançamento de efluentes em corpo hídrico para vazão, $Q < 100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, segundo Resolução CONSEMA 355/2017

Parâmetro	Padrão de Emissão
Espumas	visualmente ausentes
pH	Entre 6,0 e 9,0
Temperatura	Inferior a 40°C
DQO (mg L^{-1})	330
SST (mg L^{-1})	140
Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1})	20
Fósforo Total (mg L^{-1})	4

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2017.

Com vistas ao reúso do efluente tratado ao final do processo, buscou-se por legislações específicas, que apresentassem os parâmetros específicos exigidos para que o efluente tratado pudesse ser reaproveitado em setores internos da empresa. Como tais legislações de reúso são escassas, foi adotada a norma da ABNT NBR 13969/1997, a qual versa sobre a reutilização de esgoto tratado. Conforme a norma, os parâmetros exigidos variam de acordo com a necessidade de reúso, sendo este dividido em quatro classes com seus respectivos limites, mostradas na Tabela 4.

Tabela 4: Classes e parâmetros de efluente tratado conforme necessidade de reúso.

Classe	Uso Previsto	Turbidez	Coliformes Fecais (NMP/ 100 ml)	pH	Sólidos Dissolvidos totais (mg L ⁻¹)	Cloro Residual
Classe 1	Lavagem de carros e outros que requerem contato direto com a água	Inferior a 5	Inferior a 200	Entre 6 e 8	Inferior a 200	Entre 0,5 e 1,5
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagístico, exceto chafarizes	Inferior a 5	Inferior a 500	-	-	Superior a 0,5
Classe 3	Reúso em descargas de vasos sanitários	Inferior a 10	Inferior a 500	-	-	-
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastos para gados e outros cultivos	-	Inferior a 500	-	-	-

Fonte: Adaptado de NBR 13969, 1997

3.6 Reúso de efluente tratado

Após realizarem, o tratamento de efluentes, as indústrias têm procurado adotar práticas de reutilização e reciclagem do efluente tratado, em substituição ao descarte direto nos corpos hídricos. Essas iniciativas ainda crescem de forma lenta, porém, quando aplicadas, demonstram reduções importantes de despesas, o que, conjuntamente com o alto custo da água potável, incentivam o setor industrial a pensar em alternativas de reúso do efluente tratado (METCALF & EDDY; ASANO; BURTON, 2007).

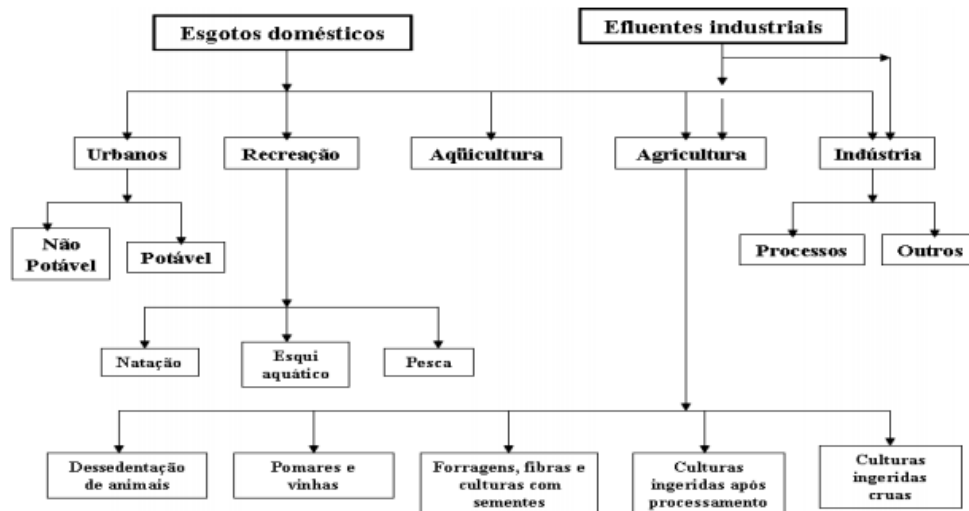
O reúso, de forma geral, é definido como o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma vez ou mais, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original, enquanto que reciclagem é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro corpo hídrico (VISVANATHAN; ASANO, 2009)

A qualidade da água advinda do processo de tratamento de efluentes e o objetivo do reúso definirão a necessidade de pré-tratamentos, o espaço físico necessário para eventuais instalações e os custos envolvidos. As possibilidades e os potenciais de reúso girarão em torno

das características locais do empreendimento, condições e outros aspectos determinantes, como os culturais (HESPANHOL, 2008).

Na Figura 4 podem ser observadas as diferentes formas de reúso dos efluentes, os quais abrangem áreas urbanas, industriais e rurais.

Figura 4: Diferentes formas de reúso da água



Fonte: Adaptado de HESPANHOL, 2002.

Ao se tratar de efluentes industriais, as aplicações podem ser diversas, como reúso diretamente nos processos de fabricação dos produtos, em sanitários para descargas e lavagem de mãos, bem como lavagens de pisos e ruas. Tais aplicações podem ter critérios mais ou menos restritivos, variando conforme o destino do efluente (ABNT, 1997).

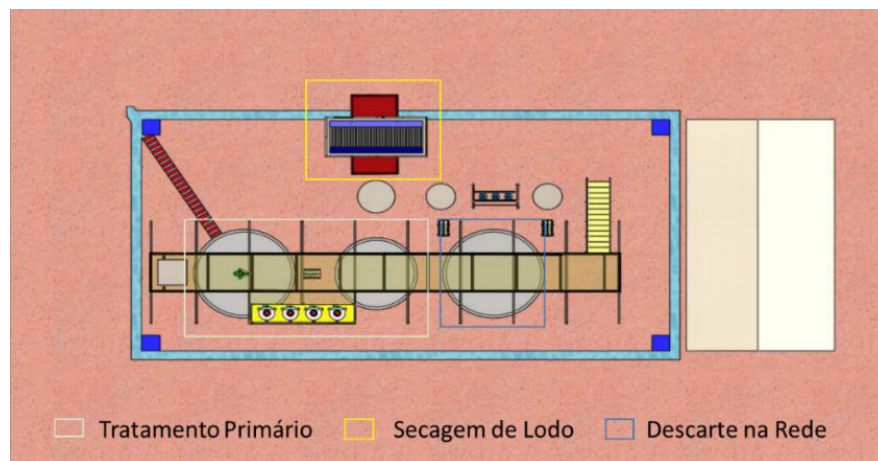
Alves (2009) realizou um estudo de caso em uma indústria de cosméticos, no qual foi feito um levantamento de novas e pré-existentes formas de reúso do efluente tratado pela ETE. Após tratamento biológico, o efluente foi submetido a um processo de ultrafiltração e desaguado em um reservatório destinado ao sistema de combate a incêndio. Parte do permeado foi descartada em um corpo hídrico e a outra parte direcionada para reúso em banheiros, lavagem de ruas, estruturas e jardinagem. Cerca de 55% de todo o efluente tratado (8500 m³/mês) era reutilizado, sendo que apenas 45% era descartado no corpo hídrico receptor, pois necessitava de processos avançados de tratamento para que pudesse ser utilizado de outra forma.

3.7 Caracterização da Área de Estudo

Este trabalho foi realizado em uma indústria de produtos cosméticos, situada no município de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. A empresa apresenta uma área de aproximadamente 5200 m², com um quadro de 140 colaboradores. Devido à variabilidade de produtos, que se diversificam entre sabonetes, cremes hidratantes, odorizadores e produtos de higiene pessoal, a indústria acaba gerando efluentes com altos índices de DQO, ultrapassando 100.000 mg O₂ L⁻¹. Para minimizar o impacto ambiental, foi implementada uma ETE, a qual, atualmente, possui uma vazão aproximada de 8 m³ dia⁻¹.

A ETE iniciou sua operação em 2015 tendo em seu escopo os tratamentos preliminar, primário e um processo de secagem de lodo, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Desenho Esquemático da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Cosméticos do Caso em Estudo em sua Fase Inicial.



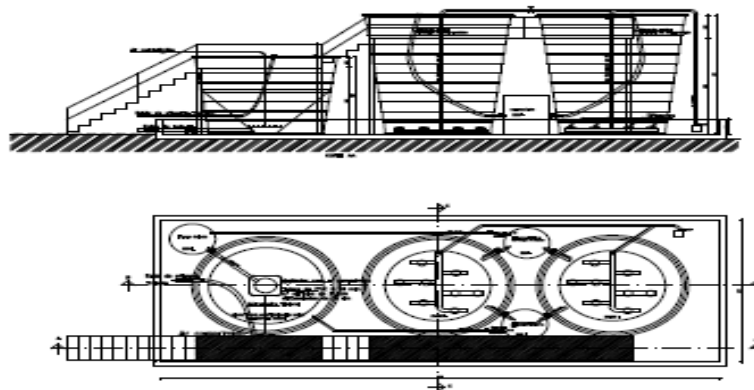
Fonte: adaptado de arquivo pessoal

Apesar do processo incluir o tratamento preliminar e o primário, o que teoricamente garantiria uma considerável remoção de poluentes e redução dos níveis de DQO, um estudo realizado por Comin (2017) observou a necessidade de se aplicar um tratamento avançado, que se constituiu na técnica de ozonização. O objetivo do estudo de caso era reduzir a DQO do efluente de saída do tratamento primário, o qual apresentava valores na faixa de 3000 a 7000 mg O₂ L⁻¹. Porém, mesmo com altos níveis de remoção obtidos após a ozonização (aproximadamente 65%), o tratamento não foi suficiente para atender às legislações ambientais vigentes, que exigiam parâmetros de DQO inferiores a 400 mg O₂ L⁻¹.

Considerando que o efluente pós-tratamento era despejado diretamente na rede de esgotos, foi verificada a necessidade de implementação de processos de tratamento mais

eficientes. Sendo assim, foi instalado um sistema de lodos ativados, que abrangeu reatores biológicos, para que dessa forma o efluente tratado atendessem definitivamente às legislações pertinentes. A planta do novo sistema pode ser vista na Figura 6.

Figura 6: Planta Alta do Tratamento Biológico Implementado na ETE da Indústria de Cosméticos.



Fonte: Arquivo Pessoal

Essa nova configuração de ETE, com um sistema de lodos ativados, demonstra um processo convencional que objetiva atender à legislação ambiental para o descarte de efluente, e que será objeto de análise no presente estudo, que visa avaliar o potencial de reúso do efluente gerado.

3.7.1 Descrição do Sistema de Tratamento de Efluentes da empresa

O efluente bruto proveniente das lavagens de tanques e setores laboratoriais escoam por gravidade através de tubulações subterrâneas, a uma vazão de $8 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, e deságuam em um tanque de armazenamento, passando por um sistema de gradeamento que é apresentado na Figura 7. Deste tanque o efluente é bombeado para um misturador de 25 m^3 , no qual é realizado o tratamento físico-químico. Uma amostra do efluente é coletada e levada para o laboratório presente na ETE, a fim de quantificar os reagentes necessários para tratamento. Coagulante (Policloreto de Alumínio), floculante (Polímero Aniônico) e cal hidratada são dosados no tanque. Após a adição dos reagentes na amostra de efluente, são aguardados 10 minutos para que a reação ocorra e, então, o efluente é direcionado a um decantador, que pode ser visualizado na Figura 7.

Nesse decantador, o particulado sedimenta e, então, o lodo resultante do tratamento físico-químico é removido pelo fundo, e este é direcionado a um tanque misturador com 3 m^3 de capacidade. Na etapa seguinte, o lodo é adensado (através da adição de coagulante e cal

hidratada) conjuntamente com o lodo biológico proveniente dos reatores biológicos, para posterior secagem e destinação final em aterro industrial.

Figura 7: Sistema de Gradeamento para Remoção de Sólidos e Decantador Primário do Processo de Tratamento de Efluentes



Fonte: Arquivos Pessoais

O efluente clarificado passa por um filtro de areia pós-decantador e, então, é armazenado em um tanque de 25 m³. O efluente é bombeado para os reatores biológicos, compostos de dois tanques de 25 m³ cada um, devidamente aerados por compressores radiais. O reator biológico pode ser visto na Figura 8.

Figura 8: Reator Biológico SBR aerado



Fonte: Arquivos Pessoais

Como se trata de reatores SBR que operam em ciclos de enchimento e esvaziamento, diariamente se desliga a aeração do tanque e, então, espera-se ocorrer à sedimentação do lodo biológico. O sobrenadante, que é o efluente clarificado, é descartado em rede de esgotos.

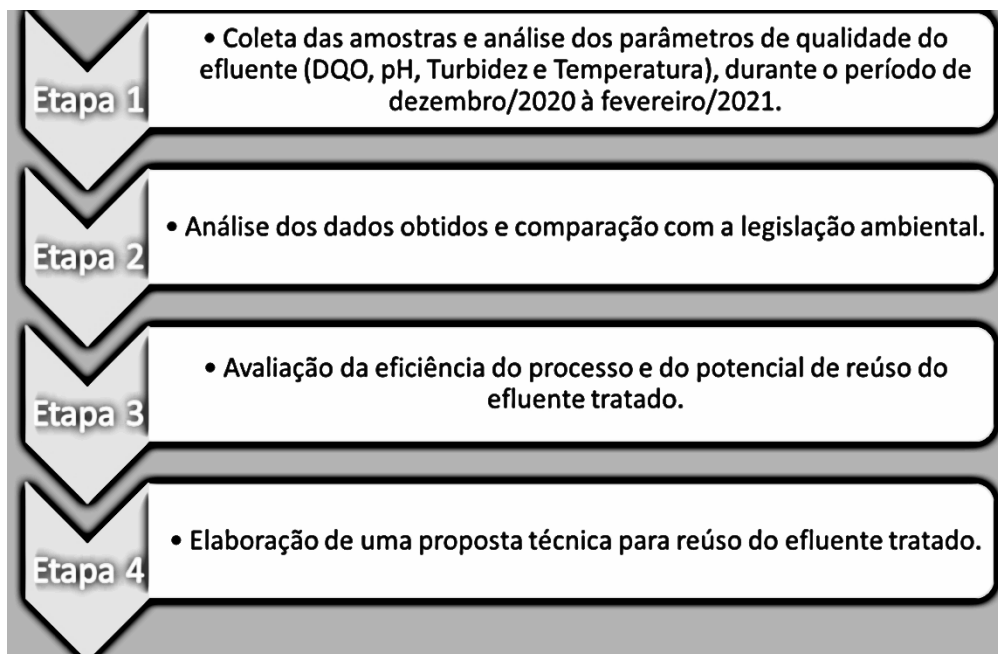
O lodo biológico é retirado pelo fundo do reator, objetivando-se a renovação da biota de micro-organismos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Etapas do Trabalho

O trabalho foi estruturado em quatro partes: (1) Coleta e análise das amostras, (2) Análise dos dados, (3) Avaliação do potencial de reúso do efluente tratado e (4) Proposta técnica de reúso do efluente tratado. Tais etapas são apresentadas na Figura 9.

Figura 9: Principais Etapas do Desenvolvimento do Trabalho



Fonte: Autoria Própria

4.2 Pontos de amostragem

As coletas das amostras de efluente foram feitas em dois pontos diferentes, um antes e outro após a estação de tratamento. Os pontos de coleta se referem ao efluente bruto (EB) e ao efluente tratado (ET), podendo ser vistos na Figura 10. Para esse trabalho utilizou-se os resultados das amostras coletadas durante o período de três meses, de dezembro de 2020 a fevereiro de 2021.

Figura 10: Pontos de amostragem de Efluente Bruto (EB) e Efluente Tratado (ET).



Fonte: Arquivo Pessoal

Os testes de DQO foram realizados com as amostras coletadas nos dois pontos de amostragem mostrados na Figura 10. Somente os parâmetros de pH, Turbidez e Temperatura, foram analisados com as amostras coletadas no ponto de amostragem do efluente tratado e todas as análises foram feitas no laboratório próprio da empresa.

4.3 Parâmetros analisados

Os parâmetros físico-químicos foram monitorados, diariamente, no período de três meses, com o intuito de se obter uma base dados suficiente para atestar a eficiência das etapas do processo de tratamento e a possibilidade de reúso do efluente final. Os parâmetros analisados no laboratório da empresa são:

- Demanda Química de Oxigênio (DQO) ($\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$)
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- Turbidez (NTU)
- pH

4.4 Metodologias aplicadas

4.4.1 Análise de pH

Para as análises de pH realizadas nas amostras de efluente tratado, foi utilizado um peagâmetro da marca MS Tecnoyon, modelo mPA 210. Antes de cada análise foi feita a calibração do equipamento com soluções-tampão de pH 7,0 e 4,01, a fim de se obter maior precisão das medidas.

4.4.2 Demanda Química de Oxigênio

Foram coletadas amostras tanto do efluente bruto quanto do efluente tratado, a fim de se comparar a capacidade de diminuição dos valores de DQO dos tratamentos primário e secundário, bem como o atendimento à legislação do efluente final, sendo esta análise feita através do método colorimétrico. Foram utilizados um bloco digestor da marca Macherey-Nagel e um fotômetro de mesma marca para medida do valor da DQO das amostras. Após diluição, 2 mL de cada amostra foram transferidos para tubos de ensaio contendo agentes oxidantes fortes, como, dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), específicos para a análise de cada efluente, agitando vigorosamente o tubo. Após a mistura, o tubo foi colocado no bloco digestor, e as amostras foram aquecidas a 160 °C, durante 30 minutos. Após resfriamento à temperatura ambiente, o valor da DQO foi medido no fotômetro.

4.4.3 Turbidez

A análise da turbidez do efluente tratado foi realizada com o método nefelométrico. Foi utilizado um turbidímetro da marca MS Tecnoyon, modelo TB-1000, para leitura da turbidez em NTU. Antes de cada análise, foi feita uma calibração com padrões pré-determinados, a fim de otimizar a precisão da leitura.

4.4.4 Temperatura

Para medição de temperatura foi utilizado um sensor acoplado ao peagâmetro, o qual possuía um eletrodo separado. O eletrodo foi imerso na amostra e a leitura feita quando o valor da medida estabilizava no visor do equipamento.

4.5 Legislações Comparadas

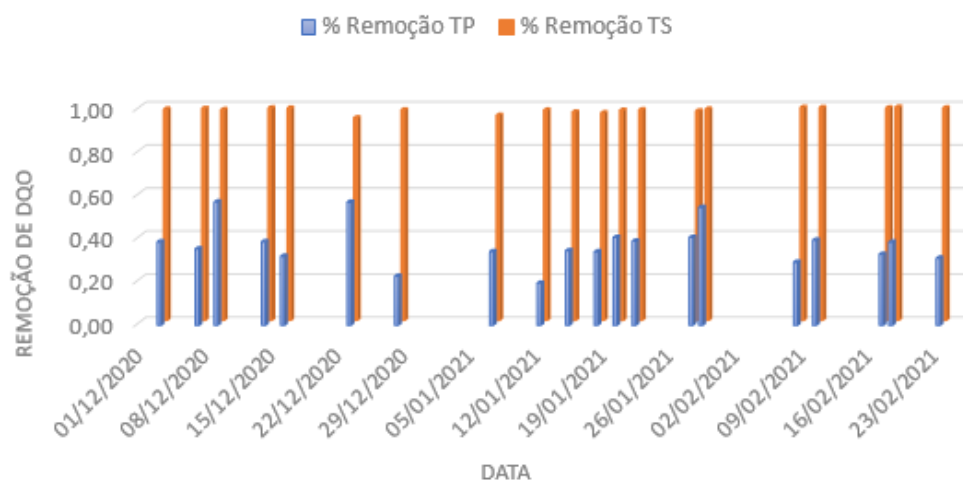
Os dados obtidos na análise das amostras foram comparados com as normas CONSEMA 355/2017 (limites máximos permitidos dos parâmetros para descarte direto em corpo hídrico) e ABNT NBR 13969/1997 (limites máximos permitidos dos parâmetros para reúso do efluente tratado).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultado de DQO para o efluente bruto

De maneira que seja possível fazer uma comparação entre a eficiência do tratamento primário, pré-existente na ETE, e a eficiência do tratamento secundário, implementado posteriormente, é apresentado um gráfico de remoção de DQO, conforme Figura 11.

Figura 11: Remoção de DQO do efluente bruto obtida no Tratamento Primário (TP) e no Tratamento Secundário (TS) no período entre janeiro de 2020 e fevereiro de 2021.

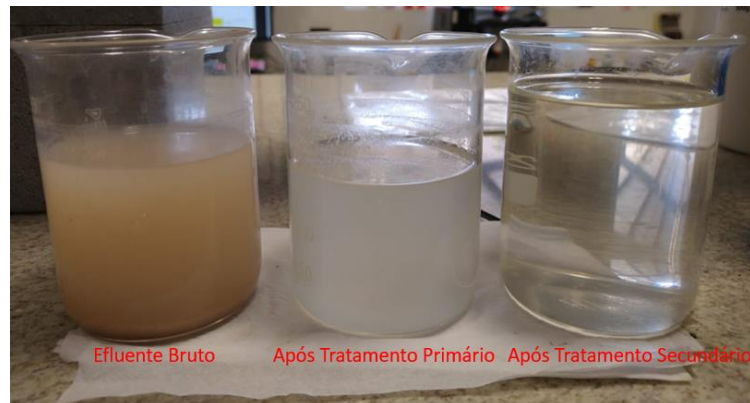


Fonte: Autoria Própria

Na Figura 11, se observa certa discrepância entre as remoções de DQO dos dois tipos de tratamento. Enquanto para o tratamento primário há uma média de 30% de remoção, para o tratamento secundário, chega-se a remoções de 99% de DQO. Com estes resultados presume-se a importância do tratamento biológico, o qual possibilitou o atendimento da legislação ambiental CONSEMA 355/ 2017.

Na Figura 12, é possível observar uma amostra do efluente bruto e após cada etapa de tratamento, confirmando-se visualmente que o tratamento posterior foi eficiente.

Figura 12: Comparação Visual entre as Amostras do Efluente Bruto e de Tratamentos Posteriores.

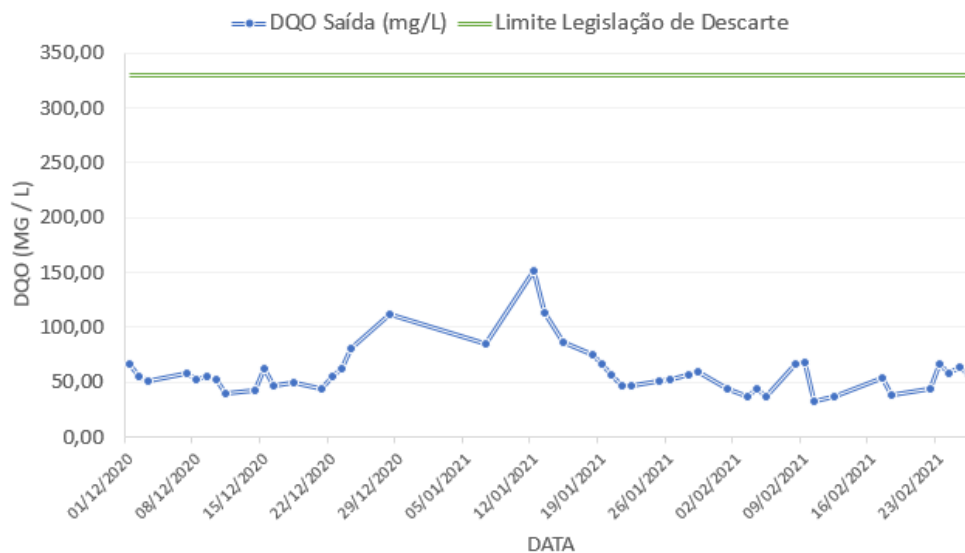


Fonte: arquivos pessoais

5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos do efluente final

Na Figura 13, são apresentados os resultados das análises de DQO durante o período de 3 meses, comparado ao limite máximo estabelecido pela legislação CONSEMA 355/ 2017, que é de 330 mg O₂ L⁻¹.

Figura 13: Resultado das Análises de DQO do Efluente Tratado Dentro do Período Avaliado no Presente Estudo.



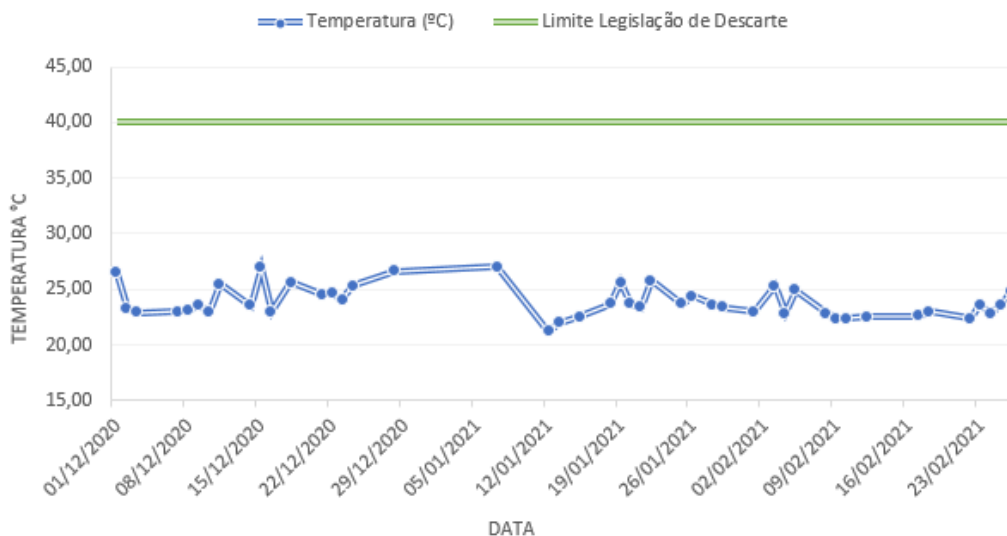
Fonte: Autoria Própria

Analisando-se a Figura 13 observa-se que o valor da DQO não excede o limite de lançamento em corpo hídrico estabelecido pela legislação, confirmando o total atendimento às normas ambientais. No período de 29/12/20 e 12/01/21 foi observado um aumento dos níveis de DQO, visto que o efluente somente foi tratado por dois dias. Nessa situação, a aeração dos reatores biológicos tornou-se prolongada, sem reposição de nutrientes e com

geração de uma maior morte de lodo biológico. O tratamento biológico demonstra grande eficiência na remoção de DQO.

Outro fator monitorado durante o período de dezembro de 2020 a fevereiro de 2021 foi a temperatura de saída do efluente final. Os resultados são demonstrados na Figura 14.

Figura 14: Resultados das Medidas de Temperatura do Efluente Tratado no Período Avaliado no Presente Estudo.

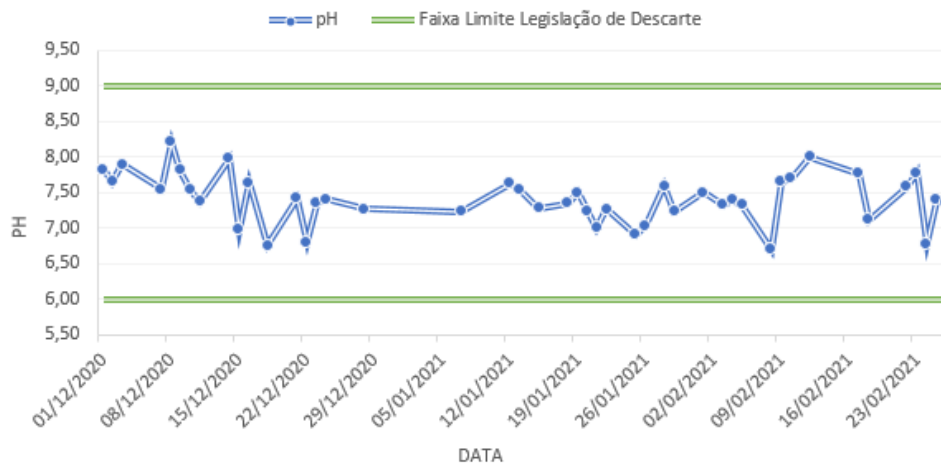


Fonte: Autoria Própria

Os valores de temperatura se mantiveram estáveis, não apresentando possibilidade de afetar desfavoravelmente o corpo hídrico receptor, no que tange a esse parâmetro, visto que atenderam ao limite de 40°C estabelecido pela legislação CONSEMA 355/ 2017 para descarte.

O pH também se manteve em valores estáveis. O resultado é demonstrado na Figura 15.

Figura 15: Resultado das Análises de pH do Efluente Tratado no Período Avaliado no Presente Estudo.

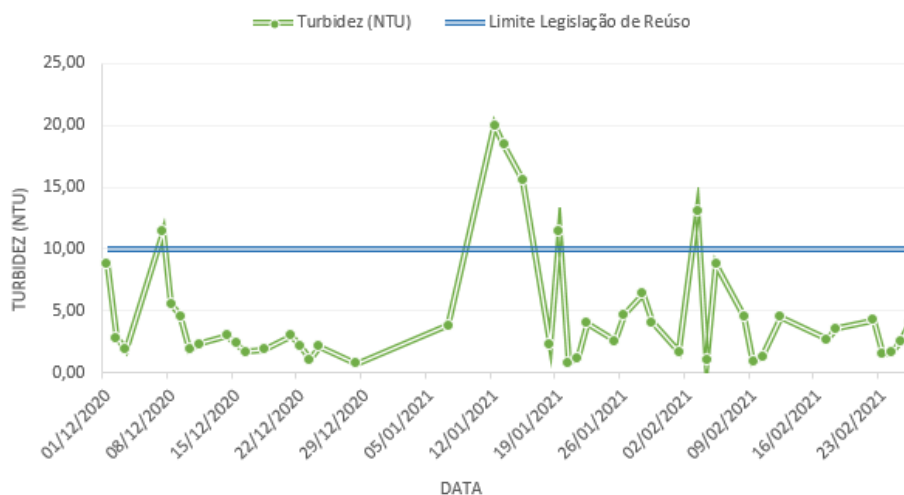


Fonte: Autoria Própria

Os valores de pH permaneceram na faixa entre 6 e 9 exigidos pela legislação ambiental, demonstrando, mais uma vez, a eficiência do tratamento secundário realizado na ETE.

Os resultados das análises de turbidez podem ser vistos na Figura 16.

Figura 16: Resultado da Análise de Turbidez do Efluente Tratado dentro do Período Avaliado no Presente Estudo.



Fonte: Autoria Própria

Pela análise da Figura 16, observa-se que os níveis de turbidez não permaneceram constantes. Em diversos momentos foi verificado que o limite de 10 NTU, exigido pela legislação de reúso, foi excedido, atingindo valores de 20 NTU em uma única amostragem. Vale ressaltar que este parâmetro não é exigido por legislação para lançamento em corpo hídrico, porém, acaba se tornando relevante ao se analisar a possibilidade de reúso do efluente.

O reúso do efluente se torna inviável apenas com o processo convencional de tratamento, sendo necessária, então, a realização de tratamentos posteriores, a fim de adequar o parâmetro de turbidez ao limite de 10 NTU conforme estabelecido por legislação.

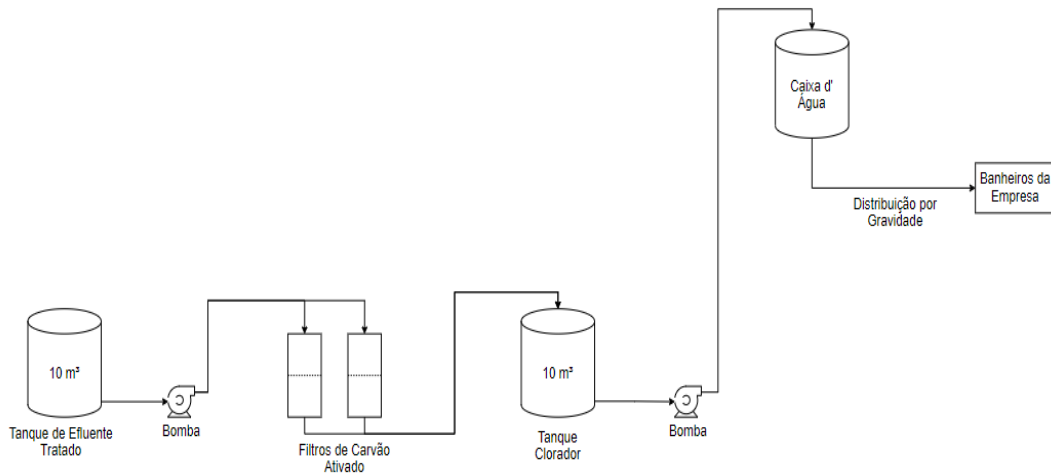
Após a análise dos resultados do efluente tratado, observou-se o atendimento à legislação de descarte dos quatro parâmetros analisados. Isto demonstra a eficiência da ETE, e também mostra a importância da adição do tratamento biológico ao processo convencional, a qual possibilita o descarte do efluente em corpos hídricos. O processo de tratamento apresentou elevada remoção dos parâmetros, dentro do período de três meses de acompanhamento, o que demonstra, também, a constância do processo com relação à variação de DQO no efluente bruto.

5.3 Proposta de Reúso do Efluente Final

O reúso do efluente tratado na ETE da indústria de cosméticos está diretamente ligado ao seu reaproveitamento para uso interno na empresa. Para cada destino específico do efluente tratado existem parâmetros físico-químicos diferentes a serem considerados. Nesse trabalho foi realizado um esboço de um projeto de tratamento posterior à ETE, visando o reúso da água em descargas de vasos sanitários. Tal destinação possui um limite de turbidez de 10 NTU além de um parâmetro de coliformes fecais, que não será utilizado na proposta, pois não se aplica a ETE em estudo, devido ao efluente tratado ser estritamente industrial. Os limites superiores podem ser verificados na Tabela 4, do item 3.5.

Ao analisar a Figura 16, observou-se que, em diferentes datas, os valores da turbidez medida ultrapassaram o limite máximo estabelecido para reúso. Para reduzir os níveis de turbidez, adequando os parâmetros à legislação, bem como retirar os micro-organismos provenientes do tratamento biológico é apresentada uma proposta de tratamento, que pode ser visualizada na Figura 17.

Figura 17: Proposta de Tratamento do Efluente Tratado para Reúso da Água em Descargas de Banheiros.



Fonte: Autoria Própria

A proposta consiste na adição de um sistema de filtração constituído por duas colunas de carvão ativado granular, que tem por objetivo reduzir o teor de turbidez, através do processo de adsorção. Propõe-se a utilização de dois filtros, para o caso de eventuais trocas de carvão ativado saturado pela passagem do efluente. Um filtro permaneceria em operação, enquanto o outro sofreria a manutenção necessária para se obter a eficiência do processo. Seguindo na proposta, há a instalação de um tanque clorador, cuja finalidade é eliminar os organismos patogênicos provenientes do tratamento biológico da ETE.

Por fim, através do recalque de bombas, a água com reduzida turbidez e livre de organismos patogênicos seria encaminhada para uma caixa de água específica para uso em banheiros. Por gravidade a água seria direcionada para os sanitários, reduzindo o consumo de água potável na empresa.

Com a proposta de reutilização de parte do efluente final em descargas de vasos sanitários observa-se a economicidade de água. A economia pode ser verificada na comparação da média do consumo de água da empresa durante o ano de 2020. Para realização dos cálculos, tomou-se como base um mês com 30 dias, o consumo de cada descarga de 12 L (SABESP, 2018) e uma média de 120 descargas diárias, já que a empresa possui 140 colaboradores no seu quadro de funcionários. Foram utilizadas as equações (1) e (2) para os cálculos do volume reutilizado e da economia de água, respectivamente.

$$\text{Volume Reutilizado}(\text{m}^3) = \frac{\text{n}^\circ \text{ descargas} * 30 \text{ dias} * \text{consumo de água na descarga}(\text{L})}{1000 \left(\frac{\text{L}}{\text{m}^3}\right)} \quad (1)$$

$$\text{Economia (\%)} = \frac{\text{Volume Reutilizado (m}^3\text{)}}{\text{Consumo Mensal (m}^3\text{)}} * 100 \quad (2)$$

Na Tabela 5 é apresentado o resultado da economia de água do processo de tratamento da ETE.

Tabela 5: Economia de Água do Processo de Tratamento Proposto na Reutilização Interna do Efluente Tratado da Empresa.

Consumo mensal de água(m ³)	Volume Reutilizado (m ³)	Economia (%)
464	43,2	9,31%

Fonte: Aatoria Própria

Como foram utilizados para o cálculo os valores médios, o percentual de economia pode variar de acordo com os meses e o consumo de água pela empresa. Porém, com base nesses dados, obteve-se um valor de 9,31% de economia no consumo de água, o que demonstra uma alternativa válida de reúso, visto que há um gasto diário de aproximadamente 1,5m³ por dia em uma empresa deste porte.

Ao final do processo, então, parte do efluente seria descartado comumente em corpo hídrico receptor e parte seria destinada ao reúso, conforme demanda, obtendo-se assim uma redução de consumo de água potável relevante para a empresa. Vale ressaltar que, para se atestar a viabilidade econômica da proposta, será necessária uma avaliação criteriosa de cada custo envolvido, sendo que neste trabalho foi possível atestar a viabilidade ambiental, a qual se justifica na redução de 9,31% do consumo de água potável.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O tratamento primário da Estação de Tratamento de Efluentes da empresa de cosméticos não era suficiente para remoção de DQO do efluente bruto conforme o limite estabelecido pela legislação, que é de 330 mg L⁻¹. Remoções de cerca de 40% eram obtidas com o tratamento primário, porém, com a posterior adição do tratamento secundário, foi possível remover até 99% da DQO do efluente bruto, tornando possível o descarte do efluente final em corpo hídrico receptor.

Como os parâmetros DQO, pH e temperatura atenderam à legislação de descarte em corpo hídrico, foi realizada, então, uma avaliação do potencial de reúso do efluente tratado. O principal parâmetro estudado foi a turbidez, a qual deveria estar dentro dos limites máximos exigidos pela legislação de reúso do efluente

Com a implementação de um sistema de filtros de carvão ativado e um tanque clorador, parte do efluente tratado poderá ser reutilizado nas descargas de vasos sanitários, viabilizando assim uma alternativa ao descarte em corpo hídrico receptor. Além do viés ambiental, estimou-se uma economia de água de 9,31%, o que se torna expressivo em relação ao consumo de 464 m³ de água potável mensais.

Para trabalhos futuros há a possibilidade de se realizar uma análise da viabilidade técnica e econômica da implementação da proposta vigente neste estudo, o que poderia constituir um ganho interessante, tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental, para a empresa em questão.

REFERÊNCIAS

- ABIDEMI, B. L.; JAMES, O. A.; OLUWATOSIN, A. T.; AKINROPO, O. J.; ORAELOKA, U. D.; RACHEAL, A. E. **Treatment technologies for wastewater from cosmetic industry-a review**. Int J Chem Biomol S, v. 4, n. 4, p. 69-80, 2018.
- ABIHPEC, BRAZILIAN ASSOCIATION OF THE COSMETIC. **Higiene Pessoal, Perfumaria e Panorama do setor**, p.6, 2019.
- AISSE, M. M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 192.p, 2000.
- ALAGHA, O.; ALLAZEM, A.; BUKHARI, A.A.; ANIL, I.; MU'AZU, N.D. **Suitability of SBR for Wastewater Treatment and Reuse: Pilot-Scale Reactor Operated in Different Anoxic Conditions**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 5, p. 1617, 2020.
- ALVES, S. S. **Conservação e Reúso de Água em Indústria de Cosméticos - Estudo de Caso da Natura Cosméticos**. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, 2009.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Water Treatment Plant Design**. McGraw-HILL, 4th edition, USA, p.10, 2005.
- ANVISA. Resolução RDC nº 79 de 29 de agosto de 2000. Ministério da Saúde- MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária** – Anvisa. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br>>. Acesso em: 20 abr. 2021
- Agência Nacional de Águas. **ANA Indicadores de qualidade – índice de qualidade das águas (IQA), 2004** Disponível: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em 20 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro-RJ, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969**: Tanques Sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, Construção e operação. Rio de Janeiro-RJ, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.
- BRANDI, J.; WILSON-WILDE, L. Standard Methods. **Encyclopedia of Forensic Sciences: Second Edition**, [s. l.], p. 522–527, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00237-3>. Acesso em 18 abr. de 2021
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. **Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2011.
- BRASIL. Resolução CONSEMA nº 355, de 19 de julho de 2017. **Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**. Diário Oficial do Estado, Rio Grande do Sul, RS, 2017.
- Brausch JM, Rand GM. **A review of personal care products in the aquatic environment: environmental concentrations and toxicity**. Chemosphere. 2011 Mar;82(11):1518-32. doi:

10.1016/j.chemosphere.2010.11.018. Epub 2010 Dec 23. PMID: 21185057.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia técnico ambiental da indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos**, 2004.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2003**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, p. 273, 2004. Disponível em: http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/biblioteca_virtual/bv_informativos_tecnicos/Relat%C3%B3rio%20Anual.pdf. Acesso em 15 abr. de 2021

COMIN, Arielle Medianeira. Proposta de tratamento complementar ao efluente proveniente de uma indústria de cosméticos. Universidade do Rio Grande do Sul, 2017.

DIAS DE SOUSA, Carlos Antônio; JUNIOR, Niécio. **Impermeabilização em sistema de Rede de Esgoto Sewage Waterproofing**, 2019.

GALEMBECK, Fernando; CSORDAS, Yara. **Cosméticos: a química da beleza**. Disponível em: <http://creativecommons.org.br/http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/br/>. Acesso em: 16 mar. 2021.

GIORDANO, O. Gandhi. **TRATAMENTO E CONTROLE DE EFLUENTES INDUSTRIAIS** Diretor Técnico da Tecma-Tecnologia em Meio Ambiente Ltda. [S. l.: s. n.], [s. d.].

HESPANHOL, Ivanildo. **A new Paradigm for Water Resource Management**, 2008.

HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, p. 75–95, 2002.

MARONEZE, Mariana Manzonj; ZEPKA, Leila Queiroz; VIEIRA, Juliana Guerra; QUEIROZ, Maria Isabel; LOPES, Eduardo Jacob. **A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais**. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

MELO, Elisa Dias de. **Toxicity identification and evaluation of cosmetic industry wastewater**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

METCALF & EDDY, Inc. an AECOM Company; ASANO, Takashi; BURTON, Franklin; **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**, 2007.

MORAES, Leila Cristina Konradt. **Estudo dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para obtenção de água potável**. Dissertação de Mestrado(Universidade Estadual de Maringá), 2004.

NARAYANAN, C. M.; NARAYAN, Vikas. **Biological wastewater treatment and bioreactor design: A review**. BioMed Central Ltd, 2019.

NATURA. **Relatório anual 2007**. São Paulo, 2008, 126 p.

OLIVEIRA, Ivo Freitas. **Evolução nos Sistemas de Tratamento de Esgoto e a melhoria na qualidade da água na bacia do Rio Jundiáí**. São Paulo, 98 p., 2018.

PEIRANO, Mario MF. **Sistema de Tratamento de Efluentes: Manual prático operacional Controle e Manutenção**. Editora Pallotti, 2014.

QUERNE, Karina de Carvalho; PASSIG, Fernando Hermes; KREUTZ, Cristiane. **Tratamento de Efluentes**, UTFPR, Paraná, 94 p, 2011.

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=595#:~:text=Ao%20dar%20descarga%3A&text=Um%20vaso%20sanit%C3%A1rio%20com%20v%C3%A1lvula,vazamentos%20assim%20que%20forem%20notados>>. Acesso em: 20 março de 2021.

SEBRAE, Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Estudo sobre o segmento de Cosméticos na Bahia**, p10, 2016.

SILVA, Evandro Gomes da. **Tratamento Terciário de Esgoto**. Disponível em: <<https://www.doccity.com/pt/tratamento-terciario-de-esgoto/4830840/>>. Acesso em 10 mar. de 2021.

SILVA, Roselir Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; NOGUEIRA, Ina de Souza. **Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 217–228, 2018.

SOUZA, Fernanda Siqueira. **Degradação de compostos farmacêuticos por processos oxidativos avançados (O₃, O₃/UV, O₃/Fe²⁺, O₃/UV/Fe²⁺) visando o tratamento de efluentes hospitalares**. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Química - Universidade do Rio Grande do Sul, 2015.

STACKELBERG PE, Furlong ET, Meyer MT, Zaugg SD, Henderson AK, Reissman DB. **Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking-water-treatment plant**. *Sci Total Environ*. 2004 Aug 15;329(1-3):99-113. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.03.015. PMID: 15262161.

TELLES, D. A, COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas**. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2007.

TELLES, Dirceu D'alkmin; PACCA COSTA, Regina. Reúso da água: conceitos, teorias e práticas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 2, n. 9, p. 1689–1699, 2010.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão**, Lavapés/Botucatu - SP. *Eclét. Quím.* [online]. 1997, vol.22, pp.49-66. ISSN 1678-4618.

VISVANATHAN, Chettiyappan; ASANO, Takashi. **The potential for industrial wastewater reuse**. *Wastewater Recycl Reuse Reclam*, v. 1, 2009.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

VON SPERLING, Marcos; DE LEMOS CHERNICHARO, Carlos Augustos. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. IWA publishing, 2005.

ZUCCARI, Maria Lucia; GRANER, Celso Augusto Fessel; LEOPOLDO, Paulo Rodolfo. **Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em águas e efluentes por método colorimétrico alternativo**, 2005.