UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

ÁREA DE CONHECIMENTOS DAS CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIEL HECKLER

AVALIAÇÃO DA MUDANÇA NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM VISTAS PARA O REÚSO

CAXIAS DO SUL
2022

GABRIEL HECKLER

AVALIAÇÃO DA MUDANÇA NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM VISTAS PARA O REÚSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Área de Conhecimentos das Ciências Exatas e Engenharias como parte dos requisitos para optenção de Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, sob orientação da Prof. Dr. Lademir Luiz Beal.

CAXIAS DO SUL
2022

GABRIEL HECKLER

AVALIAÇÃO DA MUDANÇA NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM VISTAS PARA O REÚSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Área de Conhecimentos das Ciências Exatas e Engenharias como parte dos requisitos para optenção de Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, sob orientação da Prof. Dr. Lademir Luiz Beal.

Caxias do Sul, 08 de julho de 2022.

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Lademir Luiz Beal – Professor Orientador
Universidade de Caxias do Sul – UCS

_____

Prof. Dr. Luis Antonio Rezende Muniz
Universidade de Caxias do Sul – UCS

_____

Prof.(a) Dra. Renata Cornelli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida. Por isso, primeiramente, agradeço a todos de coração.

A Deus, por me conceder a oportunidade de realizar o sonho de me formar em um curso de graduação;

A minha família, por me apoiar nos momentos mais difíceis, não deixando que eu desanimasse, em especial a minha mãe, meu pai, meu irmão e ao meu filho;

Aos meus colegas de trabalho, que estiveram sempre me apoiando;

Ao professor Lademir Luiz Beal, por me orientar no TCC;

A todo o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental;

A equipe ambiental da empresa, por me fornecerem os dados necessários para que o trabalho fosse concluído;

Obrigado a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu conseguisse chegar a esse momento.

MUITO OBRIGADO.

RESUMO

O reúso de efluente tem sido cada vez mais usado nas indústrias em virtude da economia de água e na redução dos impactos ambientais causados nos recursos naturais. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar a viabilidade técnica de uma modernização da estação de tratamento com uso de membrana osmose inversa como um tratamento terciário, visando o reúso de efluente no processo fabril sem distinção de uso e/ou para as torres de resfriamento. Foram analisadas num periodo de dois anos o resultado das analises mensais coletadas para o atendimento da outorga de lançamento do efluente. Foram realizadas análises dos parâmetros do efluente final: ferro, sílica demanda química oxigênio, dureza, alcalinidade total, cloretos, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, coliformes termotolerantes e pH. A condutividade elétrica comparada com os limites solicitados foi em média de 177µS/cm, abaixo dos 300µS/cm estipulados para não causar problema ao processo. Em relação a dureza que é outro fator determinante, foi detectado um limite muito inferior ao solicitado, sendo medido aos valores inferiores a 4mg$CaCO_3$/L. Os parâmetros de cloretos, DQO, DBO, ferro, sílica, coliformes termotolerantes, turbidez e alcalinidade estão todos abaixo dos limites de uso, sendo o parâmetro de pH o único a ser corrigido para que se possa realizar o reúso do efluente. Conclui-se com o estudo realizado que é possivel realizar o reúso do efluente no processo fabril na industrial, e assim, permitindo uma trégua ao lençol freático e atendimento de outorga.

Palavras-chave: Ultrafiltração, Eletrocoagulação, Osmose Inversa. Reúso.

ABSTRACT

Effluent reuse has been increasingly used in industries due to water savings and the reduction of environmental impacts caused on natural resources. Thus, the objective of this study was to evaluate the technical feasibility of a modernization of the treatment plant using reverse osmosis membrane as a tertiary treatment, aiming at the reuse of effluent in the manufacturing process without distinction of use and/or for the cooling towers. The results of the monthly analyzes collected for the effluent release grant were analyzed in a period of two years. Analyzes of the final effluent parameters were performed: iron, silica, chemical oxygen demand, hardness, total alkalinity, chlorides, electrical conductivity, biochemical oxygen demand, turbidity, thermotolerant coliforms and pH. The electrical conductivity compared to the requested limits was on average 177μS/cm, below the 300μS/cm stipulated to not cause problems in the process. Regarding hardness, which is another determining factor, a much lower limit than the requested was detected, being measured at values below 4mgCaCO3/L. The parameters of chlorides, COD, BOD, iron, silica, thermotolerant coliforms, turbidity and alkalinity are all below the limits of use, with the pH parameter being the only one to be corrected so that the effluent can be reused. It is concluded with the study carried out that it is possible to reuse the effluent in the industrial process, and thus, allowing a truce to the water table and granting service.

Keywords: Ultrafiltration, Electrocoagulation, Reverse Osmosis, Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma simplificado de estação de tratamento de efluentes 35

Figura 2: Sistema de Gradeamento 36

Figura 3: Valores de referência da calha Parshall 38

Figura 4: Sistema de peneiramento de alimentos 39

Figura 5: Informações dos fábricas de peneiras 40

Figura 6: Modelos de Peneiras 40

Figura 7: Caixa separadora de água e óleo 41

Figura 8: Ilustração do funcionamento da coagulação 42

Figura 9: Esquema representativo do processo de eletrocoagulação 43

Figura 10: Sistema de eletrocoagulação. 44

Figura 11: Adensador de lodo 45

Figura 12: Flotador do tipo flotação por ar dissolvido 47

Figura 13: Sistema de lodo ativado 49

Figura 14: Reator Biológico MBBR 50

Figura 15: Biocontactores 52

Figura 16: Biodisco 52

Figura 17: Filtro biológico 53

Figura 18: Filtração por membranas 54

Figura 19: Esquema de filtração frontal 56

Figura 20: Esquema de filtração cruzada. 57

Figura 21: Osmose reversa 58

Figura 22: Esquema de filtração por osmose inversa. 59

Figura 23: Abrandadores de troca iônica. 60

Figura 24: Fluxograma simplificado de geração do efluente. 63

Figura 25: Máquinas de lavar peças industrial. 63

Figura 26: Fluxograma do sistema convencional de tratamento 65

Figura 27: Fluxograma de como será o sistema com a modernização concluída..... 67

Figura 28: Baterias para eletrocoagulação. 68

Figura 29: Flotador do sistema 68

Figura 30: Meio de suporte para o processo MBBR..... 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de lançamento de efluentes. 27

Tabela 2: Padrões de lançamento 29

Tabela 3: Concentração estabelecidos e eficiência mínima fixada. 30

Tabela 4: Disponibilidade da água na terra 33

Tabela 5: Pontos de captação 71

Tabela 6: Qualidade da água do poço 5 72

Tabela 7: Qualidade da água do poço 6 72

Tabela 8: Qualidade da água pluvial 72

Tabela 9: Qualidade da água de reúso por zeólitas 73

Tabela 10: Qualidade da água após o processo de osmose 74

Tabela 11: Calculo da TIR 76

Tabela 12: Custo por m³ tratado antes da modernização 76

Tabela 13: Custo por m³ tratado depois da modernização 77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Monitoramento de parâmetros 31

Quadro 2: Classificação dos processos de tratamento 34

Quadro 3: Parâmetros e método analítico. 66

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
MBBR	Reator Biológico com Leito Móvel (*Moving Bed Biofilm Reactor*)
MF	Microfiltração
NF	Nanofitração
OI	Osmose Inversa
OR	Osmose reversa
PH	Potencial Hidrogeniônico
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
TIR	Taxa Interna de Retorno
UF	Ultrafiltração
VPL	Valor Presente Liquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 19

2 OBJETIVOS **21**

2.1 OBJETIVO GERAL 21

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21

3. ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS 22

3.1. LEI FEDERALNº 9.433 – POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 22

3.2. RESOLUÇÃO DO CONAMA N° 357 – CLASSIFICAÇÃO E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS E DIRETRIZES AMBIENTAIS 22

3.3. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 54 – ESTABELECE CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA O REÚSO 25

3.4. RESOLUÇÃO DO CONAMA N° 430 – DISPÕE SOBRE CONDIÇÕES, PADRÕES E DIRETRIZES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS 27

3.4.1. Das Definições **27**

3.4.2. Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes **27**

3.5. RESOLUÇÃO CONSEMA N° 355 – DISPÕE SOBRE OS CRITÉRIOS E PADRÕES DE EMISSÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS 28

3.6. RESOLUÇÃO CONSEMA N° 419 – ESTABELECE CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO 31

3.6.1. Das Condições e Padrões para Água de Reúso **31**

3.6.2. Das Condições e Padrões da Água de Reúso para Fins Industriais **32**

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 33

4.1 OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA 33

4.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES 34

4.2.1 Pré-Tratamento **35**

4.2.1.1 Gradeamento *35*

4.2.1.2 Peneiramento *38*

4.2.1.3 Separação de Água e Óleo *40*

4.2.2 Tratamento Primário 41

4.2.2.1 Coagulação e Floculação *41*

4.2.2.2 Eletrocoagulação *43*

4.2.2.3 Sedimentação *45*

4.2.2.4 Flotação *46*

4.2.3. Tatamento Secundário 48

4.2.3.1 Lodos Ativados *48*

4.2.3.2 Reator Biológico de Leito Móvel (MBBR) *49*

4.2.3.3 Biocontactores *51*

4.2.3.4 Biodiscos *52*

4.2.3.5 Filtros Biológicos *52*

4.2.4. Tratamento terciário 53

4.2.4.1. Sistema de trtatamento por membranas *53*

4.2.4.2. Microfiltração *55*

4.2.4.3. Ultrafiltração *55*

4.2.4.4. Nanofiltração *56*

4.2.4.5. Osmose Inversa (OI) *57*

4.2.4.6. Troca Iônica *59*

4.2.4.7. Cloração para desisnfecção *60*

4.2.4.8. Oxidação por Ozônio para Desinfecção *60*

4.3. REÚSO DO EFLUENTE TRATADO 60

5. METODOLOGIA 62

5.1 UNIDADE DE ESTUDO 62

5.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL NO PROCESSO 63

5.3 SISTEMA DE TRATAMENTO CONVENCIONAL 64

5.3.1 Análises Laboratoriais 65

5.4 MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES 66

5.4.1 Sistema de Eletrocoagulação..... 67

5.4.2 Sistema de Reator Biológico de Leito Móvel (MBBR) 69

5.4.3 Filtragem por membranas 69

5.5 ANALISE FINANCEIRA 69

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....71

6.1 CONSUMO DE ÁGUA NO PROCESSO.....71

6.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE NO PROCESSO PRODUTIVO 73

6.3 ANÁLISES DO EFLUENTE TRATADO NA OSMOSE 74

6.4 PROJEÇÃO ONDE O REÚSO PODERIA SER USADO NO PROCESSO PRODUTIVO 74

6.5 ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA MUDANÇA DO SISTEMA DE TRATAMENTO 75

7 CONCLUSÃO.....78

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 79

1. INTRODUÇÃO

A indústria metalmecânica utiliza grandes quantidades de água e consequentemente gera quantidades consideráveis de efluentes líquidos do seu processo. Para que seja feita uma gestão eficiente dos recursos hídricos é necessário desenvolver estratégias de reaproveitamento e reúso de efluentes. Nota-se que a água nem sempre está disponível em qualquer lugar, ela é variável, depende das condições climáticas e das regiões onde ela está localizada e pelo uso excessivo da atividade humana pode ser afetada negativamente pela poluição (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Desta forma, o reúso de água se torna uma alternativa promissora, na direção de minimizar o lançamento de poluentes e o aproveitamento na sua utilização. Aliás, com a execução dos instrumentos de outorga e a exigência pela utilização dos recursos hídricos no Brasil (BRASIL, 1997), outro ponto crucial é a diminuição da carga de poluentes e/ou contaminantes a serem lançados em corpos hídricos para seguir as recomendações da CONSEMA n° 355/2017.

A indústria tem um grande potencial para o reúso de seus efluentes tratados em estações de tratamento, de maneira direta e/ou indireta. (AYOUB, 2021). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através NBR 13969/1997 classifica o reúso conforme sua importância de uso e estabelece austeridade de qualidade conforme seus usos pretendidos.

O processo fabril precisa atender padrões de qualidade de água para não comprometer o processo, assim sendo, desafiador realizar o reúso de efluente tratado na indústria metalmecânica, que não seja somente para as descargas dos vasos sanitários e limpezas. Logo, para realizar o reaproveitamento do efluente tratado da estação é necessário que esta tenha características da água do poço que atualmente é usada no processo industrial.

Com a adoção de um método de reutilização de efluentes, as empresas mostram que estão preocupadas em reduzir os impactos ambientais recorrentes do uso indiscriminado da água, por exemplo, o esgotamento dos mananciais naturais e a poluição de corpos hídricos que servem de receptores desses efluentes. Qualquer que seja a ideia para reutilização, é sempre válida. Além de trazer ganhos reais no âmbito ambiental, também conciliará os ganhos econômicos (MARON JUNIOR, 2006).

A grande dificuldade de reúso do efluente tratado em determinados processos na indústria metalmecânica é pelo fato destes serem quimicamente muito carregados com elevada concentração de sais dissolvidos que tem uma relação direta com a condutividade elétrica, a qual o torna numa água capaz de conduzir corrente elétrica e assim sendo, poderá agredir o

metal e oxidar o mesmo (MARON JUNIOR, 2006).

Para viabilizar a reutilização dos efluentes tratados das estações de tratamento é necessário que este tenha um limite de sais dissolvidos, uma condutividade elétrica baixa, além de outros parâmetros para atender e garantir seu uso no processo industrial. Com essa necessidade foram elecados objetivos para que possamos tratar de corrigir os itens relatados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo realizar um comparativo qualitativo do efluente tratado em uma estação de tratamento convencional verso utilizando um sistema de eletrocoagulação com ultrafiltração e com osmose inversa e validar a eficiência da reutilização do efluente nos mais diversos processos produtivos de uma indústria metalmecânica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com vistas de alcançar o objetivo geral, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

a) caracterizar o efluente tratado atualmente em uma estação de tratamento convencional;
b) avaliar a performance da tecnologia a ser implantada para a mudança no tratamento como a eletrocoagulação, a ultrafiltração e a osmose inversa;
c) avaliar parâmetros do efluente tratado para validar sua reutilização no processo produtivo na indústria;

3. ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

É de fundamental importância que haja o entendimento claro das normativas e leis envolvidas para realizar a gestão de águas em uma organização seja ela privada ou pública. Essa gestão irá proporcionar o uso adequado dos recursos hídricos e consequentemente preserva-los para usos futuros.

Segue normativas envolvendo o uso de águas, descarte de efluentes e reúso de água.

3.1. LEI FEDERALNº 9.433 – POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

A Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e em seus artigos são definidos os meios e objetivos.

Em seus **Art. 1º** e **Art. 2º**, a referida Lei trata dos fundamentos e objetivos dos recursos hídricos, como os deveres e compromissos que deve ter relação a este bem natural, usando com inteligência e incentivando o reúso da mesma para minimizar os impactos.

No **Art. 5º**, a Política Nacional de Recursos Hídricos institui planos para a utilização dos recursos hídricos, enquadramento dos corpos hídricos, limites de usos de forma de outorga, compensações e um sistema de informação de seus recursos.

No **Art. 7º**, trata sobre planos de uso dos recursos hídricos bem como um planejamento em um período de implantação de seus projetos e programas que terão como um diagnóstico de sua situação atual, analise de crescimento futuros, metas de racionalização e incentivando o reúso em casos onde é possível.

3.2. RESOLUÇÃO DO CONAMA N° 357 – CLASSIFICAÇÃO E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS E DIRETRIZES AMBIENTAIS

A Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), dispõe sobre a classificação e enquadramento dos corpos hídricos e diretrizes ambientais.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

- Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5%;
- Águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%;
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30%;

- Ambiente lêntico: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado;
- Ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes;
- Aquicultura: o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático;
- Carga poluidora: quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em um corpo de água receptor, expressa em unidade de massa por tempo;
- Cianobactérias: microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes, podendo produzir toxinas com efeitos adversos a saúde;
- Classe de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros;
- Classificação: qualificação das águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) atuais e futuros;
- Coliformes termotolerantes: bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidasenegativas, caracterizadas pela atividade da enzima galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tensoativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44 – 45ºC, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal;
- Condição de qualidade: qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade;
- Condições de lançamento: condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor;
- Controle de qualidade da água: conjunto de medidas operacionais que visa avaliar a melhoria e a conservação da qualidade da água estabelecida para o corpo de água;
- Corpo receptor: corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente;
- Desinfecção: remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos;
- Efeito tóxico agudo: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos, usualmente letalidade ou alguma outra manifestação que a antecede, em um curto período de exposição;

- Efeito tóxico crônico: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos que afetam uma ou várias funções biológicas dos organismos, tais como a reprodução, o crescimento e o comportamento, em um período de exposição que pode abranger a totalidade de seu ciclo de vida ou parte dele;
- Efetivação do enquadramento: alcance da meta final do enquadramento;
- Enquadramento: estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo;
- Ensaios ecotoxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos aquáticos;
- Ensaios toxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos visando avaliar o potencial de risco à saúde humana; escherichia coli: bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima - glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas;
- Metas: é o desdobramento do objeto em realizações físicas e atividades de gestão, de acordo com unidades de medida e cronograma preestabelecidos, de caráter obrigatório;
- Monitoramento: medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água;
- Padrão: valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente;
- Parâmetro de qualidade da água: substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água;
- Pesca amadora: exploração de recursos pesqueiros com fins de lazer ou desporto; programa para efetivação do enquadramento: conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e final de qualidade de água estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico;
- Recreação de contato primário: contato direto e prolongado com a água na qual a possibilidade do banhista ingerir água é elevada;

- Recreação de contato secundário: refere-se àquela associada a atividades em que o contato com a água é esporádico ou acidental e a possibilidade de ingerir água é pequena, como na pesca e na navegação;
- Tratamento avançado: técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica;
- Tratamento convencional: clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH;
- Tratamento simplificado: clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário;
- Tributário (ou curso de água afluente): corpo de água que flui para um rio maior ou para um lago ou reservatório;
- Vazão de referência: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGRH;
- Virtualmente ausentes: que não é perceptível pela visão, olfato ou paladar; e
- Zona de mistura: região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente.

3.3. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 54 – ESTABELECE CRITÉRIOS E DIRETRIZES PARA O REÚSO

A resolução CONAMA N° 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005), estabelece critérios e diretrizes para o reúso de água a nível nacional, fala sobre a escassez de água em certas regiões, considera que o reúso mantem os recursos hídricos e reduz o lançamento de poluentes e com isso minimiza os custos associados a poluição e mantem a saúde pública e do meio ambiente.

A referida resolução estabelece em seu **Art. 1º**, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulem a prática de reúso de água em todo território nacional.

A resolução adota como critério as seguintes definições no seu **Art. 2º**:

- Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- Reúso de água: utilização de água residuária;

- Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- Reúso direto de água: uso planejado de água, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- Produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;
- Distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso; e
- Usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

Em seu **Art. 3º**, define as modalidades do seu uso direto não potável da água:

- Reúso para fins urbanos: utilização da água para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- Reúso para fins agrícolas e florestais com a aplicação da água para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- Reúso para fins ambientais: utilização da água para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e
- Reúso na aquicultura: utilização da água para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

A prática de reúso da água é avaliada conforme a disponibilidade de recursos hídricos, sendo os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) os responsáveis por essa avaliação e devendo a estes estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo para as diversas modalidades de reúso.

Os Planos de Recursos Hídricos deverão contemplar alternativas e estudos para a reutilização da água de reúso. O Sistema de informações deverá disponibilizar e organizar as informações sobre a prática do reúso.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica deverão:

- Considerar, na sugestão de mecanismos para cobrança e aplicação dos recursos de cobrança, a criação de incentivos para a prática de reúso; e
- Integrar, envolver o Plano de Recursos Hídricos da Bacia, a prática de reúso com as

ações de saneamento e de uso do solo na bacia hidrográfica.

A atividade de reúso deverá ser informada ao órgão competente para fins de cadastro, devendo contemplar a identificação do produtor, distribuidor e usuário, localização geográfica da origem e destinação da água de reúso, a finalidade de uso, vazão e volume diária produzida, distribuída e usada.

3.4. RESOLUÇÃO DO CONAMA N° 430 – DISPÕE SOBRE CONDIÇÕES, PADRÕES E DIRETRIZES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS

A Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), complementa e altera condições, padrões e diretrizes para a gestão de efluentes em corpos receptores a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

3.4.1. Das Definições

Definições em complementação a Resolução n° 357, de 2005, em relação a capacidade de suporte ao corpo receptor, sendo determinado o valor máximo de lançamento de poluente sem comprometer a qualidade da água, maior concentração do efluente que não cause efeito insalubre estatisticamente para a sobrevivência de organismos, concentração expressa em porcentagem para cálculo de poluentes máximos que do corpo receptor suporta.

3.4.2. Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes

Art. 16º, os efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados diretamente no corpo hídrico em condições e padrões previsto nesta Resolução. Foi acrescentado nesta Resolução a condição de lançamento o seguinte item:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C), com remoção de 60% deste;
- Demais parâmetros apresentados no Tabela 1:

Tabela 1: Padrões de lançamento de efluentes.

(continua)

Parâmetros inorgânicos	**Valores máximos**
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd

(conclusão)

Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	**Valores máximos**
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloreto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba

Fonte: CONAMA (2011).

O lançamento de efluentes de estações de tratamento devem ser lançados conforme os padrões definidos desta Resolução. Cabe ao órgão ambiental competente especificar as vazões de referência, os parâmetros a serem atendidos e a ecotoxicidade permita do corpo receptor.

3.5. RESOLUÇÃO CONSEMA N° 355 – DISPÕE SOBRE OS CRITÉRIOS E PADRÕES DE EMISSÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

A Resolução CONSEMA n° 355 de 13 de julho de 2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), trata sobre os padrões e critérios de emissão de efluentes líquidos em águas superficiais

no Estado do Rio Grande do Sul.

Com a necessidade de preservação do meio ambiente a referida Resolução observa a qualidade ambiental, a saúde pública e dos recursos naturais, sendo que fiscaliza as atividades geradoras de efluentes líquidos fixando padrões de emissão dos mesmos garantindo assim a preservação do meio ambiente.

A Resolução caracteriza os tipos de ambientes aquáticos para definir os padrões de lançamentos e quantificar os parâmetros e definir as formas de amostragem conforme cada fonte poluidora. Institui objetivos e metas para a qualidade da água dependendo a seu uso.

Os efluentes líquidos tratados nesta Resolução devem atender aos seguintes padrões de lançamento, apresentados no Tabela 2.

Tabela 2: Padrões de lançamento

(continua)

Parâmetros	**Padrão de emissão**
Alumínio Total	10 mg/L
Arsênio total	0,1 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L
Cádmio total	0,1 mg/L
Cianeto total	0,2 mg/L
Cobalto total	0,5 mg/L
Cobre total	0,5 mg/L
Cor	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Cromo total	0,5 mg/L
Chumbo total	0,2 mg/L
Espumas	Virtualmente ausentes
Estanho total	4,0 mg/L
Fenóis total (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,1 mg/L
Ferro Total	10 mg/L
Fluoreto	10 mg/L
Lítio total	10 mg/L
Manganês total	1,0 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausentes
Mercúrio total	0,01 mg/L
Molibdênio total	0,5 mg/L
Níquel total	1,0 mg/L
Odor	Livre de odor desagradável
Óleos e Graxas: mineral	$\leq$ 10 mg/L
Óleos e Graxas: vegetal ou animal	$\leq$ 30 mg/L
pH	Entre 6,0 e 9,0

(conclusão)

Prata total	0,1 mg/l
Selênio total	0,05 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	≤ 1,0 mL/L em teste de 1 (uma) hora em Cone *Immhoff*
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	2,0 mg MBAS/L
Sulfeto	0,2 mg/L
Temperatura	40ºC
Vanádio total	1,0 mg/L
Zinco total	2,0 mg/L

Fonte: CONSEMA (2017).

Estabelece critérios de amostragem para as fontes poluidoras industriais, determinando condições e exigências para o enquadramento, criando medidas para o licenciamento ambiental para o órgão ambiental tenha base para caracterizar o efluente conforme os insumos e matéria-prima informada. Poderá definir a vazão que está diretamente atrelada ao corpo hídrico receptor e assim definindo corretamente os padrões de lançamento.

Art. 11º, o órgão ambiental competente pode mediante parecer técnico fixar outros padrões de emissão para outros parâmetros não previstos nesta Resolução, em função do contínuo desenvolvimento de novas substâncias tóxicas, com também a mudança do enquadramento do corpo receptor.

Art. 16º, para efeito de controle das condições de lançamento, não é permitida a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, antes do seu lançamento, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação, com a finalidade de diluição.

Para o enquadramento fica estabelecido os seguintes padrões de emissão em função da vazão no Tabela 3:

Tabela 3: Concentração estabelecidos e eficiência mínima fixada.

(continua)

Faixa de vazão do efluente (m^3/d)		**DBO5 (mg/L)**	**DQO (mg/L)**	**SST (mg/L)**	**Fósforo Total**		**Nitrogênio Amoniacal (mg/L)**	**Coliformes Termotolerantes**	
					mg/L	**Eficiência**		**NMP/ 100mL**	**Eficiência**
(1)	Q < 100	120	330	140	4	75%	20	105	95%
(2)	100 ≤ Q < 500	110	330	125	3	75%	20	104	95%
(3)	500 ≤ Q < 1.000	80	300	100	3	75%	20	104	95%

(conclusão)

(4)	1.000 ≤ Q < 3.000	70	260	80	2	75%	20	104	95%
(5)	3.000 ≤ Q < 7.000	60	200	70	2	75%	20	104	95%
(6)	7.000 ≤ Q < 10.000	50	180	60	2	75%	20	104	95%
(7)	10.000 ≤ Q	40	150	50	1	75%	20	103	99%

Fonte: CONSEMA (2017).

3.6. RESOLUÇÃO CONSEMA N° 419 – ESTABELECE CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO

A Resolução CONSEMA N° 419 de 13 de fevereiro de 2020 (Rio Grande do Sul, 2020), estabelece procedimentos e critérios para reutilização da água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais. A referida resolução considera que a prática de reúso da água reduz a descarga de poluentes e assim conservando os recursos hídricos, poderá ser benéfica para culturas agrícolas e deverá garantir a minimização de riscos químicos e biológicos ao meio ambiente.

3.6.1. Das Condições e Padrões para Água de Reúso

Na geração de água de reúso deverão ser atendidas as seguintes condições:

- Padrões de qualidade estabelecidos nos Artigos 11 e 12 desta Resolução, de acordo com a aplicação de água de reúso.
- Monitoramento periódico dos parâmetros, conforme finalidade da água de reúso, na frequência descrita no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Monitoramento de parâmetros

Vazão da água de reúso (m^3/dia)	**Frequência**
Q ≤ 150	Semestral
150 < Q ≥ 300	Trimestral
300 < Q	Bimestral

Fonte: CONSEMA (2020).

- Controle e registro do volume gerado, destinação e eventuais desacordos ocorridos e ações corretivas adotadas e demais registros operacionais.

A referida resolução estabelece para a distribuição ao sistema que deverá fazer uso de sinalização “não potável”, sendo vetada a mistura com outras águas para evitar contaminação cruzada. Na aplicação deverá ser mantida a os padrões de qualidade estabelecidos nos artigos 11 e 12 desta resolução de acordo com a aplicação, deverá ter seus devidos licenciamentos junto aos órgãos ambientais e registros de suas operações.

É vetado o uso de água de reúso em um raio de 70 metros de poços tubulares de captação de água para abastecimento humano. É vetada o uso de água de reúso para fins urbano e agrícolas oriundas de processo industrial.

3.6.2. Das Condições e Padrões da Água de Reúso para Fins Industriais

A qualidade e quantidade da água de reúso para fins industriais deverão obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia de processo industrial a que se destina.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica será tratado um pouco sobre a oferta e demanda de água e das tecnologias existentes no mercado sobre o tratamento de efluentes convencional e sistemas automatizados com uso de produtos alternativos para o tratamento.

4.1 OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA

Segundo Von Sperling (1996), a água é componente mais abundante da terra, presente nos organismos dos seres vivos em sua maior parcela, em alguns seres aquáticos podendo ser de 98%. A água é fundamental para a vida, razão pela qual é importante saber como ela é distribuída no planeta, apresentado na Tabela 4:

Tabela 4: Disponibilidade da água na terra

Tipo de água	**%**	**Tipo de Água**	**%**
Do mar	97		
Geleiras	2,2		
Água doce	0,8	Água subterrânea	97
		Água superficial	3
Total	**100**		

Fonte: Adaptado Von Sperling (1996).

A parcela de 0,8% da água aproveitável para o abastecimento da população, também é a mais suscetível a contaminações, por isso é necessário que se faça uma gestão adequada para preservar esse recurso hídrico tão importante para a manutenção da vida na Terra (VON SPERLING, 1996).

A água é muito importante para os seres vivos e deve ser utilizada de forma consciente, pois é considerado um bem natural finito e vem se transformando ao longo dos anos por causa da poluição (NETO, 2019). De acordo com Bittencourt e Paula (2014), para que se tenha uma boa qualidade de água é necessário a implantação de tratamentos adequados para garantir a qualidade desejada.

Segundo Bernardi (2003), a oferta de água no mundo tem relação direta com a demanda de alimentos e os costumes da população, sendo o crescimento industrial e a agricultura fatores importantes neste consumo. Para Beekman (1996) a demanda de água tende a aumentar e com isso o reúso da água se torna uma alternativa para racionalizar o consumo,

utilizando-a para fins não potáveis, como na indústria.

"A intensidade do uso da água no setor industrial depende de vários fatores, dentre eles: o tipo de processo e de produtos, a tecnologia utilizada, as boas práticas e a maturidade da gestão" (ANA).

4.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os sistemas de tratamento dos efluentes objetivam em reproduzir em curto espaço de tempo, condições para promover a remoção dos contaminantes. Como não existe a possibilidade de descarte direto, a descontaminação deve ser executada por processos que aceleram a remoção destes, podendo ocorrer através de processo físico-químico e tratamento biológico, ou ainda uma combinação de ambos (ZINI, 2019).

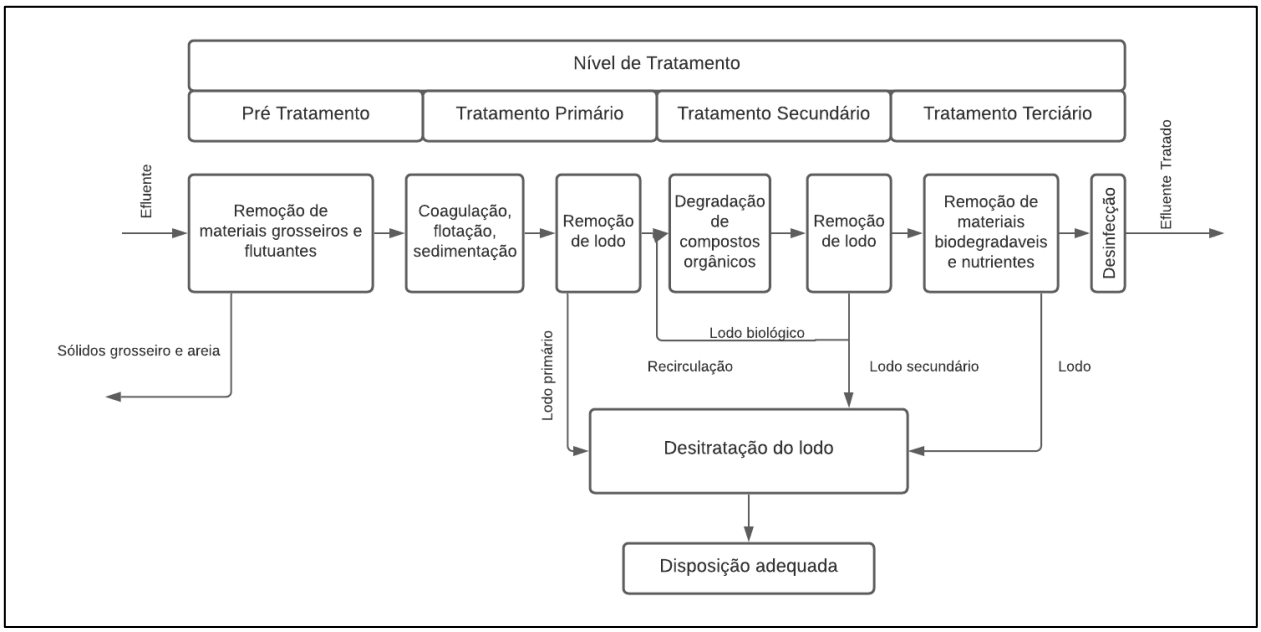
Segundo Jordão e Pessôa (2011), as estações de tratamento podem ser classificadas conforme o grau de sólidos que elas deverão remover e a demanda de químicos e/ou bioquímicos de oxigênio provenientes dos processos. No Quadro 2 e na Figura 1 é apresentado a classificação dos processos de tratamento e um fluxograma simplificado.

Quadro 2: Classificação dos processos de tratamento

Pré-tratamento	• Remoção de sólidos grosseiros • Remoção de gorduras e óleos de graxas
Tratamento primário	• Coagulação / floculação • Flotação • Sedimentação • Eletrocoagulação
Tratamento secundário	• Lodos ativados • Filtração Biológica • Biocontactores / Biodiscos • Reator biológico de leito móvel (MBBR)
Tratamento terciário	• Filtração • Troca iônica • Sistema de filtragem por membranas • Desinfecção (Cloração e/ou ozônio)

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessôa (2011).

Figura 1: Fluxograma simplificado de estação de tratamento de efluentes



Fonte: O autor (2021).

Conforme Neto (218 apud Livinalli et al., 2019, p.15,), o tratamento de efluente convencional nem sempre consegue eliminar de modo completo os contaminantes do efluente, logo, para que a água tratada seja de melhor qualidade até mesmo visando o seu reúso são utilizados outros dispositivos além do convencional, dentre eles, a separação por membranas.

4.2.1 Pré-Tratamento

O pré-tratamento consiste em uma separação forte do efluente, onde serão retiradas todas as sujidades grosseiras, geralmente são usadas grades metálicas para os sólidos e caixas de areia para a desarenação. O processo de pré-tratamento é muito importante para que os equipamentos não sofram danos pelo entupimento da tubulação.

4.2.1.1 Gradeamento

O gradeamento da grande maioria das vezes faz parte da etapa inicial do tratamento para remoção de sólidos, retendo o material grosseiro em suspenção. A grande vantagem deste sistema é a retenção de materiais que possam causar o entupimento de equipamento como bombas, registros, válvulas e tubulações, evitando danificar estes equipamentos. As grades podem ser simples ou mecanizadas, sendo a primeira limpeza manual e a segunda mecanizada (GRANDHI, 2012). Na Figura 2 é apresentado um sistema de gradeamento.

Figura 2: Sistema de Gradeamento

Fonte: Autossutentavel (2020).

Para o dimensionamento do sistema de gradeamento é necessário saber a vazão, a velocidade e a característica de entrada do efluente. Portanto, é essencial seguir um roteiro de cálculos, conforme Equações de 1 até 8.

a) Cálculo das alturas (H) das lâminas para as vazões no medidor Parshall:

$$H = \left(\frac{Q}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Onde:
H: altura da laminas de água (m)
Q: vazão di fluído (m^3/s)
K: constante
n: valor numérico

b) Área útil (A_u):

$$Au = \frac{Qmax}{V} \quad (2)$$

Onde:
Au: altura util da calha (m)
Q_{max}: vazão máxima do fluído (m^3/s)
V: volume (m^3)

c) Área total (At), considerando o escoamento à montante da grade:

$$At = \frac{Au}{E} \qquad e \qquad E = \frac{a}{a+t} \tag{3}$$

Onde:
E: eficiência da grade
a: abertura entre as barras (m)
t: espessura das barras
At: altura total (m)
Au: Altura útil (m)

d) Largura do canal (b):

$$b = \frac{At}{hmax} \tag{4}$$

Onde:
At: altura total da calha (m)
b: largura da garganta (m)
h_{max}: intervalo de altura (m)

e) Verificação da velocidade:

$$hf = 1{,}43 * \left(\frac{V^2 - v^2}{2} * g\right) \tag{5}$$

Onde:
hf: verificação da velocidade (m/s)
v: velocidade (m/s)
g: gravidade (m/s^2)

f) Comprimento da grade (X):

$$x = (h_{max} + h_f + D + 0{,}10) / \sin 45° \tag{6}$$

Onde:
x: comprimento da grade (m)
h_{max}: verificação da velocidade (m/s)
D: diametro (m)

g) Quantidades de barras (n):

$$n = \frac{b}{t+a} \tag{7}$$

Onde:
n: quantidade de barras
b: largura da garganta (m)
a: abertura entre as barras (m)
t: tempo

h) Espaçamento entre as barras externas e a lateral:

$$e = b - [n * t + (n-1) * a] \tag{8}$$

Onde:

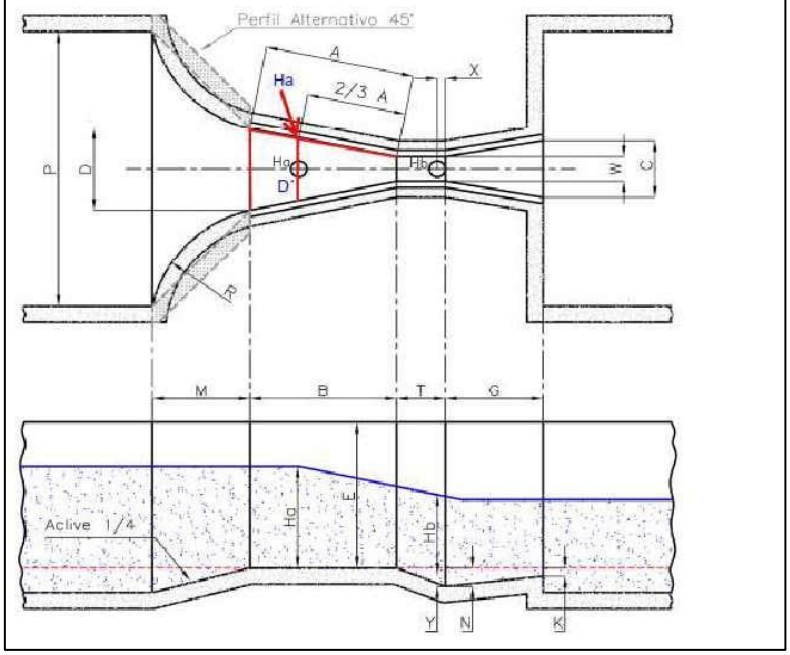
n: quantidade de barras
b: largura da garganta (m)
a: abertura entre as barras (m)
t: tempo

Vazões padrão da calha *Parshall*, que é um dispositivo tradicional para medição do volume de líquido que passa por sua garganta, segue uma normativa para o dimensionamento do gradeamento, exemplificado na Figura 3.

Figura 3: Valores de referência da calha Parshall

Tabela 2 - Características Parshall

W (pol)	W (cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	VAZÃO COM ESCOAMENTO LIVRE (L/s)
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	0,3 - 5,0
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7	2,5	3,8	0,8 - 53,8
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	5,1	7,6	1,4 - 110,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4	5,1	7,6	2,5 - 252,0
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	3,1 - 455,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	4,2 - 696,6
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	11,9 - 937,3
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	17,3 - 1427,2
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	36,8 - 1922,7
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	45,3 - 2423,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	73,6 - 2930,8
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	85,0 - 3437,7
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	349,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	99,1 - 3950,2
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	200,0 - 5660,0



Fonte: UFSM.

4.2.1.2 Peneiramento

Segundo Gandhi (2012), o peneiramento auxilia na remoção de sólidos que possuem medidas superiores a 1mm, capazes de causarem entupimentos. As peneiras com maior utilização possuem uma espessura que pode variar de 0.5mm a 2mm, podendo a limpeza ser mecanizada ou estática. A finalidade da utilização de peneiras é para a retirada, principalmente

de gorduras ou óleo minerais e amplamente empregada em tratamentos de efluentes nas indústrias de refrigerantes, têxtil, pescado, sucos de frutas, frigoríficos, curtumes, cervejarias entre outras. A Figura 4 representa uma peneira para retirada de alimentos.

Figura 4: Sistema de peneiramento de alimentos

Fonte: Tecma (2019).

Dimensões de peneiras rotativas usadas no mercado, conforme a vazão necessária de projeto, usando a Equação 9:

i) Taxa de aplicação:

$$I = \left(\frac{Q_{max}}{A}\right) \quad (9)$$

Onde:
I: taxa de aplicação (m/h)
Q_{max}: Vazão maxima (m^3/h)
A: Area (m^2)

Informações do fabricante:

Nas Figuras 5 e 6 são representadas as medidas padrões e informações dos fabricantes para tomada de desição conforme cálculo específico.

Figura 5: Informações dos fábricas de peneiras

Peneiras – Taxa de aplicação

Abertura (mm)	Taxa de Aplicação (l) ($m^3/m^2.h$)	
	Estática ou Hidrodinâmica	Rotativa
0,25	15	25
0,50	20	45
0,75	25	65
1,00	30	80
1,50	35	100

Fonte: UFSM

Figura 6: Modelos de Peneiras

MODELO	DIÂMETRO TAMBOR (mm)	VAZÃO M3/H	POTÊNCIA MOTOR (CV)	DIMENSÕES (mm)								
				A	B	C	d	D	E	F	G	H
PR610/5/500	610	50	0,25	1100	500	545	6"	8"	550	210	195	720
PR610/5/1000	610	150	0,25	1600	1000	1015	8"	10"	550	210	230	720
PR610/5/1200	610	180	0,25	1800	1200	1215	8"	10"	550	210	230	720
PR610/5/1500	610	225	0,25	2100	1500	1515	10"	12"	550	210	230	720
PR610/5/20 00	610	330	0,25	2600	2000	2015	12"	14"	550	210	295	720
PR610/5/2500	610	375	0,25	3100	2500	2515	12"	14'	550	210	295	720
PR610/5/2700	610	400	0,25	3300	2700	2715	14"	16"	550	250	330	720
PR610/5/3000	610	450	0,25	3600	3000	3015	14"	16"	550	250	330	720
PR610/5/3200	610	480	0,25	3800	3200	3215	16'	18"	550	250	350	720

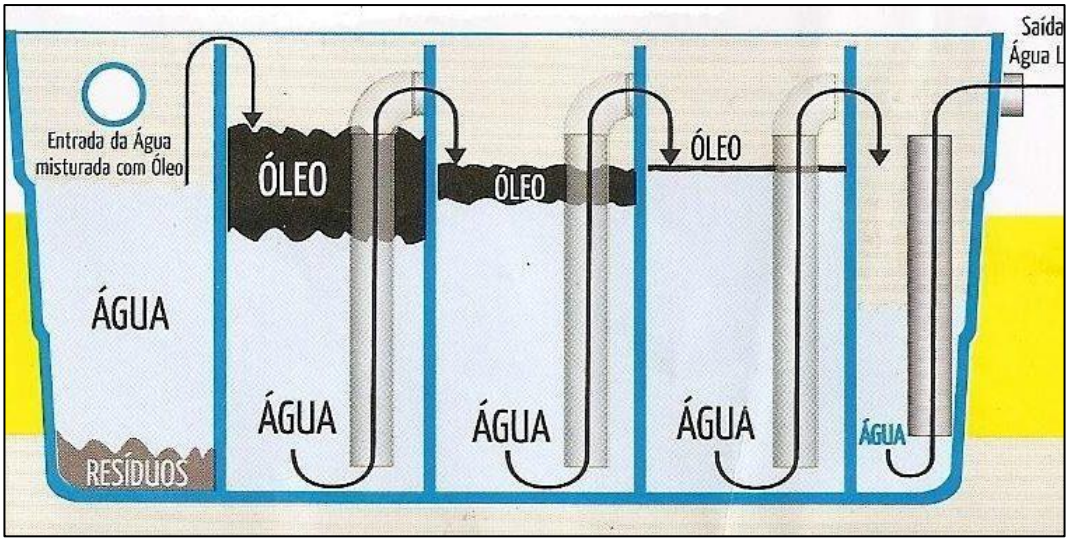
Fonte: UFSM

4.2.1.3 Separação de Água e Óleo

O processo de separação de água e óleo consiste em separar os dois elementos por diferenciação de densidade, sendo normalmente a parte oleosa mais leve recolhida na superfície. No caso onde o óleo ou a borra é mais densa que a água, esta é removida no fundo do tanque (GRANDHI, 2012).

O processo é muito utilizado na indústria de petróleo, postos de combustíveis e oficinas mecânicas, porque é capaz de remover óleo emulsionado (água com óleo), sendo necessário este pré-tratamento antes de destinar para estação de tratamento (GRANDHI, 2012). Na Figura 7 é apresentado uma caixa separadora de água e óleo.

Figura 7: Caixa separadora de água e óleo



Fonte: Dedambiental (2016).

4.2.2 Tratamento Primário

O tratamento primário consiste no processo físico-químico, que busca remover os sólidos suspensos, sedimentáveis e materiais flutuantes através de adição de produtos químicos para neutralizar o efluente e onde ocorre a floculação e coagulação do mesmo, para separar as partículas poluentes. Outra tecnologia utilizada é o tratamento de eletrocoagulação que consiste em aglutinar os poluentes através de descargas elétricas que desprende elétrons dos metias imersos no efluente.

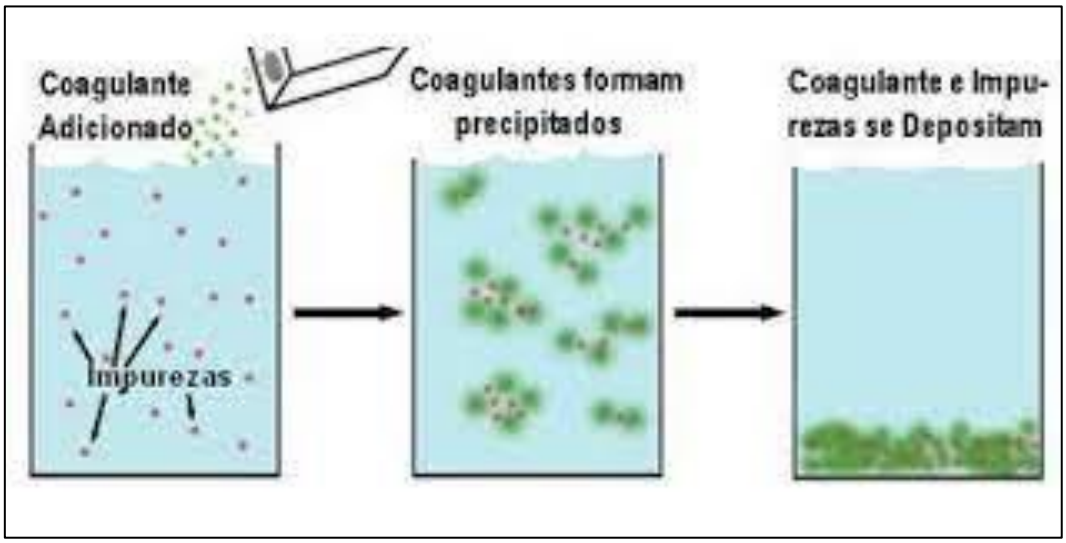
4.2.2.1 Coagulação e Floculação

Os processos físico-químicos aplicados com o objetivo de clarificar efluentes são baseados na desestabilização dos coloides por coagulação, seguido de floculação e separação de fases e após de sedimentação ou flotação. (GANDHI, 2012).

Os efluentes são formados por coloides que são misturas que apresentam aspecto de solução homogenia, mas não são e para separar este soluto há fontes coagulantes que são muito utilizados nesse processo como sais de ferro e de alumínio, sendo também muito eficaz na remoção de fósforo, (GANDHI, 2012).

A desestabilização de coloides pode ser atingida por vários meios, como, o calor, agitação, agentes coagulantes químicos, passagem de corrente elétrica e processos biológicos (GANDHI, 2012). A Figura 8 apresenta o funcionamento da coagulação do efluente.

Figura 8: Ilustração do funcionamento da coagulação



Fonte: naturaltec

Segundo Pereira (2014, apud Vivek e Vinai, 2017, p.13,), os principais coagulantes utilizados são Inorgânicos e Orgânicos:

• Inorgânicos

- Sais de alumínio, $(Al_2SO_4)_3$ .14 H_2O ou Al_2 $(SO_4)_3$.18 H_2O;
- Sais férricos e sais ferrosos ($FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$.7HO);
- Cal ($Ca(OH)_2$).

• Orgânicos

- Polímeros catiônicos;
- Polímeros aniônicos e não iônicos.

O coagulante químico mais utilizado atualmente no Brasil é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$), onde este é adicionado ao efluente para remoção de sólidos dissolvidos e turbidez. Para a remoção da matéria, quando adicionado a água libera cátions e ânions como demonstrado na Reação (1).

$$Al_2(SO_4)_3.18H_2O \rightarrow 2Al^{+3} + 3SO_4^{2-} + 18H_2O \quad (1)$$

Já a reação do sulfato férrico para que a matéria precipite está descrita na Reação (2).

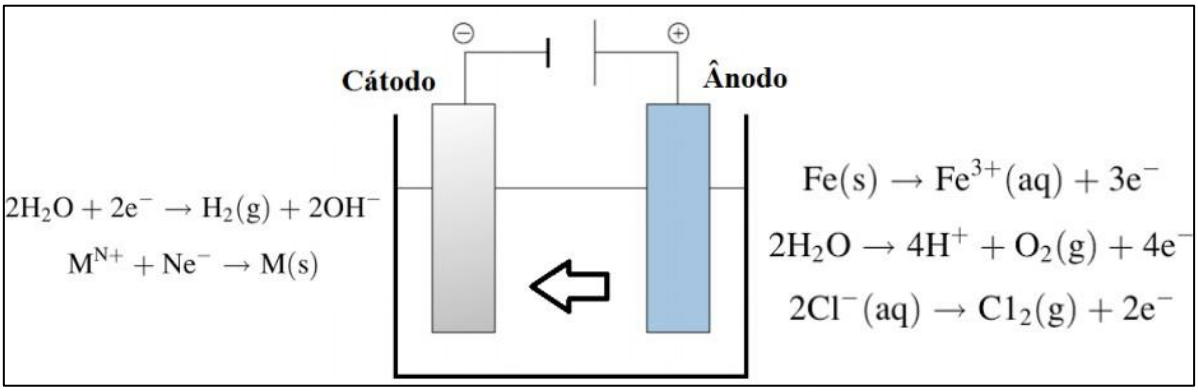
$$2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \quad (2)$$

Estes dois coagulantes são os mais usados no mercado atualmente para tratamentos de águas e efluentes na indústria.

4.2.2.2 Eletrocoagulação

A eletrocoagulação consiste em aplicar uma diferença de potencial em eletrodos que se encontram submersos em uma solução líquida, que envolve fenômenos físicos e químicos, utiliza eletrodos de sacrifício para fornecer íons para a solução que é capaz de remover partículas dissolvidas, sólidos suspensos e óleos e graxas da solução aquosa (MOURA, 2014). O sistema eletroquímico, Figura 9, é composto por um eletrodo positivo (ânodo) e um eletrodo negativo (cátodo). No ânodo ocorre a oxidação do ferro em estado sólido, em íons de Fe^{3+}. Por sua vez, na superfície do cátodo há formação de H_2 e O_2 (Manual de Operação Vabec).

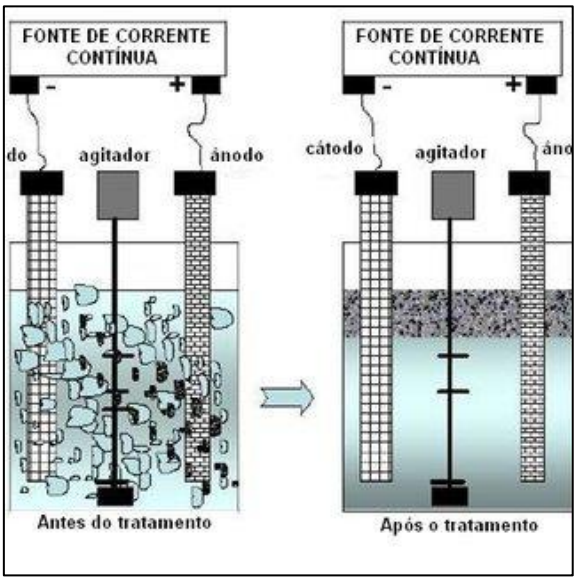
Figura 9: Esquema representativo do processo de eletrocoagulação



Fonte: Ventil Aqua.

A eletrocoagulação, Figura 10, é um processo eletroquímico em que por diferença de potencial ocorre transferência de elétrons onde o anodo sofre oxidação liberando íons metálicos e no catodo ocorre a redução, ocorrendo a formação de íons hidroxila, através da hidrólise da água. Os íons metálicos decorrentes da decomposição do anodo se combinam com os íons hidroxila, formando os hidróxidos metálicos, que favorecem a formação de flocos por desestabilização dos contaminantes ou partículas suspensas. Os flocos formados podem ser separados do líquido por sedimentação ou flotação dependendo da densidade dos mesmos (BENSADOK et al., 2011).

Figura 10: Sistema de eletrocoagulação.



Fonte: SILVA, 2005.

Na eletrocoagulação é minimizado o uso de floculantes químicos, o que evita a formação de lodo residual. Trata-se de um processo eletroquímico baseado na geração de bolhas de ar, geralmente O_2 e H_2, substituindo os aditivos floculantes. Esse processo é dividido em quatro etapas básicas: geração de pequenas bolhas de gás; contato entre as bolhas e as partículas em suspensão; adsorção das pequenas bolhas de gás na superfície das partículas e ascensão do conjunto partículas para a superfície (CARVALHO et al. 2015).

No processo de eletrocoagulação, uma diferença de potencial é aplicada entre um par de eletrodos, que gera uma espécie de coagulantes, através da dissolução eletrolítica de um anodo, que pode ser de alumínio ou ferro. Em geral, o alumínio é usado para o tratamento de água e o ferro para o tratamento dos demais efluentes (CHEN, 2004).

De acordo com Gabriel, 2017 os materiais mais usados como anodo na eletrocoagulação são o ferro e o alumínio, devido à disponibilidade, ao baixo custo, capacidade de funcionamento nos processos, além de serem bons coagulantes. Eles podem se decompor próximo ao anodo produzindo uma série de intermediários ativos que são capazes de desestabilizar as partículas finamente dispersas do efluente.

De forma mais exclusiva, a eletrocoagulação é uma tecnologia que surgiu para o tratamento de efluentes líquidos industriais coloidais. Nos últimos anos, ela vem recebendo atenção em pesquisa e desenvolvimento, mas muito ainda precisa ser feito ainda para entender os mecanismos fundamentais relacionados com os parâmetros de projeto que possam otimizar o processo (VALENTE, 2012).

Alguns testes realizados comprovaram que a maior eficiência no tratamento de efluentes

com eletrodo de alumínio ocorreu em pH igual a 7, onde há maior consumo de energia devido à variação de condutividade. Para a remoção de DQO e cor de efluentes, utilizando eletrodos de ferro, os melhores resultados foram obtidos em testes realizados com pH na faixa acima de 7 (CHEN, 2004).

Assim sendo, o pH é um fator determinante, para o processo de eletrocoagulação, pois determina o tipo de metal que será usado como eletrodo. Chen, 2004 diz que quando há uma maior densidade de corrente aplicada, maior será a taxa de oxidação do anodo e redução do catodo, o que gera um maior volume de agentes coagulantes e de gases hidrogênio e oxigênio, fazendo que haja maior transporte de contaminantes no lodo.

4.2.2.3 Sedimentação

A sedimentação é uma das etapas de clarificação, devendo ser aplicada levando em consideração as características de cada efluente e do processo de tratamento. No caso dos processos que geram lodos, deve se evitar a permanência desses por muito tempo no fundo, para reduzir sua anaerobiose e a formação de gases que podem causar a flutuação de aglomerados de lodos (GANDHI, 2012).

Os adensadores podem apresentar vários tipos de concepção e podem ser mecanizados ou não. Os decantadores podem ser circulares ou retangulares, com limpeza de fundo hidrostática ou com remoção de lodo mecanizada por raspagem ou sucção (GANDHI, 2012). A Figura 11 apresenta um dos modelos mais utilizados.

Figura 11: Adensador de lodo

Fonte: Hidrosul.

Para projetar o sedimentador ou dimensiona-lo tem mais que um método, exemplificado nas Equações 10 e 11:

j) Método de Kynch (1952)

$$F_s = C_s * v_s \quad (10)$$

Onde:
C: concentração
V_s: velocidade de sedimentação (m/s^2)

k) Método de Biscaia Jr.

$$\frac{Q}{S} = (q_i/C_A) * \left(\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_e}\right)^{-1} \quad (11)$$

Onde:
Q: vazão (m^3/s)
S: area de decantação (m^2)
q_i:
C_A: concentração de sólidos (t/m^3)

4.2.2.4 Flotação

A flotação é um processo do tratamento primário, caracterizado como sendo, um elemento físico utilizado para clarificação do efluente e por consequência concentra lodos, a vantagem em relação ao sedimentador é que a área ocupada é bem menor, porém, o custo operacional é mais elevado devido a mecanização do equipamento (GANDHI, 2012).

O processo da flotação forma uma mistura de água floculada com uma corrente de água saturada por sólidos dissolvidos com ar. Fenômenos naturais de aderência provocam a ligação das microbolhas às partículas, produzindo uma baixa densidade que faz com que as subam rapidamente à superfície da lâmina de água (JUNIOR, 2009).

A utilização de floculadores, Figura 12, se dá principalmente nas indústrias de derivados de petróleo e lavanderias, que contenham efluentes carregados de partículas de óleo e detergentes. É um processo unitários de nível primário, sendo aplicado para o espessamento de lodo (GANDHI, 2012).

Figura 12: Flotador do tipo flotação por ar dissolvido

Fonte: Gratt.

A eficiência de um flotador por ar dissolvido depende principalmente da razão entre a massa de ar em relação à massa de partículas em suspensão, fornecendo a fórmula (DI BERNARDO, 1993), segundo a Equação 12.

l) Razão ar/sólidos

$$\frac{A}{S} = (1{,}3 * sa * (f * P - 1) * R)/(SST * Q) \quad (12)$$

Onde:
A/S: razão ar/sólidos (g/g);
sa: solubilidade do ar na temperatura do efluente (cm³/L);
f: fração de ar dissolvido à pressão P;
P: pressão absoluta (atm);
R: vazão de reciclo (m³/d);
SST: concentração de sólidos suspensos no afluente (mg/L);
Q: vazão do líquido afluente (m³/d).

Dimensões do tanque de flotação: São usadas as equações 13, 14 e 15 (GNIPPER, 2008):

m) Área transversal do flotador:

$$S_f = \frac{Q+R}{v_h} \quad (13)$$

Onde:
Sf: área transversal do flotador (m²);
vh: velocidade horizontal (m/d).

n) Base do tanque de flotação:

$$S_f = b_f * H_f \quad (14)$$

Onde:
bf: base do tanque de flotação (m);
Hf: altura do tanque de flotação (m).

o) Comprimento do flotador:

$$A_s = b_f * L_f \quad (15)$$

Onde:
Lf: comprimento do flotador (m);
bf: base do tanque de flotação (m).

4.2.3. Tatamento Secundário

O tratamento secundário é utilizado no processo de remoção de matéria orgânica, bem como para estabilização de substâncias biodegradáveis presentes no efluentes com auxílio de bactérias (PFAFFLIN et al., 2006). Para efluentes industriais, o tratamento biológico tem como objetivo remover ou reduzir a concentração de elementos orgânicos e inorgânicos. Como alguns constituintes presentes nos efluentes industriais são tóxicos para os microrganismos, poderá ser necessário um pré-tratamento (METCALF & EDDY, 2016).

A maioria dos tratamentos de efluentes industriais biológicos consistem em eventos biológicos que ocorrem naturalmente, mas que fluem de taxas elevadas. Estes processos usam normalmente bactérias, no entanto outros organismos também podem desempenhar um papel importante (PFAFFLIN et al., 2006). A seguir estão listados alguns dos processos biológicos de tratamento de efluentes.

4.2.3.1 Lodos Ativados

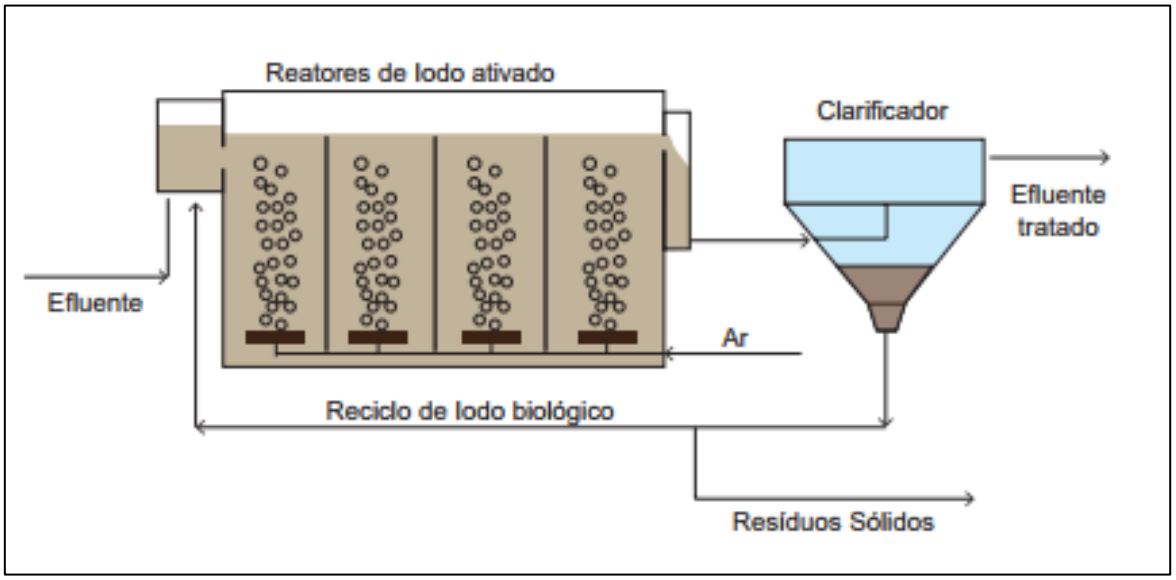
O sistema de lodos ativados é muito usado para o tratamento da matéria orgânica na indústria e dos esgotos domésticos, em situações onde há elevada geração de efluentes e pouca área. No entanto, o sistema de lodo ativado requer uma demanda de mecanização, para uma sofisticada operação e que acarreta em consumos de energia elétrica (VON SPERLING, 1997).

Segundo Von Sperling, 1997 nos reatores, Figura 13, ocorrem reações bioquímicas que degradam a matéria orgânica. A biomassa é utilizada como alimento para as bactérias se desenvolverem e formarem flocos biológicos, assim, permitindo que a sedimentação dos

sólidos do efluente final aconteça no decantador permitindo que somente saia o clarificado. A recirculação da biomassa é o princípio básico para o sistema de lodos ativados.

A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante a eficiência na remoção de DBO. Portanto, há necessidade de se estabilizar o lodo biológico excedente. Também se procura evitar que aconteça a geração de alguma outra forma de lodo, que venha necessitar de uma posterior estabilização. Dessa maneira, se evita a necessidade de se estabilizar o lodo primário. Com isso, se obtém uma simplificação considerável do sistema, porque não há necessidade de decantadores primários e unidades de digestão de lodo. O fornecimento de ar no reator é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso (VON SPERLING, 1997).

Figura 13: Sistema de lodo ativado



Fonte: Logicambiental

4.2.3.2 Reator Biológico de Leito Móvel (MBBR)

"Moving Bed Biofilm Reactor" pode ser traduzido como Reator Biológico com Leito Móvel e consiste em uma tecnologia baseada na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (biofilme). O processo pode ser implementado tanto para o caso de novas ETEs, assim como pode ser utilizado de forma adaptada ao processo de lodos ativados de ETEs existentes (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Oliveira, 2008 no reator biológico são adicionados em suspensão meios de suporte plásticos de baixa densidade, que movimentados à agitação promovida pelo sistema de aeração ou de mistura, apresentam elevada mobilidade e, consequentemente, exposição e contato com a massa líquida em suspensão. Trata-se assim de um reator biológico híbrido, no

qual organismos decompositores são mantidos tanto em suspensão na massa líquida, como também aderidos ao meio suporte.

O MBBR, consiste em uma criação de biomassa em área superficial do meio de suporte, assim proporcionando o crescimento e elevando o tempo de retenção celular. A concentração de sólidos em suspenção é mantida mais tempo aderida ao meio de suporte, assim, permitindo a decomposição da matéria orgânica e de compostos nitrogenados, que resulta em menores volumes do reator biológico.

Em geral, a maior aplicação da tecnologia tem como objetivo incrementar o desempenho de unidades de tratamento biológico já existentes, por meio da transformação de processos de lodos ativados em reatores MBBR, Figura 14, ou como unidade complementar, combinada ou não a remoção físico-química (OLIVEIRA, 2008).

Figura 14: Reator Biológico MBBR

Fonte: Autor (2021).

O processo MBBR depende da ação da biomassa aeróbia em suspensão e aderida. Como em qualquer processo biológico, em ambos os casos há presença de bactérias e protozoários, sendo que os principais agentes decompositores da matéria orgânica são as bactérias heterotróficas (VON SPERLING, 1996).

Além de desempenharem a depuração da matéria orgânica, as bactérias possuem a propriedade de se aglomerarem em unidades estruturais como flocos, biofilmes ou grânulos (VON SPERLING, 1996).

A utilização do substrato disponível no meio pela ação das bactérias se dá basicamente de acordo com dois principais mecanismos: ação de endoenzimas bacterianas após a absorção da matéria orgânica facilmente biodegradável (solúvel); e a atuação de exoenzimas bacterianas sobre a matéria orgânica de degradação lenta (particulada ou em suspensão), por meio de hidrólise, a fim de solubilizá-la e torná-la também assimilável (OLIVEIRA, 2008).

Com relação à biomassa em suspensão, os microrganismos tendem a se concentrar, formando uma unidade estrutural mais ampla e denominada floco. Este apresenta uma estrutura heterogênea contendo material orgânico adsorvido, material microbiano produzido para a estruturação da própria matriz do floco e outras células vivas e mortas (VON SPERLING, 1996).

Para o cálculo de carga orgânica volumetria em um reator MBBR é usada a referência de COV, que corresponde a razão entre a carga orgânica do reator biológico e o volume do mesmo, dada por KgDBO ou DQO.m^{-3}.d^{-1} e representada através da Equação 16.

p) Carga Volumétrica Orgânica

$$COV = \frac{Carga\ de\ DBO\ ou\ DQO\ aplicada}{(Volume\ do\ reator)} \quad (16)$$

4.2.3.3 Biocontactores

O processo de biocontactores, Figura 15, é baseado em biofilme em um suporte como tubos corrugados ou outros que permitem o contato alternado com o efluente com o suporte e o ar atmosférico (GANDHI, 2012).

Segundo Gandhi, 2012 a produção de biomassa se dá ao contato contínuo, e o crescimento da camada do biofilme inviabiliza a transferência de oxigênio e alimento para os microrganismos na parte interna do suporte. Com a falta de oxigênio a mortandade dos microrganismos aumenta, o lodo despende-se em forma de placas e pequenos flocos e se separa a sedimentação, sendo a fase decantada considerada como efluente tratado.

Figura 15: Biocontactores

Fonte: PTAR (2013).

4.2.3.4 Biodiscos

Nesse sistema os discos vão girando vagarosamente, mantendo cerca da metade da área superficial imersa no efluente e a outra metade exposta ao ar. Os discos usualmente tem menos de 3,6 m de diâmetro, sendo geralmente de plástico de baixo peso. Quando esse mecanismo é posto em funcionamento, os microrganismos começam a se aderir na superfície dos discos, envolvendo toda sua superfície por uma fina camada biológica. Essa comunidade de micróbios produz elevado grau de tratamento para um tempo relativamente pequeno de detenção (VON SPERLING, 1996).

O biodisco Figura 16, possui uma película de microrganismos com aparência rugosa, que se projeta para fora, no sentido do filme adjacente de efluente, proporcionando uma área superficial biológica grande (GANDHI, 2012).

Figura 16: Biodisco

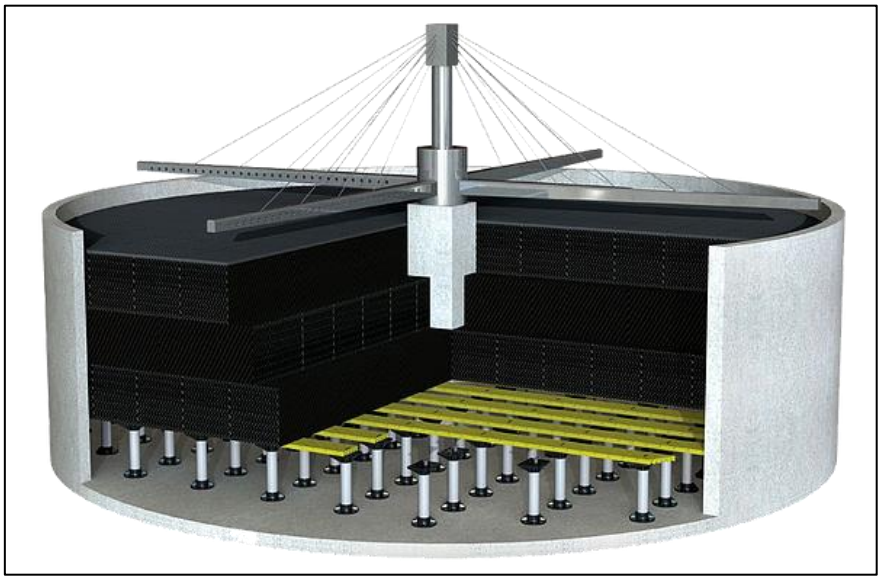
Fonte: *Slideplayer*

4.2.3.5 Filtros Biológicos

De acordo com Gandhi (2012), esse é o processo de tratamento biológico de efluente

mais antigo do mundo usado racionalmente. A diferença desse processo para o biodisco é que no filtro biológico, Figura 17, o leito é fixo e a distribuição é móvel. Sua grande vantagem é a grande capacidade de amortecimento de cargas orgânicas e as variações de pH. Muitas vezes, esse sistema é utilizado como complementação de outro processo de tratamento. Nesse caso se aproveita o baixo custo de operacional e a redução de carga orgânica que pode atingir 60%, complementando a eficiência desejada com outro processo de custo mais elevado.

Figura 17: Filtro biológico



Fonte: Hemase.

De acordo com Von Sperling, 1996, outra forma de se melhorar a eficiência dos filtros biológicos, ou de se tratar esgotos mais concentrados em matéria orgânica, é através da utilização de dois filtros em série, denominado como um sistema de filtros biológicos de dois estágios.

4.2.4. Tratamento terciário

O tratamento terciário de efluentes remove poluentes específicos, que não são removidos nos tratamentos biológicos convencionais. Processo de polimento final para que o efluente apresente melhor qualidade para ser lançado ao meio ambiente e/ou ser reaproveitado em diversos sistemas na organização.

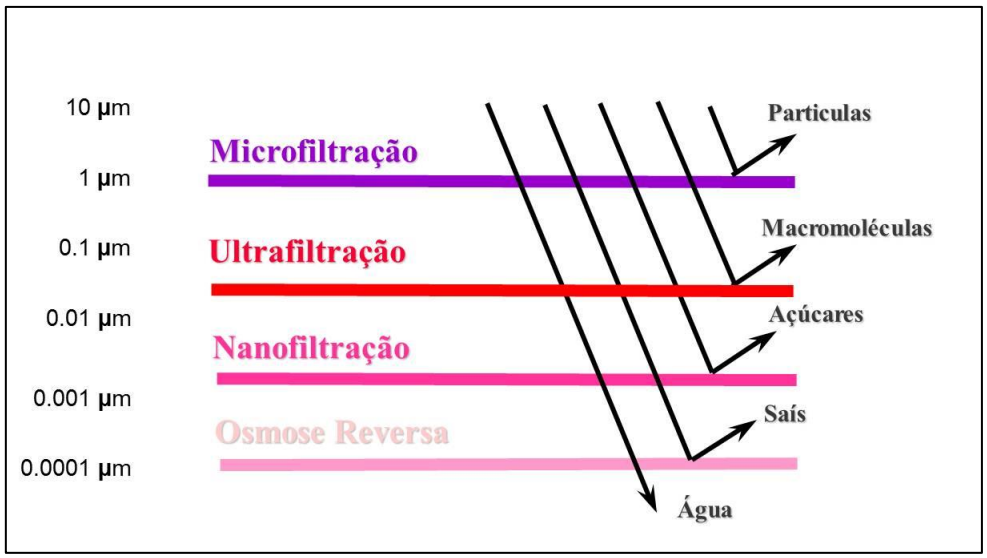
4.2.4.1. Sistema de trtatamento por membranas

As membranas tem duas funções básicas que são o controle da passagem ou manter um determinado sólido de alta ou baixa massa molecular, espécies iônicas, coloides e particulados, dentre eles microrganismos. É importante ressaltar que não ocorrem transformações químicas

ou biológicas no processo de separação da membrana (BERTOLOSSI, 2019).

Interpretando a Figura 18 é possível observar que a osmose reversa é o sistema que tem maior capacidade de filtragem, por isso, conseguiria eliminar todos os tipos de contaminantes possivelmente presentes. Porém, isso não é possível em razão das pressões de operação envolvidas, ou seja, quanto maior a pressão de operação de um sistema, menor é a sua tolerância a sólidos em suspensão. Por isso, tendo a necessidade de pré-tratamentos para operação correta de sistemas como nanofiltração e osmose reversa (MANCUSO et al., 2021).

Figura 18: Filtração por membranas



Fonte: Manual Ventil Aqua

De acordo com Uragami, 2017, sistema de separação por membranas são empregadas nos mais diversos processo e funções, são usadas nos mais variados processos e setores da indústria, na medicina e no saneamento. Processos de separação por membranas são classificados por força motriz, que são:

- Potencial elétrico: eletrodiálise e eletrosmose;
- Gradiente de temperatura: destilação e termo osmose;
- Gradiente de concentração: pervaporação, diálise, osmose indireta; e
- Gradiente de pressão: separação de gases; microfiltração – MF, ultrafiltração – UF, nanofiltração – NF e osmose reversa ou inversa – OR.

O desenvolvimento de tecnologia dos materiais para filtragem de membranas e a produção favorece a diminuição da força motriz externa. Outros fatores que ajudaram a difundir o uso de membranas filtrantes foram o aumento da competitividade da tecnologia com relação aos custos de operação e de produção do material (JUDD, 2010), além dos limites legais de qualidade das águas para abastecimento, sofrerem alterações mais restritivas, inviabilizando a

utilização apenas de tratamentos convencionais.

4.2.4.2. Microfiltração

A microfiltração consiste em separação e peneiramento do permeado, o principal mecanismos é a exclusão por tamanho, ou seja, as impurezas são retidas conforme o tamanho na faixa de 0,008 a 2,0µm (SINGH, 2014).

A microfiltração (MF) é o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica. O diâmetro dos poros dessas membranas está na faixa de 0,1 e 10 µm. Como elas são relativamente abertas, as pressões empregadas são pequenas, não costuma passar de 1 bar SOUSA et al. (2006, apud HABERT, 2015, p.2).

O processo de microfiltração será mais complexo de ser projetado do que nanofiltração ou osmose inversa, devido a retenção dos sólidos suspensos grosseiros que podem travar o permeado pelas membranas se não forem retidos em uma etapa anterior (MANCUSO et al., 2021).

4.2.4.3. Ultrafiltração

A ultrafiltração faz parte do processo de separação por membranas, que consiste em definir uma barreira que separa duas fases de uma solução entre as faixas de 0,005 a 2,0µm. Para que ocorra o transporte de componentes entre as fases é necessário empregar energia externa, como pressão, potencial elétrico ou gradiente concentrado (METCALF e EDDY, 2016).

O processo de ultrafiltração elimina a necessidade de uso de coagulantes ou auxiliares de floculação, usados na microfiltração, assim, este sistema otimiza o processo de filtragem e reduz o risco de perda da capacidade de produção das membranas (MANCUSO et al., 2021).

A decisão da escolha de uma unidade de ultrafiltração deve principalmente levar em conta sua função específica, ou seja, deve-se conhecer qual o contaminante presente no liquido a ser filtrado, assim como seu objetivo: clarificação, purificação ou retenção de compostos específicos da água. Portanto, é necessário conhecer e escolher a membrana adequada, assim como o tipo de polímero utilizado na membrana e as características de tamanho de poro. O conhecimento dessas características é importante para impedir fenômenos que limitam o funcionamento do sistema (MENG et al., 2009). A escolha adequada pode evitar o fenômeno denominado “fouling”, responsável pelo entupimento da membrana e pela queda no fluxo do permeado, devido ao acúmulo de matéria orgânica e formação de torta bacteriana (MENG et al., 2009).

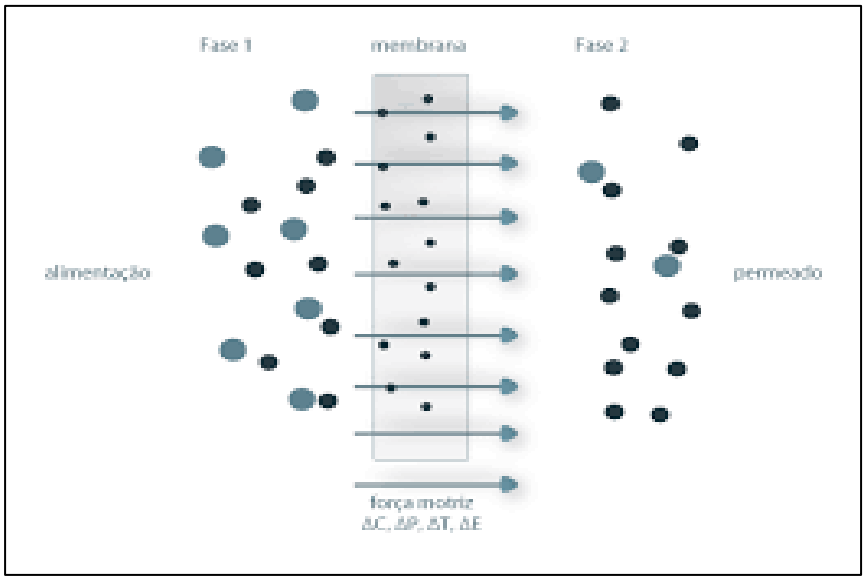
4.2.4.4. Nanofiltração

A nanofiltração é um sistema de filtração intermediário entre a osmose inversa e a ultrafiltração, utilizada para a separação de soluções orgânicas de baixo peso molecular e na desmineralização parcial de correntes liquidas, para remoção de sais diluídos (XIAO-LIN et al., 2008).

A nanofiltração consiste em um tipo de processo de separação que se baseia na separação de elementos usando membranas artificiais e diferenças de pressão. Os processos que utilizam membrana têm ganhando maior aplicação em distintas atividades da indústria química, indústria alimentar e farmacêutica, biotecnologia, medicina e tratamento de águas industriais e de abastecimento, sendo aplicado em etapa final do tratamento para obtenção de parâmetros e eficiência no tratamento dos efluentes como na remoção de DQO (TAYLOR & WIESNER, 1999).

Os processos de filtração em geral podem ser operados em dois modos básicos: alimentação frontal ou tangencial. Na alimentação frontal, o fluxo de alimentação é perpendicular ao meio filtrante conforme Figura 19, onde se observa uma filtragem com o tempo devido a formação de material retido. Neste processo observasse uma maior necessidade de limpeza do meio filtrante e membranas.

Figura 19: Esquema de filtração frontal

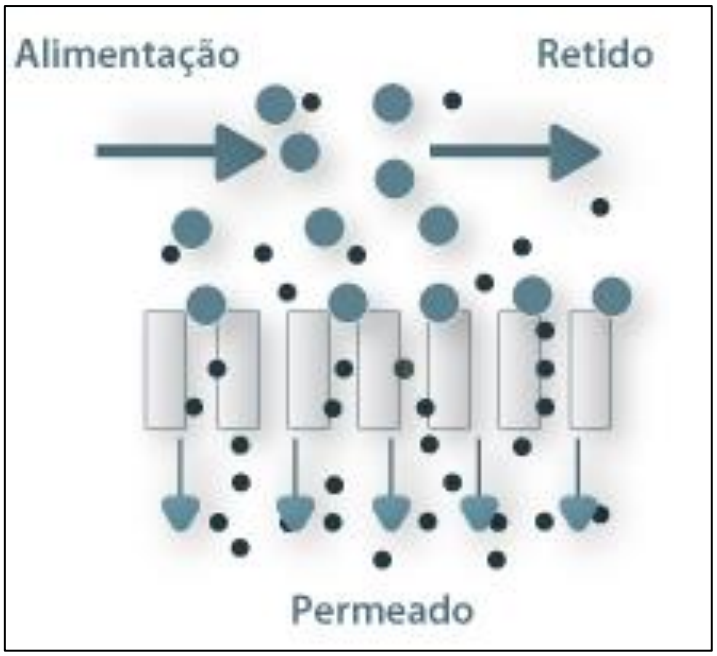


Fonte: HABERT et al., 2006.

Outra forma de operação se dá pela alimentação cruzada, onde a corrente de alimentação é paralela ao meio filtrante. Nesta operação observasse a minimização do acúmulo de substâncias na superfície da membrana, possibilitando uma menor incidência de paradas para

limpeza e manutenções. O permeado é o fluido que passa pela membrana, livre das partículas que ficam retiras em seus poros. O concentrado é retido, incapaz de transpor a membrana de filtração, conforme Figura 20.

Figura 20: Esquema de filtração cruzada.



Fonte: HABERT et al., 2006.

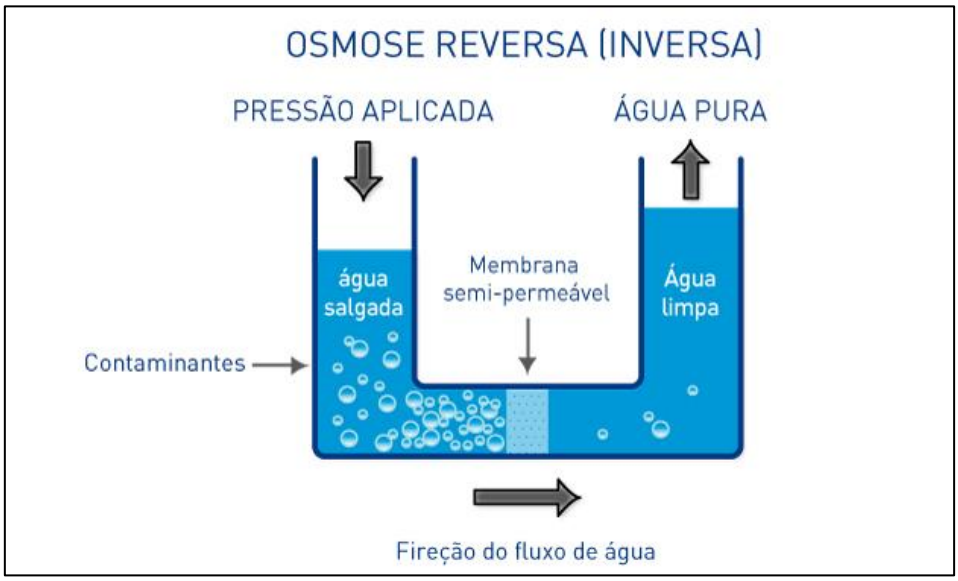
4.2.4.5. Osmose Inversa (OI)

O processo de filtragem consiste na passagem de uma mistura de sólido-líquido em um meio poroso, que retém as partículas sólidas e permite a passagem do liquido. A filtragem pode-se-dar por membranas filtrantes para o polimento final do efluente, retendo assim toda parte de organismos e micropartículas diluídas (GANDHI, 2012).

A osmose inversa consiste em um processo de filtragem de solutos de baixa massa molecular de um solvente, como a água, através de membranas onde a água passa e as impurezas são retidas. O nome inverso origina da direção oposta do soluto, é aplicado uma diferença de pressão sobre a solução mais concentrada (BETTIOL, 2004).

De acordo com Borges (2016), a filtragem por osmose inversa (OI) se apresenta como uma alternativa para purificação de águas contaminadas, devido a seu funcionamento que consiste em forçar a passagem da água por membranas que os íons não possam, conforme demostrado pela Figura 21. A membrana é formada de um composto orgânico polimérico semipermeável onde a água é forçada através de alta pressão a permear pela camada de 2µm, dado que só passará água pura pelos poros. Essa técnica é muito indicada para remover íons de metais alcalinos e alcalinos terrosos, assim como sais de metais pesados.

Figura 21: Osmose reversa



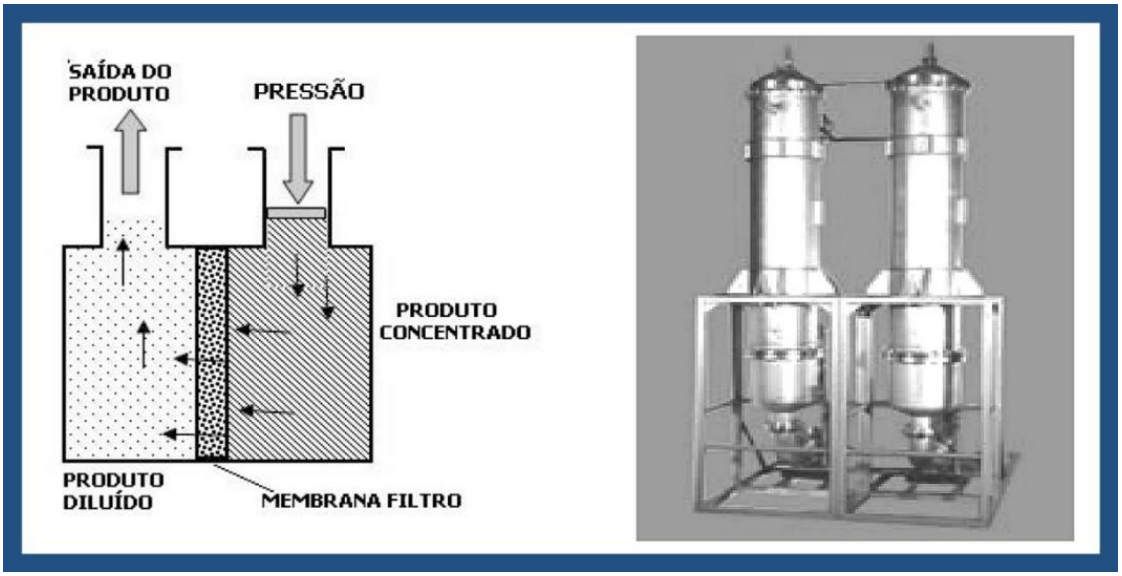
Fonte: Projeto Pentair

A OI é uma técnica que utiliza membranas para dessalinização da água, produz água potável e para tratamento de efluentes. Esta tecnologia tem vantagens devido a construção modular e compacta, com possíveis combinações de outros processos de tratamento. A osmose inversa é um processo que separa uma solução salina por água pura em uma membrana seletiva, a água passará através da membrana para o lado de menor concentração de água, até o equilíbrio osmótico (ROVANI, 2012). Este processo é denominado osmose e o potencial químico é a força motriz desta transferência de massa (VARGAS, 2003).

De acordo com Bettiol, 2004 a osmose inversa é um processo que está diretamente relacionado na separação de solução salina da água pura por uma membrana seletiva, a água passará através da membrana para o lado de menor concentração de água, até o equilíbrio osmótico. Este processo é denominado osmose e o potencial químico é a força motriz desta transferência de massa.

Se uma pressão hidrostática for aplicada no lado da solução salina, o fluxo de água poderá ser reduzido e, com pressão suficiente, poderá cessar. A pressão hidrostática necessária para submeter o processo ao equilíbrio é denominada pressão osmótica (BETTIOL, 2004). Representação na Figura 22.

Figura 22: Esquema de filtração por osmose inversa.



Fonte: Vaportec.

Os filtros usados na osmose inversa para que o efluente tenha a mínima quantidade de impurezas e qualifica o desempenho das membranas pode ter auxilio da Equação 17.

q) Fluxo de permeado

$$Jp = \frac{Vp}{A.t} \qquad (17)$$

Onde:
Jp: fluxo de permeado (L.m^{-2}.h^{-1});
Vp: volume do permeado (L);
A: área (m2);
T: tempo (h).

4.2.4.6. Troca Iônica

Segundo Franco (2011), este processo se baseia no emprego de resinas sintéticas de troca iônica. Acontecendo o sequestro de sais dissolvidos por meio de uma reação química, armazenando esses sais dentro das próprias resinas. É por esse motivo que essas resinas precisam ser trocadas periodicamente.

As resinas são substâncias granulares insolúveis, possuidoras em suas estruturas moleculares de radicais básicos ou ácidos, capazes de proporcionar a substituição dos cátions ou ânions fixados previamente nesses radicais por outros cátions ou ânions presentes no efluente, promovendo dessa maneira, a remoção desejada. (CLAAS, 1994).

Na Figura 23 e apresentado torres de abrandares de troca iônica.

Figura 23: Abrandadores de troca iônica.

Fonte: O autor (2021)

4.2.4.7. Cloração para desisnfecção

A ozonização é um forte agente de oxidação, somente o flúor é mais potente, esse método está sendo muito empregado desde o século passado para eliminar compostos inorgânicos e orgânicos. Contudo, o potencial de contaminação ao meio ambiente é muito baixo, sendo uma alternativa importante para o setor alimentício, que requer uma água sem contaminantes e sem tratamento químico (MARTINS; QUINTA-FERREIRA, 2014).

4.2.4.8. Oxidação por Ozônio para Desinfecção

A ozonização é um forte agente de oxidação, somente o flúor é mais potente, esse método está sendo muito empregado desde o século passado para eliminar compostos inorgânicos e orgânicos. Contudo, o potencial de contaminação ao meio ambiente é muito baixo, sendo uma alternativa importante para o setor alimentício, que requer uma água sem contaminantes e sem tratamento químico (MARTINS; QUINTA-FERREIRA, 2014).

4.3. REÚSO DO EFLUENTE TRATADO

Os autores Telles e Costa (2010), abordaram o conceito de reúso em sua obra.

Pode-se entender o reúso como o aproveitamento do efluente após uma extensão de seu tratamento, com ou sem investimentos adicionais. Nem todo volume de esgoto gerado precisa ser tratado para ser reutilizado, porém existem casos em que estes efluentes exigem um processo bastante específico de purificação. Essas especificações devem sempre respeitar o princípio de adequação da qualidade da água à sua utilização, devendo-se sempre observar uma série de

providências e cuidados, bem como atender as instruções da Norma ABNT 13969/97. (TELLES; COSTA, 2010, p.154).

De acordo com Filho (2009), o reúso da água favorece a diminuição de uso da captação em mananciais e possibilita a substituição da água de melhor qualidade por uma inferior, mas que seja possível de uso. Bernardi (2003) por sua vez ressalta que por meio do reúso da água, sob o ponto de vista estritamente econômico, que esse mecanismo é a melhor resposta que a sociedade pode oferecer no momento para a questão da escassez da água.

Dessa forma, pode-se dizer que atualmente a indústria tem uma posição crucial e enfrenta uma grande pressão frente as questões socioambientais, junto às legislações sobre a gestão das águas e as imposições do comércio nacional e internacional pela melhoria da competitividade. Para enfrentar a este cenário, o setor industrial vem sentindo a necessidade de aperfeiçoar seus processos e de desenvolver sistemas de gestão capazes de atender às especificações do mercado (RIBEIRO, 2009).

A indústria vem investindo nesta modalidade de consumo, pois o custo da água tem se elevando com o passar do tempo. A utilização de efluentes tratados torna-se uma alternativa viável para o uso não potável, visto que o custo deste seria menor que o da água potável (METCALF E EDDY, 2016).

Mancuso e Santos (2003), apresenta diversas possibilidades de uso do efluente na indústria, como para torres de resfriamento, lavagem de equipamentos, irrigação de áreas verdes, lavagem de pisos, incorporação ao processo industrial, principalmente nas indústrias de papel, têxtil, plásticos, curtume, construção civil e petroquímica, lavagem de gases da chaminé, uso sanitário e proteção contra incêndios.

5. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o presente estudo de caso, demandou a coleta de informações na própria empresa, onde foi feito um levantamento de todos os dados aqui expostos.

A análise metodológica usada quanto a sua natureza: como estudo de caso, onde se buscou os conhecimentos para aplicar as soluções dos problemas encontrados; quanto a problemática: esta já era conhecida pela empresa; e quanto os conceitos técnicos: pesquisa bibliográfica e estudo de caso, procurando entender os conceitos das tecnologias empregadas para a solução do problema. No caso deste estudo o objetivo é conhecer as vantagens da reutilização dos efluentes gerados pela empresa.

5.1 UNIDADE DE ESTUDO

A empresa em questão se localiza na Serra Gaúcha, e está inserida no ramo metalmecânico, empregando cerca de 3.600 funcionários. Essa indústria elabora produtos que somam mais de 7.500 itens de cutelaria e utilidades domésticas, que são exportados para mais de 120 países.

Realizou-se o referente estudo em uma unidade específica da empresa, que é responsável pela fabricação de artigos de alumínio, desde a fundição do alumínio para a fabricação de bobinas até o produto pronto para ser comercializado. Através da análise do balanço hídrico da empresa e outros documentos, verificou-se pouco uso na reutilização dos efluentes tratados.

Os métodos utilizados estão divididos em três etapas: visualização das atividades, diagnóstico, análise e avaliação de causas e ações. Na primeira etapa foi realizada a identificação da área de estudo e a caracterização do efluente tratado na indústria, além de levantamentos bibliográficos e pesquisas relacionadas a reutilização de efluentes gerados na indústria.

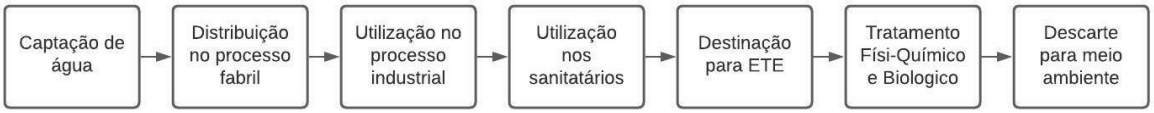
Na segunda etapa foi realizada a identificação e a caracterização dos principais processos de tratamento. Também se utilizou dados fornecidos pela própria empresa. Da mesma maneira, as características físico-químicas do efluente foram identificadas utilizando resultados de análises realizadas pela própria empresa.

Na terceira etapa foram identificados, através de uma avaliação dos processos da empresa os locais, onde o efluente tratado possa ser reutilizado, sem comprometer a qualidade dos produtos fabricados e a saúde dos trabalhadores.

5.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL NO PROCESSO

A indústria objeto do estudo utiliza para seu abastecimento de água industrial, água subterrânea, proveniente de poços profundos. A Figura 24, é demonstrado um fluxograma simplificado do uso da água, que caracteriza a geração de efluente industrial de seu processo.

Figura 24: Fluxograma simplificado de geração do efluente.



Fonte: Autor (2021).

A coleta dos dados primários para o estudo, foram feitos levantamentos nos setores da indústria onde a geração de efluentes é maior, devido a utilização de máquinas de lavar peças, Figura 25, requerem um volume alto de reposição de água em seu processo. A maioria dos contatos foram realizados pessoalmente e outros por correio eletrônico. Já, para a obtenção dos dados secundários, foram realizadas consultas a artigos, livros, dissertações e *sites* pertinentes ao assunto.

Figura 25: Máquinas de lavar peças industrial.

Fonte: Autor (2021).

Outro ponto a ser observado é a geração de efluente sanitário, onde este é encaminhado para fossas sépticas, para retenção de sólidos e a parte líquida destinada para o tratamento biológico na estação de Tratamento de Efluentes.

5.3 SISTEMA DE TRATAMENTO CONVENCIONAL

O sistema de tratamento de efluentes da empresa que serviu como objeto de estudo para o presente trabalho se trata de um sistema que continha tratamento físico-químico com um sistema de lodos ativados.

Os efluentes industriais que são tratados neste sistema passam pelas seguintes etapas: ao chegarem à estação ficam retidos em um tanque de acúmulo, depois são encaminhados para os tanques de decantação, que possuem um volume total de 64 m^3, onde são adicionados os produtos químicos, como soda caustica (NaOH), sulfato de alumínio (Al_2SO_4) e polímeros.

Nos tanques de decantação também acontece a coagulação e a floculação dos sólidos existentes no efluente. Esses tanques possuem movimentadores elétricos com pás, que servem para misturar o líquido. O lodo formado nos tanques é mandado para um tanque pulmão de lodo. Nesse tanque é retirado o efluente proveniente do lodo e a seguir o mesmo é encaminhado para os tanques de aeração (lodos ativados), que possuem um volume total de 400 m^3, juntamente com o restante dos efluentes que estavam sendo tratados no sistema primário. Depois, os efluentes passam por mais uma etapa de coagulação e floculação no decantador secundário. O lodo formado nesse segundo decantador também é mandado para o tanque pulmão de lodo, porém uma parte volta para os reatores de lodo ativado para manter as colônias de bactérias.

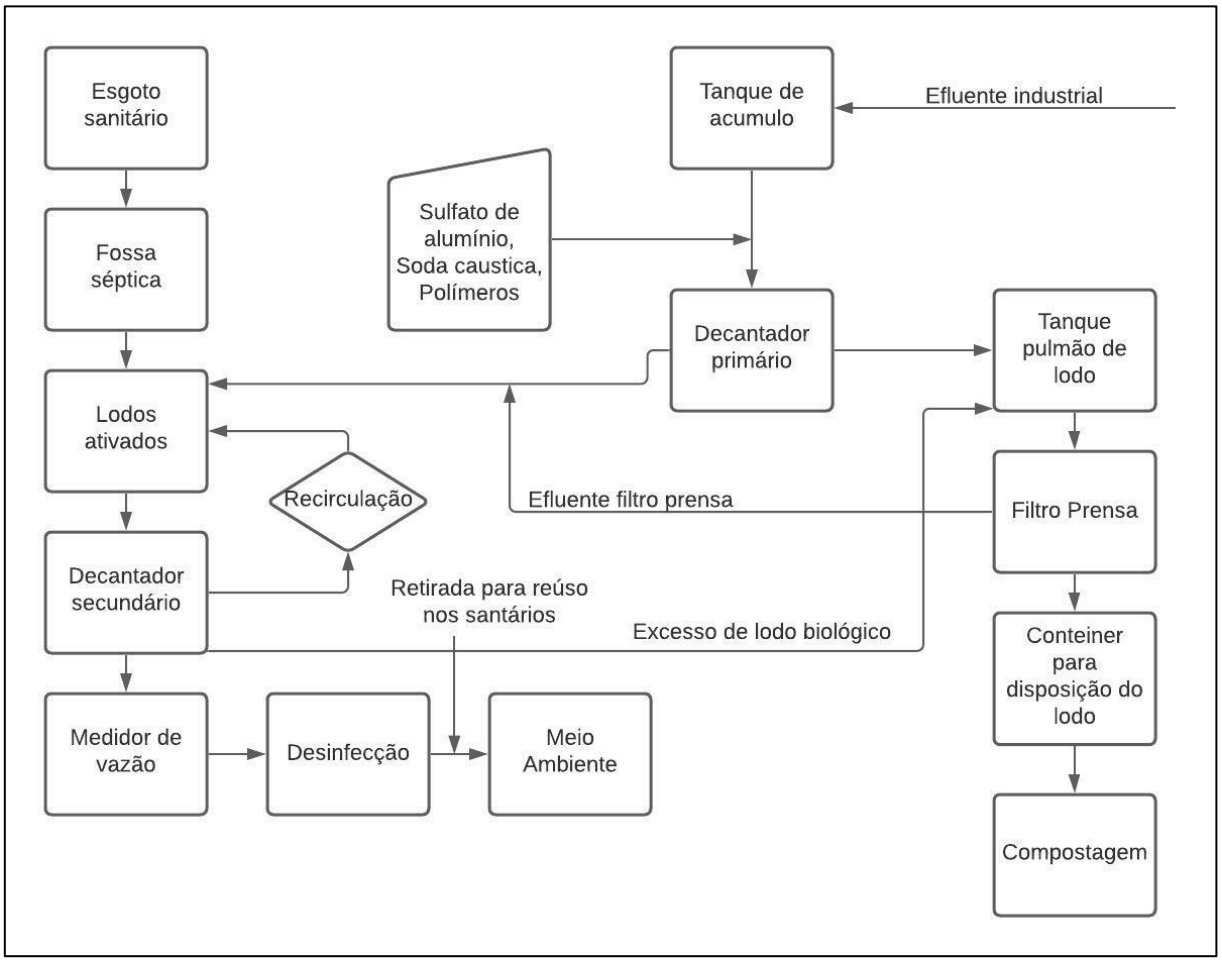
Depois que o efluente secundários passou pelo decantador, ele é descartado em sua maioria no corpo receptor. Além disso, os efluentes específicos de algumas atividades passam por determinados tratamentos preliminares antes que sejam homogeneizados aos demais para tratamento na ETE. Os efluentes contaminados com óleos passam por um separador de óleo-água e o esgoto sanitário por um sistema fossa e filtro para retenção de sólidos.

Na etapa seguinte, o efluente já purificado é descartado no corpo receptor. Todo o lodo produzido no processo é enviado para o tanque pulmão de lodo, onde será desidratado, prensado e posteriormente encaminhado para compostagem em empresa especializada.

A estação de tratamento possui um tempo de detenção hidráulica de 5 dias, considerando a entrada do efluente no sistema de tratamento físico-químico até a saída no último tanque.

Na Figura 26, pode-se visualizar com mais clareza a distribuição dos equipamentos na ETE.

Figura 26: Fluxograma do sistema convencional de tratamento



Fonte: Autor (2021).

5.3.1 Análises Laboratoriais

Para o descarte ao meio ambiente são realizadas análises laboratoriais periódicas por laboratório externo credenciado pelo órgão ambiental do estado, conforme descrito na licença de operação do empreendimento e segue a Diretriz Técnica Nº 5/2017. No Quadro 3 abaixo segue alguns parâmetros e método analítico utilizado:

Quadro 3: Parâmetros e método analítico.

PARÂMETROS	UNIDADE	MÉTODO ANALÍTICO
pH	-	SMWW 4500-H+ 23ª Ed
Demanda Química de Oxigênio	mg O_2/L	SMWW 5220 D 23ª Ed
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg O_2/L	SMWW 5210 D 23ª Ed
Cor Verdadeira	mg Pt/L	SMWW 2120 C 23ª Ed
Odor	-	SMWW 2150 B 23ª Ed
Materiais Flutuantes	-	SMWW 2530 B 23ª Ed
Espumas	-	SMWW2530 B 23a Ed
Fósforo Total	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed
Óleos e Graxas Minerais	mg/L	EPA - 418.1, EPA - 413.2 e EPA -1664.
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	SMWW 2540 D 23ª Ed
Surfactantes	mg/L	SMWW 5540 C 23ª Ed
Teor de Boro	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed
Teor de Alumínio	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	EPA-Vol. 82, Nº 165 - 2017
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	SMWW 4500-NH3 B e C 23ª Ed
Sólidos Sedimentáveis	ml/L	SMWW 2540 F 23ª Ed
Cálcio	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed
Sílica	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed
Alcalinidade Total	mg/L	SMWW 2320 B 23ª Ed
Cloretos	mg/L	SMWW 4500-Cl- C 23ª Ed
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	SMWW 2540 C 23ª Ed
Turbidez	NTU	SMWW 2130 23ª Ed
Temperatura da Amostra	°C	SMWW 2550 B 23ª Ed

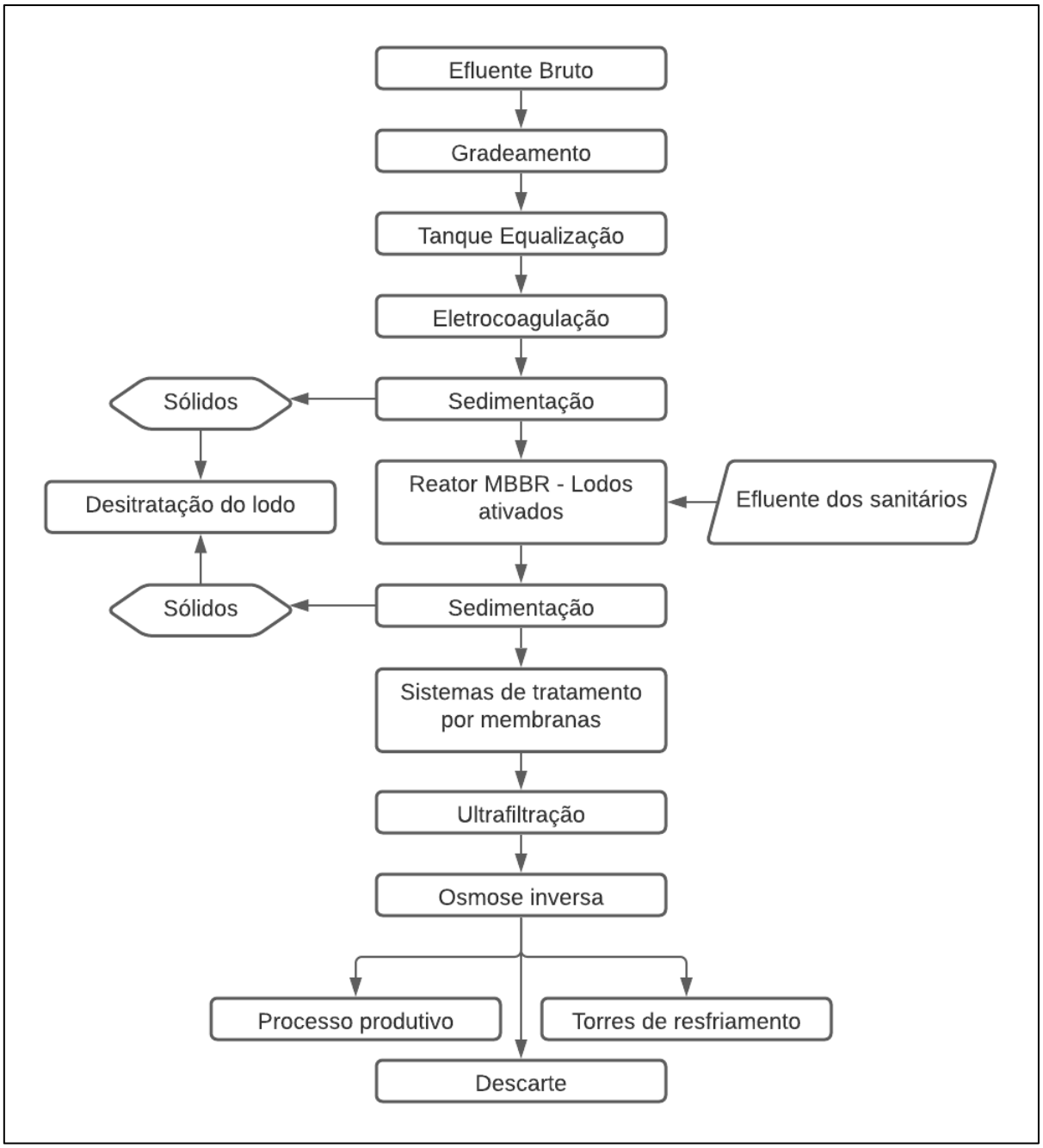
Fonte: Adaptado da licença de operação (2021).

5.4 MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Com a alta demanda por água, para acompanhar o crescimento da indústria e com as restrições de lançamento, está em fase de implantação uma modernização no processo de tratamento de efluente. O processo consiste em minimizar o uso de produtos químicos para realizar a coagulação do efluente, usando o método de eletrocoagulação no tratamento primário, transformar os reatores biológicos de lodo ativado para MBBR (Reatores Biológicos com Leito

Móvel) no tratamento secundário e implantação de um sistema terciário de tratamento com a utilização de ultrafiltração e osmose inversa. O novo processo proposto de tratamento de efluentes é apresentado em forma de fluxograma da Figura 27.

Figura 27: Fluxograma de como será o sistema com a modernização concluída.



Fonte: Autor (2021).

5.4.1 Sistema de Eletrocoagulação

A eletrocoagulação consiste em formar os flocos do efluente com adição mínima de produtos químicos, e com as descargas elétricas realizadas nas baterias, o aço carbono imerso

no efluente desprende partículas, que auxiliam da coagulação, chamado de processo eletroquímico baseado na geração de agentes coagulantes e floculantes por meio de reações que ocorrem do ânodo e no cátodo.

Conforme Figura 28, os equipamentos estão em fase de instalação onde nos 3 tanques sob o mezanino entrará o efluente bruto homogeneizado e a descarga elétrica fará com que os íons de Fe^{3+} das chapas de ferro se desprendem na solução formando o floco no efluente, já no floculador da Figura 29 é feita a separação dos sólidos do efluente clarificados.

Figura 28: Baterias para eletrocoagulação.

Fonte: Autor (2021).

Figura 29: Flotador do sistema

Fonte: Autor (2021).

5.4.2 *Sistema* de Reator Biológico de Leito Móvel (*MBBR)*

O sistema MBBR é um biorreator de lodo ativado de leito móvel desenvolvido em alta tecnologia para auxiliar no tratamento de efluentes na oxidação da matéria orgânica. Desenvolvido em material plástico que em contato com o efluente propícia a fixação dos microrganismos em seu interior, otimizando o crescimento e aumentando a eficiência do tratamento. No reator são colocados o meio de suporte conforme a Figura 30 para aumentar a concentração de biomassa.

Figura 30: Meio de suporte para o processo MBBR

Fonte: Nanoplastc.

5.4.3 Filtragem por membranas

O sistema de tratamento terciário será composto de ultrafiltração, que consiste em uma filtração de sólidos físicos da água, passando através de uma membrana semipermeável para remoção de partículas e macromoléculas de água bruta.

O polimento final do efluente será feito pelo sistema de osmose inversa, para remoção total de sais diluídos, propiciando o reúso do efluente tratado em torres de esfriamento e/ou pelo processo produtivo.

5.5 ANALISE FINANCEIRA

De acordo com Hoji (2006), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é conhecida também como taxa de desconto do fluxo de caixa. A TIR é uma taxa de juros implícita numa série de pagamentos e recebimentos, que tem a função de descontar um valor futuro ou aplicar o fator de juros sobre um valor presente.

O método da Taxa de Retorno, usado para análise de investimentos, assume todos os fluxos. O critério de decisão, quando a TIR é usada para tomar decisões do tipo aceitar-rejeitar, é o seguinte: Se a TIR for maior que o custo de capital (taxa mínima de atratividade), aceita-se o projeto; se for menor, rejeita-se o projeto. Esse critério garante que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa requerida de retorno. Tal resultado deveria aumentar o valor de mercado da empresa e, consequentemente, a riqueza dos seus proprietários (GITMAN, 2002)

A taxa interna de retorno, apesar de ser consideravelmente mais difícil de calcular à mão do que o VPL (Valor Presente Líquido) é possivelmente a técnica mais usada para a avaliação de alternativas de investimentos. A TIR é a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento iguale-se a zero, matematicamente, a TIR é obtida resolvendo-se a Equação 18 para o valor de k que torne o VPL igual a zero (GITMAN, 2002).

r) Valor presente líquido

$$0 = \Sigma_{t=1}^{n} = \frac{F \cdot C_t}{\{1+TIR\}^t} - I_0 \quad (18)$$

Onde:

FC_t – valor presente das entradas de caixa;

I_0 – investimento inicial;

k – taxa de desconto (igual ao custo de capital de empresa);

t – tempo de desconto de cada entrada de caixa;

n - tempo de desconto do último fluxo de caixa.

O método apresentado é baseado no método de tentativa e erro apresentado. Porém, algumas alterações serão feitas para melhorar a precisão dos resultados, melhorando o desempenho.

Para descobrir o período de retorno do investimento feito pela empresa é usado a seguinte logiga da Equação 19:

s) Período de retorno

$$Período\ de\ retorno = \frac{Investimento}{(custo\ atual) - (custo\ situação\ desejada)} \quad (19)$$

Onde:

Período de retorno = Anos

Investimento = $ (equipamentos e periféricos)

Custo atual = $ (gasto com produtos e manutenções)

Custo desejado = $ (o que é esperado)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste trabalhos foram coletados e estudados juntamente com a equipe ambiental dentro da organização.

6.1 CONSUMO DE ÁGUA NO PROCESSO

O consumo de água do processo fabril é proveniente dos poços perfurados e da chuva. Após a captação da água da chuva esta é destinada para caixa d'água central juntamente aquela oriunda dos poços. Dessa forma há uma mistura das águas mencionados.

Pela alta demanda de produção o consumo deste recurso aumentou consideravelmente. Em relação a água da chuva tem uma dependência do clima que acaba afetando também o nível do lençol freático. O nível do lençol freático pode ser duplamente atingido pela estiagem, visto que, com uma menor quantidade de chuva ocorre uma exigência maior da água oriunda do lençol freático e o nível deste acaba não sendo recuperado.

Para realizar a média do consumo de água, considerou-se todo ano de 2021 até março de 2022. Os valores estão apresentados na Tabela 5:

Tabela 5: Pontos de captação

Ponto de coleta de dados	Consumo médio dia (m^3)
Toda Unidade	222
Poço 5	74
Poço 6	76
Pluvial	48
Reúso	12
Consumo Humano	12

Fonte: Autor (2022)

O reúso apresentado na tabela é o efluente tratado na estação de tratamento que após passa por duas torres de zeólitas e posterior dosagem de cloro para desinfecção. A utilização do efluente tratado ocorre para descarga dos vasos sanitários da indústria os quais atende em torno de 46% funcionários.

Para o uso das águas no processo industrial e/ou sanitários é realizado monitoramento da qualidade da água por análises realizadas em laboratório externo e interno. As Tabelas 6 e 7 apresentam a qualidade da água dos poços 5 e 6, já a Tabela 8 aparesenta a qualidade da água pluvial e a Tabela 9 a qualidade da água utilizada nos sanitários.

Tabela 6: Qualidade da água do poço 5

Parâmetro da análise	08/06/2021	26/08/2021	02/12/2021	Limite
Ferro	0,07	0,068	<0,025	< 0,2 mg/l
Sílica *	64,2 *	58,7 *	62,4 *	< 70 mg/l
Dureza	66,7	74	74,1	< 70 mg/l
Alcalinidade Total *	130 *	102 *	150 *	< 100 mg/l
Cloretos	2,58	3,3	<2,50	< 70 mg/l
Condutividade	218 *	217 *	211 *	< 300 uS/cm
Turbidez	<0,30	1,57	0,33	< 15 NTU(CAULIM)
Coliformes Termotolerantes	<1,10	<1,10	<1,10	0
pH	7,9	7,33	7,09	6,8 - 7,5

*Analises internas
Fonte: O Autor (2022)

Tabela 7: Qualidade da água do poço 6

Parâmetro da análise	11/05/2021	26/08/2021	08/11/2021	Limite
Ferro	<0,025	0,061	<0,025	< 0,2 mg/l
Sílica *	67,2 *	62 *	53,3 *	< 70 mg/l
Dureza	73,9	77,9	55,9	< 70 mg/l
Alcalinidade Total *	110 *	102	120 *	< 100 mg/l
Cloretos	2,63	3,84	4,89	< 70 mg/l
Condutividade	216 *	205	218 *	< 300 uS/cm
Turbidez	0,87	1,18	0,27	< 15 NTU(CAULIM)
Coliformes Termotolerantes	<1,10	12	<1,10	0
pH	7,06	7,56	7,75	6,8 - 7,5

*Analises internas
Fonte: O Autor (2022)

Tabela 8: Qualidade da água pluvial

Parâmetro da análise	08/06/2021	01/09/2021	02/12/2021	Limite
Ferro	0,282	0,284	0,553	< 0,2 mg/l
Sílica	0,227	0,295	0,483	< 70 mg/l
Dureza	<4,00	<4,00	5,74	< 70 mg/l
Alcalinidade Total	5,58	6,19	8,26	< 100 mg/l
Cloretos	<2,50	<2,50	<2,50	< 70 mg/l
Condutividade	3,57	10,1	17,6	< 300 uS/cm
Turbidez	2,53	2,39	2,14	< 15 NTU(CAULIM)
Coliformes Termotolerantes	<1,10	<1,10	<1,10	0
pH	9,23	6,76	7,68	6,8 - 7,5

Fonte: O Autor (2022)

Tabela 9: Qualidade da água de reúso por zeólitas

Parâmetro da análise	08/06/2021	08/11/2021	02/12/2021	07/03/2022	Limite
Ferro	0,752	0,657	1,15	4,39	< 0,2 mg/l
Sílica	11,4	18,9	35,9	19,2	< 70 mg/l
Dureza	103	120	163	387	< 70 mg/l
Alcalinidade Total *	170 *	349 *	282 *	150*	< 100 mg/l
Cloretos	1019	819	397	703	< 70 mg/l
Condutividade	4370	5290	3850	4780	< 300 uS/cm
Coliformes Termotolerantes	3,6	<1,10	<1,10	<1,10	0
pH	7,7	6,66	5,09	7,17	6,8 - 7,5

*Analises internas
Fonte: O Autor (2022)

Os limites referenciados são estipulados pela área técnica da indústria para não causar nenhum problema no processo. Os parâmetros destacados com asterisco são realizados internamente e os testados em vermelho são os que estão acima do limite de uso no processo, estão com a qualidade comprometida, porém os mais críticos para o processo são os cloretos, a condutividade e a dureza.

6.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE NO PROCESSO PRODUTIVO

Com o aumento da demanda de uso da água no processo, consequentemente há aumento na geração de efluente. Este volume gerado de efluente está diretamente relacionado a lavagem das peças produzidas que passam pelas máquinas de lavar industriais que consomem em média 1.000 litros por hora.

O processo de lavagem consiste no uso de desengraxantes que são à base de soda cáustica e outros produtos químicos para que se possa remover todo tipo de sujidades e gorduras, para proporcionar uma aderência numa posterior pintura das peças produzidas.

O maior volume de efluente industrial é gerado nas máquinas de lavar. A geração de efluentes em outros processos como geração de efluente em outros processos como cabines de pintura que trabalham com cortina de água, processos de pintura por linhas que utilizam água para lavagem das próprias máquinas, scrubbers (exaustores) que utilizam água para decantar as partículas e a parte dos sanitários que representa um volume considerável devido à grande quantidade de pessoas que a indústria emprega.

A vazão média de efluente gerado no processo é de 150 m^3/d. Fazendo um balanço hídrico entre consumo de água que é em média de 220 m^3/d e a geração de efluente é de 150 m^3/d. A diferença observada é explicada pelo fato das torres de troca de calor perdem por

evaporação em média 63 m³/d, além das perdas diversas 9 m³/d que não são identificadas diretamente.

6.3 ANÁLISES DO EFLUENTE TRATADO NA OSMOSE

A mudança da estação teve como propósito de tratar o efluente a ponto de realizar o reúso no processo fabril, sendo este destinado a caixa d'água central e distribuído para toda a planta.

Tabela 10: Qualidade da água após o processo de osmose

Parâmetro da análise	24/03/2022	31/03/2022	08/04/2022	26/05/2022	Limite
Ferro	< 0,025	0,071	0,043	0,113	< 0,2 mg/l
Sílica	0,556	1,39	1,98	1,07	< 70 mg/l
DQO	< 5,00	< 5,00	< 5,00	<5,00	< 70 mg/l
Dureza	< 4,00	< 4,00	14,1	<4,00	< 70 mg/l
Alcalinidade Total	< 5,00	< 5,00	5,82	<5,00	< 100 mg/l
Cloretos	18,6	39,1	40,6	8,97	< 70 mg/l
Condutividade	167	249	232	63,1	< 300 uS/cm
DBO	< 2,00	< 2,00	< 2,00	<2,00	-
Turbidez	0,37	0,56	0,62	0,79	< 15 NTU(CAULIM)
Coliformes Termotolerantes	< 100	< 100	< 100	<100	0
pH	7,7	8,18	6,72	8,32	6,8 - 7,5

Fonte: O Autor (2022).

Conforme pode-se observar no Tabela 10 os resultados apresentados depois da osmose inversa estão dentro dos limites estipulados pela área técnica industrial. Somente o parâmetro de pH apresenta uma variação que precisa ser corrigido para que se possa realizar o reúso.

6.4 PROJEÇÃO ONDE O REÚSO PODERIA SER USADO NO PROCESSO PRODUTIVO

Realizou-se uma reunião para discussão com a área técnica e direção sobre onde poderia ser usada a água de reúso da estação. A equipe da área técnica optou por uma solução mais conservadora e recomendou o uso somente nas torres de resfriamento.

Para realizar o reúso somente nas torres de resfriamento será necessário investimento em reservação e em tubulações independentes para a distribuição desta água tratada.

Outra proposta mais prática e rápida é destinar esse volume de água tratada para a caixa d'água central e realizar a distribuição para todo o processo, sendo necessário somente uma pequena rede de tubulações já que a estação fica bem próxima da caixa d'água.

6.5 ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA MUDANÇA DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A principal motivação para a modernização da estação de tratamento de efluentes foi a escassez de recurso hídrico para o abastecimento da planta fabril. Portanto, o investimento não só reflete para a economia do custo de abastecimento de água para o processo industrial, mas também para suprir a necessidade de abastecimento.

Para atender a qualidade do efluente tratado para uso industrial foi realizada uma mudança no processo de tratamento, substituindo alguns produtos químicos e eliminando o uso de outros para não carregar mais o efluente com sais dissolvidos, que é um ponto crucial para o reúso.

O sulfato de alumínio foi eliminado do processo de tratamento, ao qual era por batelada e para realizar a formação de flocos foram instaladas três baterias de eletrocoagulação. O efluente homogeneizado é transferido para o processo de eletrocoagulação com seu pH ajustado utilizando-se soda caustica e/ou ácido sulfúrico. Na saída da eletrocoagulação o efluente é destinado para um flotador onde recebe a dosagem de hidróxido de cálcio para floculação do efluente.

Depois da flotação o lodo é destinado para o adensador e o efluente tratado no físico-químico para dois reatores biológicos, juntamente com o efluente sanitário e com oxigênio controlado para o crescimento controlado de bactérias que degradam a matéria orgânica. Na sequência o efluente é destinado para o sedimentador secundário para separação do lodo biológico, o qual também é destinado ao adensador e o efluente tratado então passa por um sistema de desinfecção por ozônio e posteriormente por uma ultrafiltração e osmose inversa.

O investimento em equipamentos novos e adequações nas partes já existentes na estação para automações foi em torno de US$ 607.287,45 (valor de R$ 4,94 do dolar em julho de 2021). Adequações em tanques, instalações hidráulicas e demais periféricos para adequar a estação e segurança do operador foram gastos outros US$ 440.917,11 (valor de R$ 5,67 do dolar em janeiro de 2022).

Fazendo o cálculo da TIR para ter o tempo de retorno do investimento numa projeção ótima é realizado o seguinte cálculo:

$$Período\ de\ retorno = \frac{Investimento}{(custo\ atual) - (custo\ situação\ desejada)}$$

Sendo:
Investimento = US$ 1.048.204,56
Custo atual = US$ 62.448,39 /ano
Custo situação desejada = US$ 39.215,68 /ano

Estes valores resultam num tempo de retorno do investimento no período de 45 meses que seria em torno de 4 anos.

Usando a Equação 18 para cálculo da Taxa Interna de Retorno (15% considerado pela empresa) obteve-se os seguintes resultados na Tabela 11:

Tabela 11: Cálculo da TIR

Projeto	Investimento Inicial FC (US$)	FC_1 (US$)	FC_2 (US$)	FC_3 (US$)	FC_4 (US$)
Modernização ETE	1.048.204,56	241.509,43	311.320,75	471.698,11	508.490,56

Fonte: Autor (2022).

Atualmente o Departamento de Recursos Hídricos (DRH) do estado não realiza nenhuma cobrança sobre o volume bombeado da água do subsolo, somente requer outorga dos poços perfurados e envio de relatórios periódicos para comprovação dos volumes. Sendo assim, não há um comparativo real entre o custo do efluente tratado para reúso e a água utilizada atualmente no processo industrial.

Foi realizada uma analise comparativa do custo para tratar um metro cúbico de efluente antes da modernização e posterior a implantação. Na Tabela 12 o custo para tratar 1 m³ antes da modernização e no Tabela 13 o custo para tratar o mesmo volume depois da modernização.

Tabela 12: Custo por m³ tratado antes da modernização

Mês	**US$**
ago/21	2,13
set/21	1,99
out/21	3,19
nov/21	1,76
dez/21	1,69
Média	2,15
Desvio Padrão	0,54

Fonte: O Autor (2022).

Tabela 13: Custo por m³ tratado depois da modernização

Mês	US$
jan/22	1,89
fev/22	3,99
mar/22	3,01
abr/22	2,69
mai/22	2,25
Média	2,77
Desvio Padrão	0,72

Fonte: O Autor (2022).

O mês de fevereiro foi atípico a inumeras não conformidades operacionais e se subtraírmos esse valor, o desvio padrão ficará em 0,43 que será abaixo do praticado antes da modernização. No mês referido acima houve uma discrepância devido a regulagens e implantação do sistema terciário e alguns imprevistos como vazamentos e rompimentos de tubulações.

Mesmo com 5 meses de implantação definitiva do novo sistema, ainda são necessários ajustes, devido ao sistema ser totalmente diferente do convencional. Também os operadores tiveram dificuldades para se adequar ao novo sistema de trabalho e monitoramentos dos equipamentos.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo buscou demonstrar, através da implantação de uma modernização no sistema de tratamento de efluentes a possibilidade de reúso de efluente no processo fabril de uma indústria metalmecânica da serra gaúcha.

Com a implantação de uma unidade com eletrocoagulação seguido de um sistema terciário com ultrafiltração e osmose inversa foi possível transformar o efluente tratado em uma água capaz de ser utilizada em diversos segmentos da indústria, transformando-a numa qualidade até superior a água captada de poços perfurados. Analisando os parâmetros da água coletada do poço e da osmose observa-se que a da osmose se tornou uma água de qualidade superior comparada aos demais pontos de coleta.

O parâmetro pH não atende o limite para reúso no processo industrial, segundo a qualidade requerida pela área técnica, portanto considerou-se que o efluente não pode ser reutilizado antes que se faça uma correção no pH.

Verificou-se que a média do volume consumido pela indústria é 222 m^3/d, sendo 12 m^3/d de reúso para sanitário que corresponde somente 5,4% de todo o volume. A adoção da utilização da água de reúso nas torres de resfriamento permitirá deixar de extrair dos poços em média 63 m^3/d que corresponde 28,4% do volume consumido.

Com os dados referenciados e estudados conclui-se que é de vital importância o uso da água de reúso da osmose para o atendimento da outorga dos poços perfurados e para o processo fabril possa expandir seu crescimento com o mínimo de impacto ao meio que está inserido.

Se for atodado o reúso para o processo fabril o volume captado dos poços artesianos diminuirá e consequentemente, deixará de lançar o volume de efluente no corpo hídrico, colaborando para atender as outorgas dos poços e atender os limites de lançamento da estação de tratamento.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Uso da Água – Industria.** Disponível em: < https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua/industria>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969 Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

AYOUB, J.P. **Desvendando a engenharia.** Estudo do reúso de efluente de uma estação convencional de tratamento de efluentes no Rio Grande do Sul, Guarujá, SP, Cientifica Digital, 2021.

BEEKMAN, G. B. **Qualidade e conservação da água**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 1996, Brasília. Conferência... Brasília: Associação Brasileira das Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 2006.

BENSADOK, K.; EL HANAFI, N.; LAPICQUE, F. Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system. Desalination, v. 280, p. 244-251, 2011.

BERNARDI, Cristina Costa. **Reúso de água para irrigação.** Monografia apresentada ao ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL como requisito para obtenção de título de Pós-Graduação, em nível de Especialização *Lato Sensu*, modalidade MBA, em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, com área de concentração em Planejamento Estratégico. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://docplayer.com.br/660947-Reúso-de-agua-para-irrigacao-cristina-costa-bernardi.html>. Acesso em: 24 de setembro de 2021.

BETTIOL, V. R. **Estudo da Influencia do ClO_2 sobre Membranas de Poliamida para Osmose Inversa.** Dissertação de Mestrado. Porto Alegre – RS, 2004.

BERTOLOSSI, Vinicius Mendes. **Avaliação Do Processo De Ultrafiltração Como Alternativa À Flotação Por Ar Dissolvido Para Tratamento Do Efluente De Lodos Ativados – Estudo Em Escala Piloto Aplicado Ao Caso Da Estação De Tratamento De Esgotos Brasília Norte.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2019.

BITTENCOURT, Claudia; PAULA, **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. Maria Aparecida de. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 177 p.

BORGES, Marisa Soares. **Tratamento de água e efluentes industriais**. Curso Técnico de Petróleo. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/anapaulasalles39/tratamento-de-aguas>. Acesso em 02 de outubro de 2021.

BRASIL. "Lei nº 9.433", de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 19 setembro 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**.

Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 19 setembro 2021.

CARVALHO, DL, Souza MAC, Zempulski DA (2015). Utilização Do Método Eletrofloculação Para Tratamento De Efluentes Industriais. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 03, n. 14, 2015, pp. 14-28 Disponível em: Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 03, n. 14, 2015, pp. 14-28. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

CHEN, GUOHUA, "*Electrochemical technologies in wastewater treatment". Separation and purification Technology*, v. 38, n. 1, p. 11-41, 2004. Disponível em: <https://www.jpcomplex.ir/content/media/image/2013/08/772_orig.pdf>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

CLAAS, Isabel Cristina; MAIA, Roberto A.M. Manual básico de resíduos industriais de curtume. Porto Alegre: SENAI/RS, 1994. 664 p.

BRASIL, CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH N° 54, de 28 de novembro de 2005.** Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0054-281105.PDF>. Acesso em: 18 setembro 2021.

DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: Abes, 1993. 496 p.

FILHO, A. S.. **Tratamento Terciário de Efluentes de uma Indústria de Refrigerantes visando ao Reúso – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.

FRANCO, P.E. **Remoção de metais pesados utilizando resina *amberlite ir-120*.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Toledo, 2011.

GABRIEL, Henrique Simkevicius. **Eletrocoagulação como pré-tratamento de efluentes da indústria química.** Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Metalúrgico. Rio de Janeiro – RJ. Dezembro, 2017.

GANDHI, Giordano. **TRAMENTO E CONTRLOLE DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.** Professor adjunto do Departamento Engenharia sanitária e do Meio Ambiente- UERJ. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/LiviaIostGallucci/apostila-tratamento-de-efluentes-industriais>. Acesso em: 02 de outubro de 2021.

GITMAN, Lawrence J. Princípios de Administração Financeira, 7ª ed. São Paulo: HARBRA, 2002. 841 p.

GNIPPER, S. F. Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR 8160:1990 como tanques de flotação natural. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 119-132, 2008.

HOJI, Masakazu. Administração Financeira: uma abordagem pratica. 5ª ed. São Paulo: ATLAS, 2006. 525.

JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

JUNIOR, Gilberto José da Paz. **Uso de Floculador Hidráulico de Manta de Lodo Acoplado a Flotador Por Ar Dissolvido no Tratamento de Água de Abastecimento.** Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia, para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil - UNESP. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98069/pazjunior_gj_me_ilha.pdf;jsessionid=C3B55D37152783604CC80EE68EC1A2BE?sequence=1>. Acesso em: 02 de outubro de 2021.

JUDD, S. (2010). The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment. Elsevier. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.

J. R. Pfafflin and E. N. Ziegler, *"BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTEWATER," Encyclopedia of Environmental Science and Engineering*: Volume 1 A-L. CRC Press, 2006. Disponível em: <https://www.isibang.ac.in/~library/onlinerz/resources/Encyclopedia-Environmental-Science-Engg-aboutcivil.com.pdf>. Acesso em: 26 de set. de 2021.

BRASIL**, Lei Nº 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 20 setembro 2021.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água. Barueri-SP**: Manole, 2003.

MACUSO, P.C.S, MIERZWA, J.C., HESPANHOL, A., HESPANHOL, I, **Reúso de água Potável como Estratégia para a Escassez.** Editora Manole 1. ed. Santana de Parnaíba - SP, 2021.

MARON JUNIOR, Romário. **Reúso de Água em Indústria Metalúrgica Rolamenteira**. Estudo de Caso da SKF do Brasil. 2006. Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Saneamento Básico. Área de atuação Engenharia Hidráulica e Sanitarista. Disponível em:< http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 23 de agosto de 2021.

MARTINS, R. C.; QUINTA-FERREIRA, R. M. *A Review on the Applications of Ozonationfor the Treatment of Real Agro-Industrial Wastewaters.* ***Ozone: Science & Engineering***, v. 36, p. 3-35, 2014. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/80194/1/A%20Review%20on%20the%20Applications%20of%20Ozonation%20for%20the%20Treatment%20of%20Real%20Agro%20Industrial%20Wastewaters.pdf>. Acesso em: 03 de outubro de 2021.

MENG, F.; et al. *Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. Water Research*, New York, v. 43, p. 1489-1512, 2009.

METCALF; EDDY.; **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MIERZWA, J. C; HESPANHOL, I. "**Água na Indústria**": uso racional e reúso. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2005.

MOURA, D. C. **Aplicação De Tecnologias Eletroquímicas (Oxidação Via Radicais Hidroxila, Oxidação Mediada Via Cloro Ativo E Eletrocoagulação) Para O Tratamento De Efluentes Reais Ou Sintéticos.** 2014. 166 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

Nanoplastic. Disponível em: <https://www.nanoplastic.com.br/biofiltro-aerado-submersobbr?gclid=CjwKCAiAp8iMBhAqEiwAJb94z8gjUak3gNXv3iNFKa_a7q_4Pn3MKI01_S36b4F5jjpFNCS67k4jABoCJ7IQAvD_BwE>. Acesso em 15 de novembro de 2021.

NETO, Pâmela Nunes. **Estudo de Reúso de Efluente Tratado no Processo de Pintura *E-coat* com uso de Carvão Ativado e Membranas de Osmose Inversa.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, 2019.

OLIVEIRA, Daniel V. M. de. **Caracterização Dos Parâmetros De Controle E Avaliação De Desempenho De Um Reator Biológico Com Leito Móvel (Mbbr).** Dissertação submetida ao corpo docente da coordenação dos Programas de pós-graduação de engenharia da universidade federal do rio de janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em ciência em engenharia civil. Rio de Janeiro, 2008.

PEREIRA, Magno dos Santos. **Flotação por ar e Ozônio Dissolvido no Tratamento de Efluentes de Industrias Lácteas.** Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa com exigência de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Doctor Scientiae.* Viçosa, Minas Gerais, 2017.

RIBEIRO, M. C. M.. **Avaliação da Possibilidade de Reúso de Efluentes Têxteis após o Tratamento complementar por processos Oxidativos Avançados.** Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2009.

RIO GRANDE DO SUL, Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução N° 419, 13 de fevereiro de 2020** – Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. **Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.** Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=390050>. Acesso em: 19 setembro 2021.

RIO GRANDE DO SUL, Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA N° 355, 13 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. **Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.** Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>. Acesso em: 19 setembro 2021.

ROVANI, M.Z.. **Estudo de osmose inversa na produção de água desmineralizadas para caldeiras**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2012.

SINGH, R. (2014). *Membrane Technology and Engineering for Water Purification: Application, Systems Design and Operation. Butterworth-Heinemann*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.

SOUSA, L.S. **Aplicação Do Processo De Separação Por Membrana Para Produção De Chá Verde Clarificado E Concentrado.** Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Química. ENEMP 2015, Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/enemp2015/PS-421.pdf>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.

TAYLOR, J. S. & WIESNER, M. Membranes. In: R.D. LETTERMAN (Technical Editor). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5th Edition. American Water Works Association.* USA. McGraw-Hill, Inc, 1999.

TELLES, Dirceu D' Alkmin; COSTA Regina Pacca. **Reúso da Água conceitos, teorias e práticas** 2º edição 2010 São Paulo editora Edgar Blucher Ltda

Uragami, T. (Ed.). (2017). *Science and Technology of Separation Membranes. John Wiley & Sons*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.

VALENTE, GERSON DE FREITAS SILVA, “Avaliação da Eletrocoagulação no Tratamento de Efluente Líquido da Indústria de Laticínios”, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2012.

VARGAS, G.M.R. **Investigação de alguns parâmetros operacionais e de rejuvenescimento na performance do processo de osmose inversa**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2003.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG;1996, p.12-13.

VON SPERLING, Marcos. **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais;1997.

XIAO-LIN. W., WEIN-JUAN. S., DA-XIN. W., LING, W, CONG-HUI T., *Characterizantion and ultrafiltrantion, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. Desalination*, 229, pp. 204-216, 2008.

ZINI, Kátia Michele. **Avaliação do Processo de Eletrocoagulação para o Tratamento de Efluentes de uma Industria Metalúrgica com uso de Eletrodos de Diferentes Materiais Metálicos.** Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais. Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia Materiais. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Farroupilha, Rio Grande do Sul, 2019.