

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

GUILHERME ZANETTE DEMBOSKI

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
UTILIZADA NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA DE
RECICLAGEM EM CRICIÚMA, SANTA CATARINA**

CRICIÚMA

2023

GUILHERME ZANETTE DEMBOSKI

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
UTILIZADA NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA DE
RECICLAGEM EM CRICIÚMA, SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Msc. Lucas Kister Amaral

**CRICIÚMA
2023**

GUILHERME ZANETTE DEMBOSKI

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
UTILIZADA NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA DE
RECICLAGEM EM CRICIÚMA – SC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora para obtenção do Grau de Bacharel no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 22 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Lucas Kister Amaral – Mestre – (UNESC) – Orientador

Prof. José Alfredo Dallarmi da Costa – Mestre – (UNESC)

Prof. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffman – Mestre – (UNESC)

Dedico esse trabalho a você, Alessandra, pela oportunidade que me foi dada e todos os ensinamentos passados, além de ter sido uma pessoa incrível durante todo o nosso tempo juntos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas forças durante o semestre e toda a graduação.

Aos meus pais por todo apoio, dedicação e oportunidade de me proporcionar cursar uma graduação.

A minha família como um todo, principalmente aos meus avós e tios.

Aos amigos que o curso me proporcionou, especialmente Carlos, Enandra, Ramiro, Maicon, Felipe e Samuel. Fica aqui meus agradecimentos aos demais colegas que estiveram comigo na graduação e aos meus amigos João, Celio e Junior.

Ao meu professor orientador, Lucas, pela dedicação durante o semestre e por estar sempre disposto em ajudar, certamente é um exemplo de pessoa e profissional que levarei para a vida.

Aos professores do curso pelo conhecimento passado, principalmente Marta, Paula, Gustavo Simão, Gustavo Zambrano, Carlyle, Guilherme Elias, Cláudia, José Alfredo, Cristina Lalau, Maykon Cargnin, Louise e Sérgio Galatto. Todos contribuíram efetivamente para a minha formação e possuem meu total respeito e admiração como profissionais.

A Julia e Abelardo por estarem presente no momento mais difícil da minha vida profissional, sem vocês essa jornada não teria continuado.

Deixo aqui meu agradecimento póstumo a Alessandra, por ter me aceitado em sua empresa e contribuído com tanto conhecimento durante nosso tempo trabalhando juntos, além ser sempre solícita devido a pessoa incrível que era, sendo assim: obrigado por tudo.

RESUMO

A poluição dos recursos hídricos no extremo sul catarinense é uma realidade proveniente da exploração do carvão na região. O presente trabalho visa avaliar uma proposta de tratamento de água subterrânea utilizada por uma indústria de reciclagem, sendo que esta encontra-se inserida em uma área com histórico de mineração de carvão. Realizou-se uma análise da água para a verificação de sua qualidade quanto a alguns parâmetros pré-determinados. Posteriormente, determinou-se a vazão da água subterrânea captada e assim determinada para a verificação do projeto do sistema de tratamento. Para verificação da melhor aplicação no tratamento, realizou-se uma pesquisa dos principais sistemas de tratamento de água aplicado a caracterização da água da área objeto de estudo e assim, a determinação de uma proposta de implantação de um sistema de tratamento para água subterrânea. Avaliando as variáveis verificadas e correlacionado com uma pesquisa bibliográfica, determinou-se um sistema de tratamento composto por duas etapas: oxidação com hipoclorito seguido de filtração com areia e carvão ativado de ossos bovinos. De modo que, o projeto não foi implantado concomitante a elaboração do presente trabalho, realizou-se um cronograma físico-financeiro de implantação do sistema de tratamento da água proposto na pesquisa, de modo a evidenciar os investimentos previstos para implantação do sistema.

Palavras-chave: Poluição de recursos hídricos; Mineração; Tratamento de água subterrânea.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Máquinas e equipamentos do empreendimento.....	42
Tabela 02 – Resultados dos parâmetros analisados.....	52
Tabela 03 – Medidas de tempo.....	53
Tabela 04 – Determinação da quantidade de Hipoclorito aplicado para a oxidação do Ferro e Manganês.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Porosidade e permeabilidade.....	19
Figura 02 – Adsorção no carvão ativado.....	28
Figura 03 – Poros no carvão ativado.....	29
Figura 04 – Localização do município da área de estudo.....	39
Figura 05 – Fluxograma do processo produtivo.....	43
Figura 06 – Recepção da matéria-prima.....	44
Figura 07 – Triagem dos materiais.....	45
Figura 08 – Lavação dos materiais.....	45
Figura 09 – Aglutinador.....	46
Figura 10 – A: Extrusora; B: Resfriamento.....	46
Figura 11 – A: Triturador; B: <i>Pellets</i>	47
Figura 12 – Ensacamento dos <i>pellets</i>	47
Figura 13 – A: Ponto de amostragem; B: Coleta da amostra.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Classificação dos filtros.....	26
Quadro 02 – Parâmetros de qualidade da água.....	31
Quadro 03 – Classificação das águas subterrâneas.....	33
Quadro 04 – Propriedades físicas dos polímeros.....	36
Quadro 05 – Regiões hidrográficas e composição de suas bacias.....	38
Quadro 06 – Propriedades e especificações técnicas do carvão ativado de ossos bovinos.....	56
Quadro 07 – Cronograma físico-financeiro.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Ação Civil Pública
ANA	Agência Nacional de Águas
BHRA	Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
ETA	Estação de Tratamento de Água
IMA	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
MPF	Ministério Público Federal
RH	Região Hidrográfica

LISTA DE SÍMBOLOS

As	Arsênio
Al	Alumínio
As	Arsênio
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cl ₂	Cloro
C ₂ H ₂	Etileno
Cu	Cobre
Co	Cobalto
Cr	Cromo
DAM	Drenagem Ácida de Mina
Fe	Ferro
FeS ₂	Pirita
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
KMnO ₄	Permanganato de Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Ni	Níquel
O ₃	Ozônio
Pb	Chumbo
PE	Polietileno
pH	Potencial Hidrogeniônico
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA	18
2.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS	20
2.3. USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA	22
2.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	23
2.4.1. Adsorção	27
2.4.2. Carvão ativado	30
2.4.3. Parâmetros de qualidade da água	30
2.5. LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS	32
2.5.1. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997	32
2.4.2. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012	32
2.5.3. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008	33
2.5.4. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009	34
2.5.5. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010	34
2.4.2. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021	35
2.6. RECICLAGEM DE PLÁSTICOS	35
3. METODOLOGIA	38
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
2.4.2. Procedimentos da pesquisa	41
3.3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	42
3.3.1. Recepção da matéria-prima	43
3.3.2. Triagem dos materiais	44
3.3.3. Plástico PE	45
3.3.4. Lavação	45
3.3.5. Secadora	45
3.3.6. Aglutinador	45
3.3.7. Extrusora	46
3.3.8. Triturador	47

3.3.9. Ensacamento e expedição	47
3.4. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA	48
3.4.1. Procedimentos de análise dos parâmetros	48
3.5. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DO POÇO	50
3.6. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO	50
3.7. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1. RESULTADO DA ANÁLISE DA ÁGUA	52
4.2. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO	53
4.3. DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	54
4.3.1. Determinação da dosagem de hipoclorito no tratamento	59
4.4. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	60
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

A mineração de carvão em Santa Catarina representou grande importância econômica para o estado, principalmente para o extremo sul catarinense na chamada região carbonífera, porém, o avanço econômico e desenvolvimento da região também acarretou a poluição dos compartimentos ambientais. Essa poluição é decorrente de praticamente todas as etapas da mineração do carvão, desde sua lavra, até a disposição dos rejeitos.

Certamente, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos foram os mais impactados durante essa intensa atividade mineradora no sul catarinense, e o principal fator responsável é a Drenagem Ácida de Mina (DAM), que consiste no efluente resultante das reações de oxidação. A DAM é proveniente das transformações que ocorrem no rejeito do carvão, onde o sulfeto, na forma de pirita, é oxidado quando em contato com o oxigênio, e na sequência, é catalisado pela ação de bactérias, gerando um efluente com elevada acidez e concentração elevada de alguns metais pesados (VOLPATO, MENEZES e SILVA, 2017).

Correlacionado aos fatos vistos, pode-se destacar que para o uso da água na região, muitos desafios são impostos, seja para o consumo humano ou em processos produtivos das empresas locais.

Assim, o tratamento de água pode ser considerado um conjunto de processos físico-químicos aplicados à água proveniente de algum manancial, sendo este superficial ou subterrâneo. O processo de tratamento visa o atendimento a padrões de potabilidade para consumo humano ou até mesmo o tratamento para o uso em processos industriais. Vale destacar, que este processo é fundamental para minimizar riscos de contaminações e assim, evitar a proliferação e transmissão de doenças.

Os sistemas de tratamento de água possuem diversas características no processo de implantação as quais precisam ser avaliadas. Pode-se destacar como exemplo o investimento requerido para o tratamento, principalmente quando o objetivo final é a potabilidade, pois são diversas variáveis inclusas no processo, como a necessidade de insumos para o tratamento, operação da estação, análises laboratoriais constantes para a determinação dos parâmetros e seus devidos controles de potabilidade. Além disso, a implantação desses projetos acarreta custos com obras de captação e adução, por meio de redes de distribuição de água para o abastecimento público.

No tratamento de água aplicado a processos produtivos industriais não há parâmetros legislativos, porém é necessário avaliar o objetivo para qual será usado a água. As características das águas, sejam superficiais ou subterrâneas, muitas vezes podem ocasionar sérios problemas em máquinas e equipamentos, principalmente pela presença de metais.

O presente estudo visa a proposição de um sistema de tratamento de água subterrânea aplicado a uma indústria de reciclagem. Sendo assim, vale destacar que a reciclagem, objeto de estudo, utiliza a água subterrânea obtida através de um poço artesiano para o processo de resfriamento dos fios de plástico após a saída da extrusora. Observou-se, por meio de visitas *in loco* e argumentações do proprietário, a necessidade de troca de peças recorrentes do maquinário do sistema de resfriamento e identificado que essa manutenção está relacionada com a caracterização da água subterrânea utilizada no processo, que possivelmente, apresenta alta concentração de Ferro, levando em consideração incrustações e precipitações de cor alaranjada observadas nas tubulações. Com isso, torna-se necessário uma investigação para determinar a situação recorrente e assim propor um sistema de tratamento adequado e viável para o empreendimento.

Logo, o trabalho se justifica por sua área de estudo estar inserida em uma região carbonífera, onde houve a poluição e contaminação de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, decorrente da mineração. Com isso, a existência de alternativas viáveis de tratamento das águas que apresentam esse problema é essencial, especialmente na região do estudo, devido à abundância de recursos hídricos afetados.

Com isso, o objetivo geral do trabalho consiste em propor um sistema de tratamento para água subterrânea utilizada no processo produtivo de uma indústria de reciclagem, e para alcançá-lo, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a qualidade da água subterrânea utilizada na empresa;
- Avaliar a utilização da água no processo produtivo industrial;
- Determinar a vazão de contribuição do processo de captação do depósito natural subterrâneo;
- Estabelecer medidas aplicáveis as melhorias no atual sistema de fornecimento de água para processo produtivo industrial;

- Fornecer uma proposição temporal de implantação do sistema de tratamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA

Na década de 1960, com a denominação de “águas subterrâneas” para as águas presentes no subsolo, houve uma evolução na determinação das reservas subterrâneas justamente para fins de uso dessa modalidade de recurso hídrico para obras de captação, porém, existem indícios da utilização da água subterrânea que remontam aos primórdios da civilização que datam do ano de 12000 a.C (MACÊDO, 2004). Ainda, conforme o autor, no ano de 5000 a.C, os chineses perfuravam poços de até 100 metros de profundidade para a captação de água subterrânea.

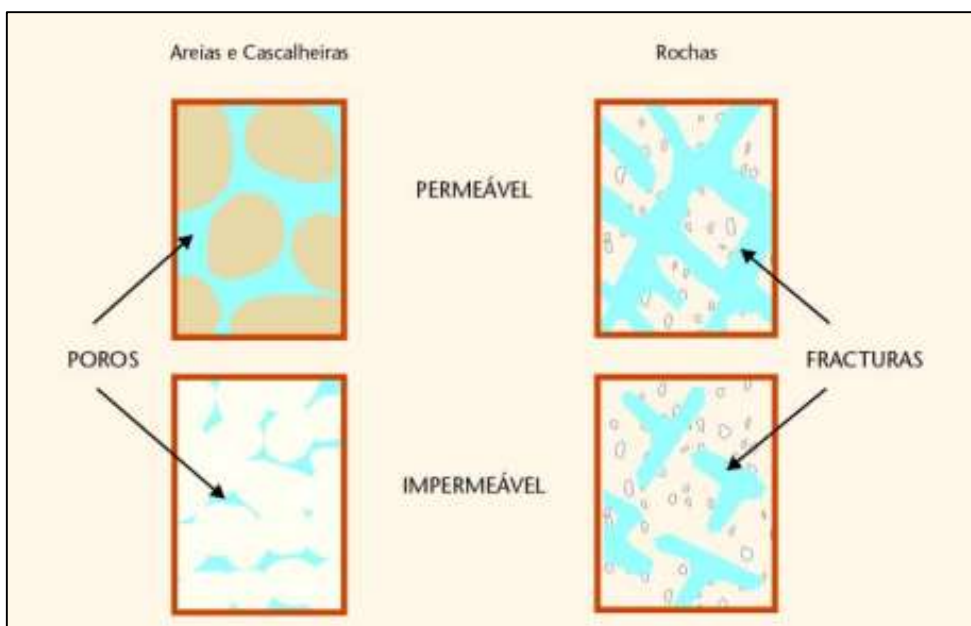
Segundo Mihelcic e Zimmerman (2015), as águas subterrâneas ocorrem da superfície da Terra até metros ou quilômetros abaixo do nível do solo. Para os autores, consistem em sistemas compostos por sólidos porosos que contém água e ar, além de rochas sólidas e fraturadas, que também podem ser consideradas de sistemas porosos que contém água subterrânea como acontece a ocorrência de aquíferos porosos (rochas sedimentares), onde a água circula através de poros fraturados (rochas ígneas e metamórficas), como ainda por meio de fraturas e cárnicos (rochas carbonáticas), circulando por fissuras resultantes da dissolução das rochas. Lembrando que os aquíferos são formações subsuperficiais que produzem água em quantidades suficientes para constituírem fontes práticas de consumo humano (MIHELICIC e ZIMMERMAN, 2015).

Os aquíferos também podem ser classificados em livres e confinados, no primeiro, a parte superior do aquífero é um estrato permeável, logo, a pressão em todos os pontos se iguala à pressão atmosférica. Já nos aquíferos confinados, geralmente encontrados em maiores profundidades quando comparados aos livres, ocorre quando o aquífero se encontra entre estratos impermeáveis, logo, sua pressão é maior do que a pressão atmosférica (TUCCI, 1997).

Sabe-se que para existir água subterrânea, a água necessita atravessar as formações geológicas, as quais devem ser porosas e permeáveis; é válido lembrar a diferença entre as propriedades de porosidade e permeabilidade, onde a primeira corresponde ao agregado de grãos entre os quais possuem espaços vazios que podem ser ocupados pela água; já a permeabilidade corresponde à ligação entre esses poros, sendo que esses podem estar conectados ou não, condicionando a passagem da água por esse meio (MIDÕES, FERNANDES e COSTA, 2001).

Portanto, um terreno pode ser poroso, mas não permeável, visto que a passagem da água depende da conexão entre os poros existentes. O mesmo princípio funciona com as fraturas, sendo que um aquífero pode ter várias fraturas e não ser permeável, justamente por essas não estarem conectadas, assim como ilustra a Figura 01 abaixo:

Figura 01 – Porosidade e permeabilidade



Fonte: MIDÕES, FERNANDES e COSTA, 2001.

Ainda de acordo com Macêdo (2004), “a solução para o problema de má distribuição de água doce no planeta está a alguns metros abaixo dos nossos pés [...] No Brasil, estima-se a disponibilidade de 111 trilhões e 661 milhões de metros cúbicos de água subterrânea”, o que corresponde a maior reserva de água doce em subsolo do mundo.

É válido lembrar que é necessário a gestão consciente da água subterrânea para garantir sua disponibilidade contínua, visto que ela proporciona vários benefícios, tanto ambientais quanto socioeconômicos, tais como: abastecimento público, estabilidade do solo, regulação da temperatura do solo, entre outros. De acordo com o exposto nessa seção, percebe-se a importância das águas subterrâneas, tanto que Hirata et.al (2019), destaca que:

Se por uma maldição, em um cenário apocalíptico, todos os aquíferos brasileiros secassem, ou seja, as águas subterrâneas deixassem de existir, o país mudaria radicalmente, a ponto de tornar-se irreconhecível. Tal desgraça não somente causaria sérios problemas para o abastecimento de 52% dos municípios no país, que

atualmente são totais ou parcialmente abastecidos pelas águas subterrâneas, mas impactaria sobretudo o setor privado, que extrai mais de 17,5 bilhões de metros cúbicos por ano (557 m³/s) desse recurso. Através de 2,5 milhões de poços tubulares, ou seja, vazões suficientes para suprir toda a população brasileira. Muitas cidades teriam o seu abastecimento colapsado, não porque a rede pública seja alimentada pelas águas subterrâneas, mas porque os poços privados, muitos dos quais irregulares e desconhecidos do governo, complementam a hoje deficiente rede pública de muitas cidades.

2.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS

De acordo com Souza (2007), uma bacia hidrográfica é formada pelo ciclo hidrológico e pode ser definida como uma área drenada parcialmente ou totalmente por um curso d'água ou por um sistema conectado de recursos hídricos, e que dispõe somente de uma saída, denominado de exutório. Ainda, conforme o autor, é na bacia hidrográfica que ocorrem os grandes impactos ambientais, visto que as grandes cidades foram construídas ao longo dos recursos hídricos para suprir as demandas da sociedade, tais como atividades agrícolas, abastecimento público e processos industriais.

Com relação às águas da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, região onde será elaborado a presente pesquisa, elas possuem sua qualidade comprometida devido ao fato, da presente bacia, drenar áreas extensas de cultivos de arroz, conseqüentemente, influenciadas pela poluição de agrotóxicos e somado a isso, a área também tem seus recursos hídricos atingidos por esgotamento sanitário, efluentes industriais, e principalmente, por resíduos oriundos das atividades de mineração da região carbonífera (SANTA CATARINA, 2014).

Sabe-se que até a década de 1980, a atividade de mineração de carvão em Santa Catarina ocorria praticamente sem qualquer espécie de controle ou autorização ambiental, o que pode ser explicado pela escassez de leis na área ambiental, visando a regularização de tais atividades, e levando em consideração que não havia controle, prevenção, programas de monitoramento, medidas para mitigação e remediação das áreas afetadas. Na década de 1990 foi realizado um levantamento das áreas contaminadas, identificado aproximadamente 4.700 hectares com presença de contaminantes da atividade de mineração, onde se destaca a alta concentração de pirita (FeS₂) nas águas superficiais do estado de Santa Catarina, resultante do depósito inadequado de rejeitos da mineração (JICA, 1998). Em suma, a mineração no estado

catarinense iniciou com a escavação manual de várias *bocas de mina* em regiões onde ocorriam o afloramento da camada de carvão (SILVAS et. al, 2010).

Ressalva-se ainda, que na região carbonífera, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, a contaminação e poluição das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, tem sua principal origem na Drenagem Ácida de Mina (DAM), a qual pode ser definida da seguinte forma:

A Drenagem Ácida de Minas (DAM) é gerada a partir da oxidação de minerais sulfetados quando entram em contato com a água e o ar. As principais características da DAM incluem o baixo pH, alta concentração de metais dissolvidos, alta condutividade elétrica e alta concentração de sulfatos. Dentre os metais dissolvidos, comumente presentes na DAM, encontram-se em concentração significativa Fe, Al, Mn, Ca, Mg, Cu, Zn, Ni, Pb e As. Estes metais, quando atingem mananciais hídricos, podem ser incorporados à cadeia alimentar, podendo provocar graves alterações ecológicas (Santos, 2020, p. 21).

Assim como mencionado anteriormente, a presença de metais dissolvidos é uma característica marcante desses recursos hídricos atingidos pela DAM, onde se pode destacar o Ferro e o Manganês, visto que os sais ferrosos são bastante solúveis na água e facilmente oxidáveis, formando os hidróxidos férricos, os quais tendem a flocular e decantar (MACÊDO, 2004).

Devido a essa atividade mineradora na maioria das vezes, com ausência de controles ambientais, somado a diferentes interpretações de legisladores e órgão ambientais sobre o direito minerário e ambiental, além da falta de fiscalização, acarretaram significativos passivos ambientais na região. É nesse contexto que surgiu a Ação Civil Pública nº 93.80.00533-4, mais conhecida como “ACP do carvão”, a qual foi criada com o intuito de recuperar os passivos ambientais gerados durante o período de mineração desregulamentada. A ACP do carvão foi proposta em 1993 pelo Ministério Público Federal (MPF) perante a 8ª Vara Federal da Seção Judiciária do Estado de Santa Catarina, sendo que foram considerados 24 réus, dentre eles empresas carboníferas, o Estado e a União (ZANETTE & CAMILO, 2018).

Dadas as situações descritas acima sobre a poluição de recursos hídricos causada pela má gestão ambiental da mineração, o tratamento de água visa suprir as necessidades tanto para fins de consumo humano, onde são buscados padrões de potabilidade, quanto para fins de uso industrial, onde o objetivo se torna a otimização do processo produtivo.

2.3. USO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA

O uso de água na indústria é uma parte fundamental em etapas de fabricação e produção em diversos setores, sendo que essa é usada em uma ampla gama de processos industriais, tais como: limpeza, resfriamento, diluição de substâncias, tratamento de efluentes, dentre outras aplicações.

Com o aumento das atividades desenvolvidas pelos seres humanos, principalmente aquelas relacionadas à produção de bens de consumo a partir da utilização de recursos naturais, as indústrias são grandes consumidoras de água (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Alguns usos apresentam possibilidade para serem viabilizados em áreas de concentração industrial, tais como: resfriamento como água de *make-up*, caldeiras, construção civil, incluindo preparação e cura de concreto, e para compactação do solo, irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e alguns tipos de peças, principalmente na indústria mecânica (HESPANHOL, 2002).

Conforme o processo industrial, a água pode ser considerada tanto matéria prima, a qual é incorporada no produto, quanto como um produto auxiliar no processo produtivo, como fluido de transporte, limpeza de equipamentos e sistemas de refrigeração, sendo que, como fluido de resfriamento, o grau de qualidade da água pode ser menos restritivo desde que a integridade dos equipamentos com os quais a água tenha contato não seja prejudicada (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Muitas indústrias estão adotando regimes de reuso de águas em seus processos, provenientes de sistemas de Estações de Tratamento de Efluentes por exemplo, uma vez que o reuso da água industrial em outros processos como aquecimento, resfriamento ou até mesmo em outros setores da economia, como a agricultura, no processo de irrigação de lavouras, contribui para a preservação dos recursos naturais, assim como para a economia em escala nas indústrias (SILVA, 2002).

A água subterrânea é acessível no meio rural e urbano e se torna disponível com rapidez no próprio local de demanda, sem gerar restrições às demais formas de ocupações do terreno. Além disso, um dos fatores importantes da utilização da água subterrânea é o seu baixo custo de captação, sendo que corresponde a cerca de menos de 50% ao equivalente às águas superficiais, uma vez que dispensa a

construção de obras como barragens, adutoras de recalque, dentre outras obras hidráulicas (MADEIRA, 2003).

A utilização da água subterrânea no âmbito industrial também surge como alternativa à escassez dos recursos hídricos superficiais e apesar de uma maior proteção dos contaminantes externos, as águas subterrâneas podem apresentar problemas de qualidade, e um dos mais frequentes consiste na presença de Ferro em concentrações elevadas, impondo certas limitações ou problemas relacionados ao uso dessa água não tratada (MARCELINO et al., 2017).

2.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De acordo com Richter (1991), o tratamento de água para abastecimento público teve sua origem no início do século XIX na Escócia, onde John Gibb projetou o primeiro filtro lento, a partir desse momento os sistemas de tratamento foram sendo evoluídos e aplicados para escala comercial.

Geralmente, o tratamento de água ocorre para fins de abastecimento público, visando a eliminação de organismos patogênicos, substâncias tóxicas e ainda com aspecto físico agradável, ou seja, eliminando cor, cheiro, sabor e turbidez. Em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional, existem as seguintes etapas de tratamento: coagulação, floculação, decantação, filtração, correção do pH, desinfecção e fluoretação (MADEIRA, 2003).

Ainda, de acordo com Madeira (2003), na coagulação é adicionado um coagulante na água e realizada a agitação rápida da solução, após a mistura rápida, a água segue para a floculação, onde sob a ação de um floculante (geralmente um polímero catiônico ou aniônico), procedida de agitação lenta, formando partículas maiores (flocos). Após, para o autor, o processo segue para a decantação, onde há a sedimentação dos flocos, formando uma camada de lodo que é removida posteriormente. Após a decantação, a água segue para a filtração, onde as partículas e microrganismos não eliminados no processo de decantação ficam retidos no leito filtrante.

Sabe-se que durante as etapas de tratamento, a água sofre alterações no pH, sendo assim, torna-se necessário a correção do mesmo com o objetivo de neutralizar a acidez e, assim proteger as tubulações contra os impactos das corrosões, sendo que, é comumente essa correção com a adição de cal. Após essas etapas, é realizada

a desinfecção com o cloro para eliminar os patógenos ainda presentes na água, além de manter um teor de cloro residual na água ajustado para a potabilidade e assim garantir manutenção deste parâmetros em toda a rede de distribuição de água (MADEIRA, 2003). Como etapa final do processo de tratamento convencional, é realizada a fluoretação através da adição de Flúor.

É válido destacar que existem pré-tratamentos e complementos que são aplicados ao tratamento da água quando necessário, seja para retirar impurezas e sólidos grosseiros ou até mesmo, preparar a água para as outras etapas, e um desses pré-tratamentos é a oxidação.

Para melhor entender sobre o processo de oxidação na redução de metais da água, é necessário o entendimento do mecanismo químico atuante nesse processo e como este auxilia na minimização do teor de metais da água.

A oxidação ocorre quando há a transferência de elétrons entre os reagentes, sendo que para isso acontecer, deve-se ter um elemento que perde elétrons (se oxida) e outro elemento que ganha elétrons, ou seja, que se reduz (JARDIM e CANELA, 2004). Ainda de acordo com os autores, os produtos oxidantes mais utilizados em tratamentos de águas e efluentes são: Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), Ozônio (O_3), Cloro (Cl_2), Dióxido de Cloro (ClO_2) e Permanganato de Potássio ($KMnO_4$), os quais podem ser utilizados como agentes de desinfecção e remoção de odor.

As reações de oxidação ocorrem simultaneamente com as reações de redução. Por isso, em conjunto, são chamadas de oxirredução, onde existe a transferência de elétrons. Em reações de oxirredução, o agente oxidante é o que recebe os elétrons, sofrendo a redução. O agente redutor perde os elétrons e sofre a oxidação. Portanto, a oxidação e a redução são reações opostas (BATISTA, s.d).

Tendo como prioridade a remoção de Ferro da água, a oxidação é necessária, visto que ela diminui a concentração solúvel do metal proporcionando sua remoção em processos em que ocorrem a separação sólido/líquido, dessa forma, o tratamento de água contendo Ferro ocorre basicamente em duas etapas interdependentes: a oxidação, podendo ser realizada por algum dos reagentes citados anteriormente, e a remoção do precipitado, a qual pode ser realizada através da filtração (MORUZZI e REALI, 2012).

De modo a corroborar com Madeira (2003), os processos de tratamento convencional, considerando à coagulação, floculação, decantação e filtração,

geralmente são aplicados às águas superficiais, visto as suas características alteradas pelas contribuições antrópicas. Já, para águas subterrâneas, o processo na maioria das vezes torna-se simplificado, sendo que diminui a quantidade de contaminantes. Porém, como destacado, a região objeto de estudo possui um lençol contaminado por meio de DAM, com maior presença de metais, o que interfere diretamente no processo de tratamento da água (AMARAL, 2022).

Com relação a coagulação, de acordo com Mihelcic e Zimmerman (2015), a maioria das partículas em águas brutas possuem carga superficial líquida negativa, sendo assim, existe uma força eletrostática de repulsão entre essas partículas e em oposição a essas forças, existem as forças atrativas, conhecidas como forças de *Van der Waals*, sendo que a energia potencial resultante da relação das forças de repulsão e atração estão relacionadas a distância entre duas partículas, de modo que as forças de atração são fracas em longas distâncias e a força eletrostática de repulsão é predominante em curtas distâncias. Com isso, torna-se necessário a adição de um coagulante para neutralizar as cargas negativas das partículas e promover a formação de sólidos maiores (flocos).

Segundo Souza (2007), a filtração consiste em um processo do tratamento da água onde acontece a retenção das partículas da água que não foram removidas pela decantação. Em geral, os filtros são constituídos pelo tanque, que é a estrutura de contenção da água a ser filtrada, pelos leitos filtrantes, que são as camadas de materiais filtrantes tais como areia e carvão ativado, há também as camadas suporte, que são camadas onde o material possui granulometria maior que o leito filtrante e serve de sustentação para este.

Nesses aspectos, resumindo as etapas de tratamento de água mencionadas, tem-se as seguintes considerações: a coagulação é o processo de desestabilização de partículas coloidais com a adição de um coagulante, tal como o sulfato de alumínio; a floculação consiste na formação de flocos (partículas maiores) proporcionado pelo contato entre as partículas desestabilizadas em um ambiente de agitação lenta; a decantação é o processo de sedimentação por gravidade dos flocos formados; e a filtração é o processo de percolação da água através de um meio poroso, com retenção, no interstício dos grãos, de material em suspensão e coloidal presentes no líquido (BENETTI e FERRANTI, s.d).

Aprofundando-se na questão dos filtros, a classificação dos mesmos pode ser realizada de acordo com o Quadro 01, abaixo:

Quadro 01 – Classificação dos filtros.

Categoria	Classificação	Descrição
Taxa de filtração	Lento	Baixa taxa de filtração (2,4 a 9,6 m ³ /m ² .dia)
	Rápido	Alta taxa de filtração (120 a 480 m ³ /m ² .dia)
Sentido do fluxo de água	Ascendente	Fluxo de água de baixo para cima
	Descendente	Fluxo de água de cima para baixo
Número de camadas filtrantes	Simples	Somente uma camada filtrante
	Múltiplas camadas	Mais de uma camada filtrante
Pressão de operação	Filtro de pressão	Filtros que operam com pressão acima da atmosférica
	Filtro de gravidade	Filtros abertos cuja água está em contato com a atmosfera

Fonte: Adaptado de SOUZA, 2007.

Os filtros lentos, devido a taxa de filtração ser mais baixa que os filtros rápidos, leva um maior tempo de detenção da água, o que favorece uma atividade biológica mais intensa além de fazer com que os sólidos sejam quase totalmente removidos na camada de areia (WORMA, 2018).

Com relação aos filtros rápidos, a passagem da água ocorre através de um leito granular a altas taxas, geralmente por fluxo descendente e após determinado período de operação o filtro é lavado por retro lavagem, quando ocorre a inversão do sentido da água e a injeção de ar comprimido (BRINCK, 2009).

Nos filtros de fluxo ascendente, a água escoar de baixo para cima, sendo necessária a adição de uma força propulsora, já nos filtros de fluxo descendente, como a água escoar de cima para baixo, o movimento ocorre por ação da gravidade, mesmo princípio dos filtros de gravidade, porém, nos filtros com pressão, é utilizado um recipiente para contenção do leito filtrante, com isso, a água entra no recipiente sob pressão e sai dele com a pressão ligeiramente reduzida (BRINCK, 2009).

É válido destacar que, no geral, a filtração lenta é utilizada para remover as impurezas da água bruta, enquanto a filtração direta remove as impurezas presentes

na água coagulada ou floculada; já a filtração rápida é utilizada com o intuito de remover as impurezas da água decantada (BENETTI e FERRANTI, s.d).

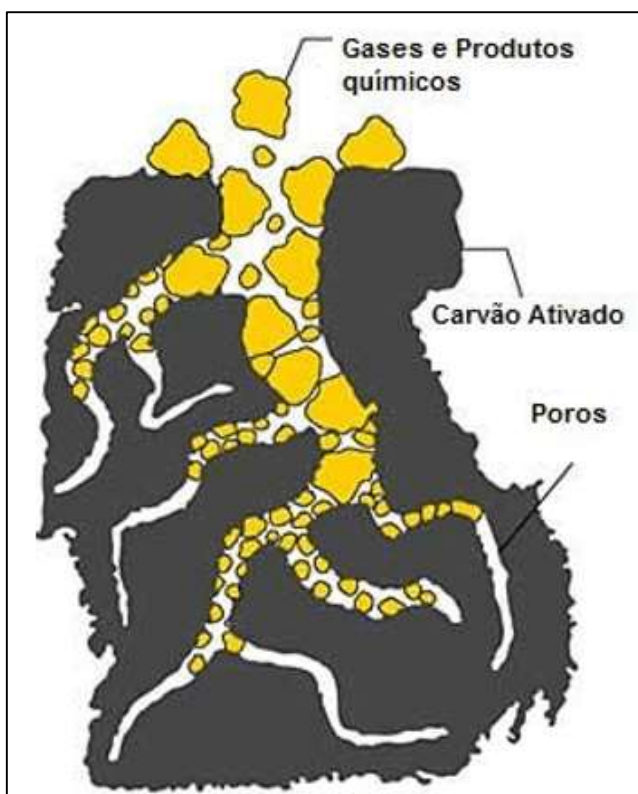
2.4.1. Adsorção

Alguns materiais do leito filtrante, como o carvão ativado, utilizam a propriedade de adsorção para a retenção dos poluentes, a qual consiste em uma “operação de transferência de massa do tipo sólido-líquido que explora a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos componentes dessas soluções” (OLIVEIRA, 2012), ou seja, é a adesão de moléculas (adsorvato) de um fluido a uma superfície sólida adsorvente. Ainda, de acordo com o autor, são diversos fatores que influenciam no processo de adsorção, tais como: a área superficial, a distribuição do tamanho dos poros, o conteúdo de cinzas, a densidade do adsorvente, entre outros.

Com relação aos metais pesados (elementos com densidade superior a 4 g/cm^3), o íon metálico ao entrar em contato com a superfície do sólido adsorvente fica exposto à força de atração dos átomos interiores do adsorvente, entretanto, não é submetido à ação da força de atração dos átomos presentes na fase líquida próxima à interface sólido-líquido, com isso, surge uma força resultante com direção normal à superfície do adsorvente, com sentido para o interior poroso do sólido, fato que atrai as espécies metálicas a serem adsorvidas (MARIA, 2016).

O fenômeno de adsorção no carvão ativado, o qual é um sólido poroso, pode ser observado na Figura 02, abaixo:

Figura 02 – Adsorção no carvão ativado.

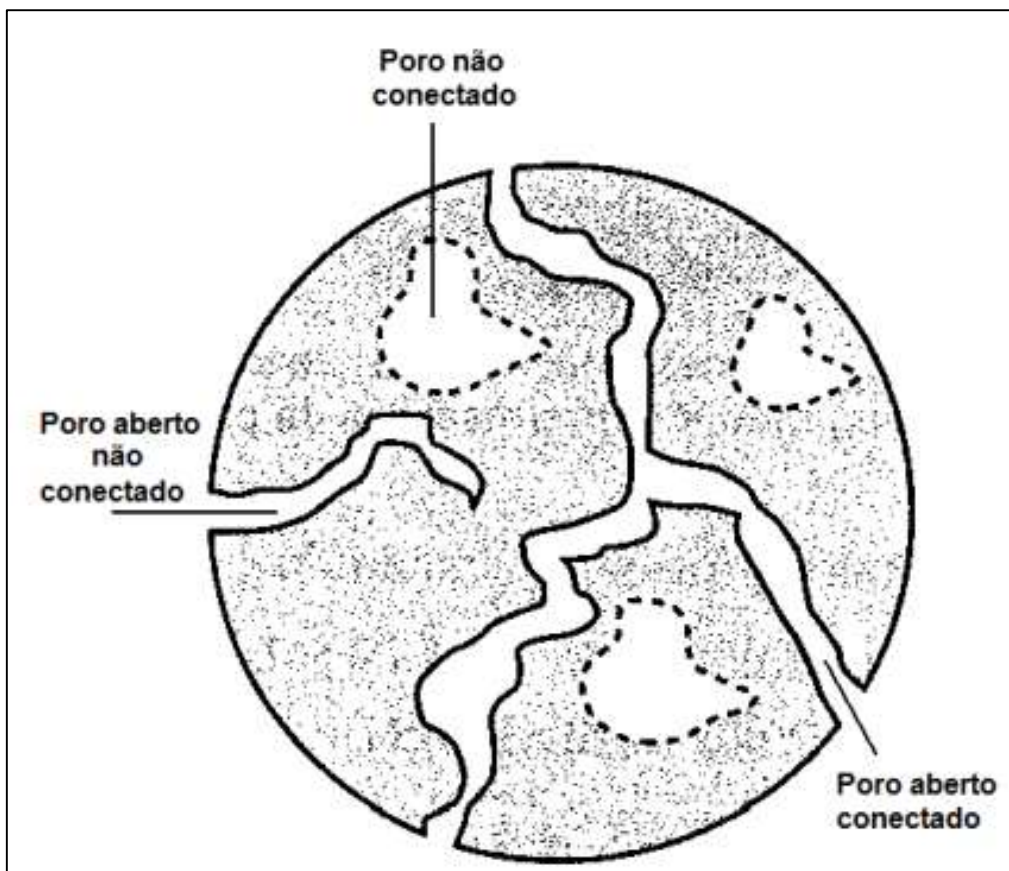


Fonte: Adaptado de SIARA, 2021.

Na imagem é possível notar a adsorção de substâncias nos poros do carvão ativado, entretanto, é válido lembrar que, a área superficial específica de uma partícula adsorvente constitui a área total dos poros por unidade de massa ou volume total da partícula. Tal propriedade é decorrente da existência de poros conectados e abertos não conectados que contribuem efetivamente para o processo de adsorção. Os poros não conectados, ao contrário dos anteriores, não influenciam o processo de adsorção, já que se encontram isolados no interior da matriz sólida e fora do alcance do fluido que contém o adsorvato (PELEKANI e SNOEYINK, 2000; YU et al., 2011 apud MARIA, 2016).

Essa ilustração dos tipos de poros em partículas de carvão ativado que afetam a área superficial do adsorvente pode ser evidenciada na Figura 03 a seguir:

Figura 03 – Poros no carvão ativado.



Fonte: CREMASCO, 2000.

Existe ainda a adsorção química, a qual Nascimento (2020) define como:

A adsorção química é altamente específica e nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorvato. Deve-se ressaltar que nem todas as moléculas presentes no fluido podem ser adsorvidas quimicamente, somente aquelas capazes de se ligar ao sítio ativo [...] a adsorção química apresenta ligações químicas bem mais fortes do que a adsorção física, por se tratar de novas ligações resultantes essencialmente da troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente.

Portanto, quando as forças envolvidas na adsorção são do tipo *Van der Waals* (forças de atração ou repulsão molecular), chama-se adsorção física ou fisissorção, e quando as moléculas do adsorvato reagem quimicamente com as moléculas do adsorvente, chama-se adsorção química ou quimissorção.

2.4.2. Carvão ativado

De acordo com Araújo (2016), carvões ativados são materiais carbonosos porosos que apresentam uma forma micro cristalina, são estruturas constituídas por um conjunto irregular de camadas de carbono e os espaços entre as camadas constituem a porosidade do material. Além disso, de acordo com o autor, antes da utilização do carvão em processos de adsorção, é necessário realizar a ativação dele, sendo que esse processo pode ser realizado a ativação química ou física.

A ativação química é realizada através da presença de agentes químicos, sendo que geralmente utiliza temperaturas menores do que a ativação física, portanto, pode melhorar o desenvolvimento de poros na estrutura do carvão, devido aos efeitos dos produtos aplicados, já a ativação física envolve a carbonização de um material carbonáceo, seguida de ativação do carvão resultante na presença de agentes ativantes como CO₂ ou vapor de água (ARAÚJO, 2016).

Com relação aos tipos de carvão, pode-se citar o mineral, animal e vegetal.

O carvão mineral é produto da fossilização ao longo de milhares ou milhões de anos, sendo que a ação de micro-organismos, da temperatura e da pressão, ao longo desse tempo, e vão perdendo água, oxigênio, nitrogênio, entre outros componentes, ficando cada vez mais ricos em carbono, formando o carvão (FOGAÇA, s.d).

Ainda de acordo com a autora, o carvão vegetal é obtido por meio da destilação seca da madeira. Essa destilação dá origem a três frações, sendo que a fração sólida é o carvão vegetal. Já o carvão animal é obtido por meio da calcinação ou destilação seca de ossos de animais, sendo impuros, densos e porosos.

2.4.3. Parâmetros de qualidade da água

A eficiência dos sistemas de tratamento é verificada com a avaliação da qualidade da água, seja para uso humano ou industrial. Essa avaliação é realizada pela determinação de diversos parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e indicativos de contaminação orgânica e biológica (RICHTER, 2009). Alguns desses parâmetros podem ser descritos no Quadro 02, abaixo:

Quadro 02 – Parâmetros de qualidade de água.

Parâmetros	VMP ⁽¹⁾
pH	6,00 a 9,00
Ferro (mg/L)	0,30
Manganês (mg/L)	0,10
Sólidos Totais (mg/L)	500,00
Condutividade elétrica	N.E. ⁽²⁾
Alumínio (mg/L)	0,20
Turbidez (NTU)	5,00

(1) Valores Máximos Permitidos de acordo com a Portaria MS nº 888 de 04 de maio de 2021.

(2) VMP não estabelecido pela legislação

O pH é determinado pela concentração de íons de hidrogênio (H^+) e corresponde ao potencial hidrogeniônico de uma solução, sendo que é utilizado para indicar a intensidade da condição ácida ou alcalina de uma determinada solução (CLAUDINO, 2009). Além disso, a medição do pH pode ser realizada facilmente por meio do aparelho chamado pHmêtro, que mede a diferença de potencial elétrico entre um eletrodo e a solução (RICHTER, 2009).

A condutividade elétrica é a capacidade de um meio de conduzir uma corrente elétrica e está ligada à concentração de sais dissolvidos na solução, de modo que, quanto maior a presença de partículas ionizadas, maior será a condutividade elétrica. É válido lembrar que a condutividade pode dar uma estimativa precisa quanto à quantidade de sólidos dissolvidos na água (CLAUDINO, 2009).

O Ferro e o Manganês se encontram frequentemente associados, geralmente estão dissolvidos na água subterrânea em estados mais baixos de oxidação (Fe^{2+} e Mn^{2+}), essas formas são facilmente oxidadas nas águas naturais de superfície, formando hidróxidos insolúveis, que tendem a precipitar e em concentrações mais elevadas, contribuem para a dureza da água, causam manchas em roupas e produzem sabor na água (RICHTER, 2009).

A turbidez é o parâmetro que mede a maior ou menor interferência que a água apresenta para a passagem da luz, por causa da ocorrência de partículas em suspensão, essa intensidade da turbidez pode ser medida por um turbidímetro (CLAUDINO, 2009).

2.5. LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS

2.5.1. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997

A presente legislação estabelece a Política Nacional dos Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos, que inclui a gestão de águas subterrâneas. Além disso, em sua seção III, discorre sobre a outorga de direitos de uso de recursos hídricos, que tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997). A Lei também estabelece as atividades que estão sujeitas ao processo de outorga pelo Poder Público, podendo-se citar: derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (BRASIL, 1997).

Essa Lei também traz as atividades que não estão sujeitas ao processo de outorga, as quais são as seguintes: o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes (BRASIL, 1997).

2.4.2. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012

Conhecida como Código Florestal Brasileiro, essa lei não aborda diretamente as águas subterrâneas, porém, estabelece a proteção das Áreas de Preservação Permanente (APP's), as quais contribuem diretamente para a qualidade dos recursos hídricos, incluindo os subterrâneos (BRASIL, 2012). Essa Lei traz a definição de nascente como sendo o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água” e ainda determina que a área num raio de 50 metros em torno de uma nascente é considerada APP, independentemente de sua situação topográfica ou vegetação.

2.5.3. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008

A Resolução define aquífero como sendo o “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos” (BRASIL, 2008).

Além disso, essa Resolução dispõe de classificações e diretrizes para o enquadramento de águas subterrâneas, sendo que essa classificação pode ser evidenciada no Quadro 03 da seguinte forma:

Quadro 03 – Classificação das águas subterrâneas.

Classe	Descrição
Especial	Águas dos aquíferos destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.
1	Águas dos aquíferos sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
2	Águas dos aquíferos sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
3	Águas dos aquíferos, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
4	Águas dos aquíferos com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
5	Águas dos aquíferos que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2008.

Além disso, a Resolução traz padrões de qualidade das águas subterrâneas conforme sua classe ou uso preponderante, sendo esses: consumo humano, dessedentação de animais, irrigação ou recreação.

2.5.4. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009

A presente Resolução dispõe de valores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, onde a definição de contaminação é a seguinte: *“presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana”*.

Com isso, o gerenciamento de áreas contaminadas é realizado através de três etapas, conforme Brasil (2009):

Identificação: onde são identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória com base em normas e procedimentos técnicos.

Diagnóstico: é a etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

Intervenção: “etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área”.

2.5.5. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010

Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010). A presente legislação não está relacionada diretamente aos recursos hídricos, porém é necessário destacar a qualidade na gestão dos resíduos sólidos, de modo a não influenciar na qualidade das águas. Por outro lado, a presente Lei está diretamente ligada a atividade em estudo.

2.4.2. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021

Essa Portaria dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; estabelece padrões de potabilidade para diversas substâncias, tais como: bacteriológicas (coliformes totais e *Escherichia coli*), substâncias químicas inorgânicas (arsênio, cádmio, cobre, mercúrio etc.), substâncias orgânicas que representam risco à saúde humana (grupo BTEX, por exemplo), agrotóxicos (Aldrin e Dieldrin, por exemplo), além de padrões organolépticos de potabilidade como o ferro, cor, dureza e manganês (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

2.6. RECICLAGEM DE PLÁSTICOS

Os polímeros são materiais compostos por macromoléculas, as quais são cadeias formadas pela repetição de uma unidade básica, denominada monômero. O polietileno (PE) por exemplo, é um polímero formado pela repetição de milhares de moléculas de etileno (C₂H₂), geralmente 10.000 ou mais unidades de etileno (GORNÍ, 2003).

Segundo Oliveira (2012), o desenvolvimento dos termoplásticos modernos se iniciou no século XIX, sendo que a expansão definitiva dos mesmos aconteceu a partir da década de 1950, onde ocorreu o aumento da demanda por esses materiais e conseqüentemente houve aprimoramentos das técnicas de desenvolvimento de polímeros sintéticos.

A partir desse momento houve o aumento em larga escala da produção mundial de plásticos. Para efeitos de comparação, em 1950 a produção mundial foi de aproximadamente 1,7 milhões de toneladas, já em 2021 essa produção foi cerca de 390,7 milhões de toneladas (PLASTICS EUROPE, 2022).

Esse aumento da demanda tem como uma das justificativas algumas propriedades físicas atrativas dos plásticos, as quais podem ser vantajosas em diversos setores da sociedade e ramos industriais quando em comparação com outros materiais. No Quadro 04 a seguir, estão algumas dessas características:

Quadro 04 – Propriedades físicas dos polímeros.

Propriedade	Descrição
Leveza	São mais leves que metais e cerâmicas. O PE, por exemplo, é cerca de três vezes mais leve que o alumínio e oito vezes mais leve que o aço
Flexibilidade	No geral os plásticos são maleáveis, característica que varia conforme a faixa do polímero e os aditivos usados em sua formulação
Resistência ao impacto	Essa propriedade, quando associada a transparência, permite a substituição do vidro em várias aplicações: lentes de óculos (acrílico) e faróis de automóveis (policarbonato), por exemplo
Baixa temperatura de processamento	A temperatura para conformação de peças de plástico varia pode variar da temperatura ambiente até 400°C, com isso, ocorre o baixo consumo de energia para conformação das peças
Baixa condutividade elétrica	Os polímeros não possuem elétrons livres, os quais são responsáveis pela condução da eletricidade em metais, sendo assim, são altamente indicados para aplicações onde seja necessário o isolamento elétrico
Baixa condutividade térmica	A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais, também por causa da ausência de um elétron livre, o que dificulta a condução de calor. Logo, são altamente recomendados em aplicações que requeiram isolamento térmico, particularmente na forma de espumas
Resistência à corrosão	As ligações químicas presentes nos plásticos (covalentes/Van der Waals) lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos do que no caso dos metais (ligação iônica/metálica)
Porosidade	O espaço entre as macromoléculas do polímero é relativamente grande. Isso confere baixa densidade ao polímero e alta permeabilidade à gases
Reciclabilidade	Apesar de alguns polímeros não poderem ser reciclados de forma direta, outros como PE e PET apresentam bom potencial econômico para reciclagem

Fonte: Adaptado de GORNI, 2003.

Alguns plásticos se destacam pelo seu baixo preço e facilidade de processamento, são os chamados plásticos *commodities*, como é o caso do PE, o qual possui características atrativas, tais como: baixo custo, elevada resistência a solventes, baixo coeficiente de atrito, excelentes propriedades isolantes, baixa permeabilidade à água, inodoro e atóxico (GORNI, 2003).

De acordo com Piatti e Rodrigues (2005), uma das razões para esse crescimento na produção e utilização de plásticos é sua durabilidade, consequência de sua estabilidade estrutural, o que lhes confere resistência a vários tipos de degradações (fotodegradação, degradação química e biodegradação). Alguns plásticos por exemplo, possuem um longo período, chegando a séculos para se degradarem; essa característica, no entanto, apresenta sério problema ecológico, visto que a muito do que é produzido é descartado após utilização e com isso, obtém-se o acúmulo de plástico nos mares, oceanos e solo por exemplo, poluindo a

paisagem e desencadeando outros problemas como a bioacumulação na cadeia alimentar e transporte de poluentes tóxicos adsorvidos no polímero.

Segundo Jardim et al (2012), a produção excessiva de resíduos pela sociedade é uma questão que requer ações nos níveis socioambiental, econômico e de saúde humana, visto que a geração de resíduos bem como o desperdício de matérias-primas, demandam respostas urgentes e implicam em mudanças dos padrões existentes de produção e consumo da sociedade, além da implantação de um gerenciamento adequado e sustentável dos resíduos sólidos.

A coleta seletiva, instrumento previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos, pode ser considerado um gerenciamento sustentável, uma vez que a PNRS a define como sendo a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição e abrange a coleta de materiais como plásticos, papelão, vidros, metais, entre outros (BRASIL, 2010).

Além disso, a coleta seletiva de materiais recicláveis no Brasil se diferencia pelo componente social, onde se destaca a inclusão de catadores e apoio de políticas públicas à organização em associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Entretanto, a ampliação da prestação do serviço de coleta seletiva demanda de avaliação de desempenho tanto no plano operacional quanto no socioambiental, logo, torna-se importante o investimento e aplicação de políticas públicas de incentivo, principalmente nas esferas estaduais e municipais (JARDIM et al, 2012).

Com relação a reciclagem de plástico no Brasil, em 2018 foram geradas cerca de 3,4 milhões de toneladas de resíduos plásticos de pós-consumo, sendo que em 2016, foram geradas 2,1 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 62% em apenas dois anos. Desses 3,4 milhões de toneladas, 991 mil toneladas foram destinadas à coleta seletiva, às cooperativas, aos centros de triagem e/ou aos sucateiros; e deste volume, cerca de 234 mil toneladas se perderam no processo de reciclagem, sendo classificados como rejeitos e destinados a aterro sanitário (MaxiQuim, 2018).

3. METODOLOGIA

A aplicação metodológica do trabalho possui um caráter investigativo, visto que é necessária uma análise da situação da água em questão para à posterior proposta de tratamento conforme a qualidade da água evidenciada nas análises, além da avaliação da viabilidade de um sistema de tratamento para o empreendimento em questão.

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa tem como aplicação a região Sul, do estado de Santa Catarina, situada na região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense (RH 10), onde a Agência Nacional de Águas (ANA) divide atualmente o estado em três grandes regiões hidrográficas, sendo Região Hidrográfica (RH) do Paraná, Uruguai e Atlântico Sul (SANTA CATARINA, 1997). Dentre as RH citadas, ocorre uma subdivisão dessas regiões, totalizando o estado em dez regiões hidrográficas, que compreende as características físicas das bacias hidrográficas (SANTA CATARINA, 1997), conforme Quadro 05.

Quadro 05 - Regiões Hidrográficas e composição de suas bacias.

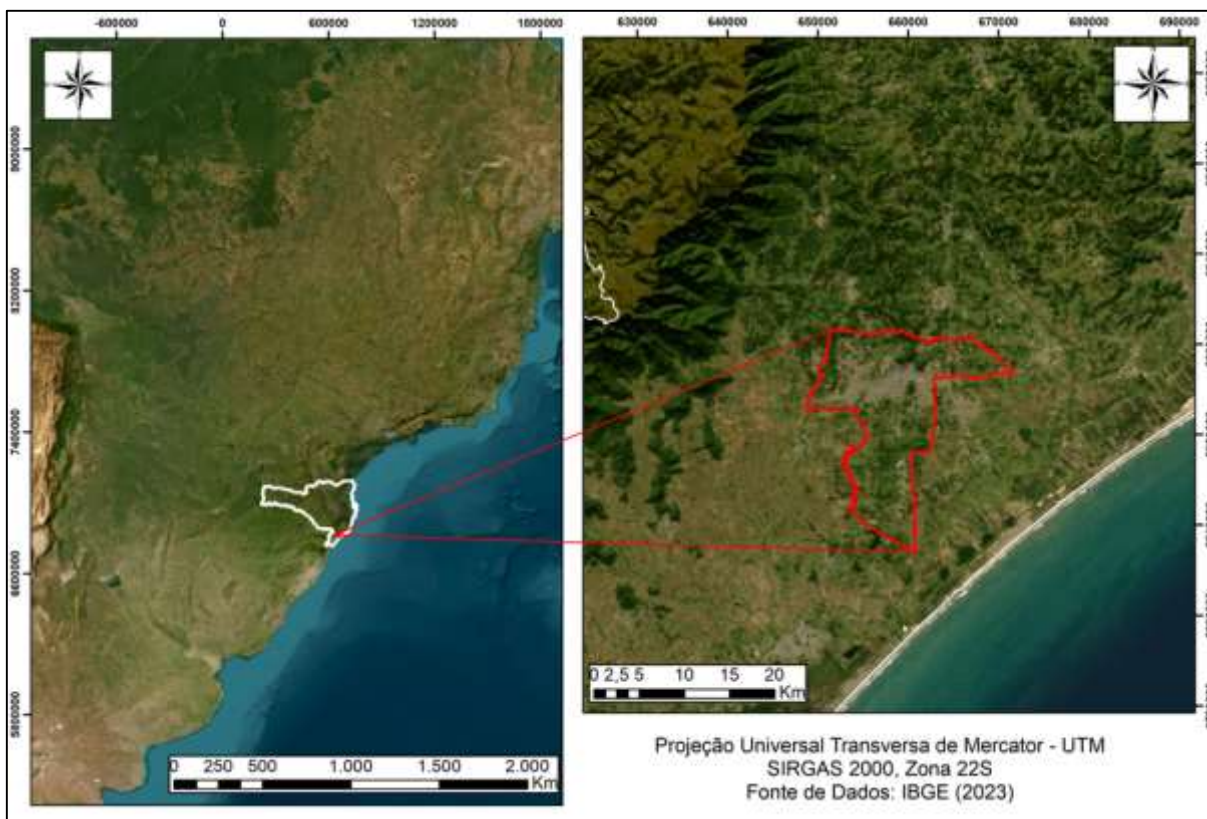
Regiões Hidrográficas	Bacia Hidrográficas
RH 1 - Extremo Oeste	Rio Peperi-Guaçu Rio das Antas
RH 2 - Meio Oeste	Chapecó Irani
RH 3 - Vale do Rio do Peixe	Peixe Jacutinga
RH 4 - Planalto de Lages	Canoas Pelotas
RH 5 - Planalto de Canoinhas	Timbó Negro Canoinhas
RH 6 - Baixada Norte	Cubatão (Norte) Itapocu
RH 7 - Vale do Itajaí	Itajaí-açu
RH 8 - Sul Catarinense	Tijucas Biguaçu Cubatão (Sul) Madre

RH 9 - Sul Catarinense	Tubarão D'Uma
RH 10 - Extremo Sul Catarinense	Araranguá Urussanga Mampituba

Fonte: Santa Catarina, 1997.

O local de aplicação da proposta de tratamento da água subterrânea está situado na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (BHRA), contemplando essa, uma área de aproximadamente 3.007 km², com cerca de 15 cursos d'água que formam a presente bacia (SANTA CATARINA, 2014). A área de estudo, localiza-se no município de Criciúma (Figura 04), que abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.

Figura 04 – Localização do município da área de estudo.



Fonte: Autor, 2023.

Importante ainda destacar a caracterização do clima, sendo que o estado de Santa Catarina é caracterizado por apresentar elevada pluviosidade, chuvas bem distribuídas durante o ano e por não possuir uma estação seca definida (EMBRAPA, 2004). Segundo Monteiro (2001) relata que “Santa Catarina é um dos estados da

federação que apresenta melhor distribuição de precipitação pluviométrica durante o ano, devido a sua localização geográfica”. Conforme a classificação de Köppen, o clima de Santa Catarina foi classificado como mesotérmico úmido (sem estação seca) Cf, incluindo dois subtipos, Cfa (clima subtropical) e Cfb (clima temperado) (PANDOLFO et al., 2002).

A pluviosidade está diretamente ligada as propostas do sistema de tratamento da água subterrânea, visto que essa característica física, correlacionado com outros fatores como topografia, cobertura vegetal, alimentam e estabilizam os lençóis freáticos, local esse que será utilizado como captação de água para posterior tratamento.

Correlacionando esses fatores relevantes para a preservação da água subterrânea nos lençóis freáticos, temos então um estado inserido no bioma Mata Atlântica. A vegetação presente no Estado de Santa Catarina está diretamente relacionada à variação do relevo (MONTEIRO, 2001), que iniciam no nível no mar nas regiões litorâneas e chegam a uma altitude maior que 1000 metros em regiões do planalto. O estado apresenta 3 (três) tipos diferentes de florestas, sendo: floresta ombrófila densa (disposta nas regiões litorâneas), floresta ombrófila mista (disposta nas regiões do planalto) e floresta estacional decidual (disposta na região oeste) (VIBRANS et al., 2010).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa é um fator importante e fundamental no campo das ciências sociais e nas soluções para problemas coletivos. Conforme Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa não visa apenas a verdade e sim procura respostas para questões propostas, utilizando métodos científicos.

Cervo e Bervian (2002) destacam que a finalidade de uma pesquisa depende da qualificação do investigador, a pesquisa será objetiva e trará resultados diferentes. Na tradição acadêmica brasileira, a atividade de pesquisa está fortemente concentrada na universidade e constitui-se na preparação inerente de graduandos, mestres e doutores.

Os objetivos de uma pesquisa podem ser exploratórios, descritivos e explicativos (PRODANOV, FREITAS, 2013). Os autores trazem que a pesquisa exploratória proporciona mais informações sobre o assunto investigado e pode ser

realizada por levantamentos bibliográficos como também por entrevistas. Quanto a descritiva o pesquisador apenas registra e escreve os fatos observados sem interferir neles buscando relações entre variáveis. A pesquisa explicativa visa o porquê de determinado assunto por meio da análise e classificação dos fenômenos observados. Desse modo, a presente pesquisa será baseada nos pressupostos apresentados acima, e terá estrutura descritivo/explicativa.

2.4.2. Procedimentos da pesquisa

Levando em consideração os fatos expostos anteriormente sobre as águas subterrâneas e os tipos de tratamento, foi realizada a escolha de um empreendimento que utiliza a água subterrânea de um lençol freático como insumo no processo produtivo, porém, essa água possui alta concentração de Ferro.

Feito isso, foi realizada uma caracterização geral da área de estudo e do empreendimento, de modo a evidenciar a localização, o processo produtivo, o maquinário utilizado no empreendimento, bem como a matéria prima e os produtos fabricados.

Após, realizou-se uma avaliação das características da água subterrânea através de ensaios em laboratório com o objetivo de quantificar o Ferro dissolvido na amostra além de analisar outros parâmetros relevantes, como: pH, condutividade elétrica, sólidos totais e manganês.

Em seguida, realizou uma pesquisa em artigos científicos e livros, de modo a identificar o melhor sistema de tratamento do ponto de vista custo-benefício que se aplica ao caso em questão, levando em consideração que o objetivo não está diretamente aplicado a potabilidade da água, mas sim uma otimização para o processo produtivo de modo a reduzir a quantidade de Ferro da água.

Com isso, foi realizada a determinação da vazão do poço artesiano através de uma tubulação ligada diretamente a ele para avaliar a implantação do sistema de tratamento, visto a importância de quantificar o volume de tratamento, para propor um sistema eficiente e eficaz no tratamento.

Finalizou-se avaliando os sistemas aplicados ao tratamento da água subterrânea e a proposta na escolha do sistema, avaliando fatores como qualidade, relação custo-benefício, demanda por espaço e remoção satisfatória de Ferro.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento consiste em um unidade de reciclagem de resíduos de Classe IIB, cujo código de acordo com a Resolução CONSEMA 99/2017 é o 71.30.01.

A área útil da empresa é de 2.180,00 m², que inclui estacionamento, pátio, escritório e pavilhão fabril. A empresa dispõe de um pavilhão com uma área total construída de 850,00 m².

Os equipamentos que a empresa dispõe estão são listados na tabela 01 a seguir:

Tabela 01 – Máquinas e equipamentos do empreendimento.

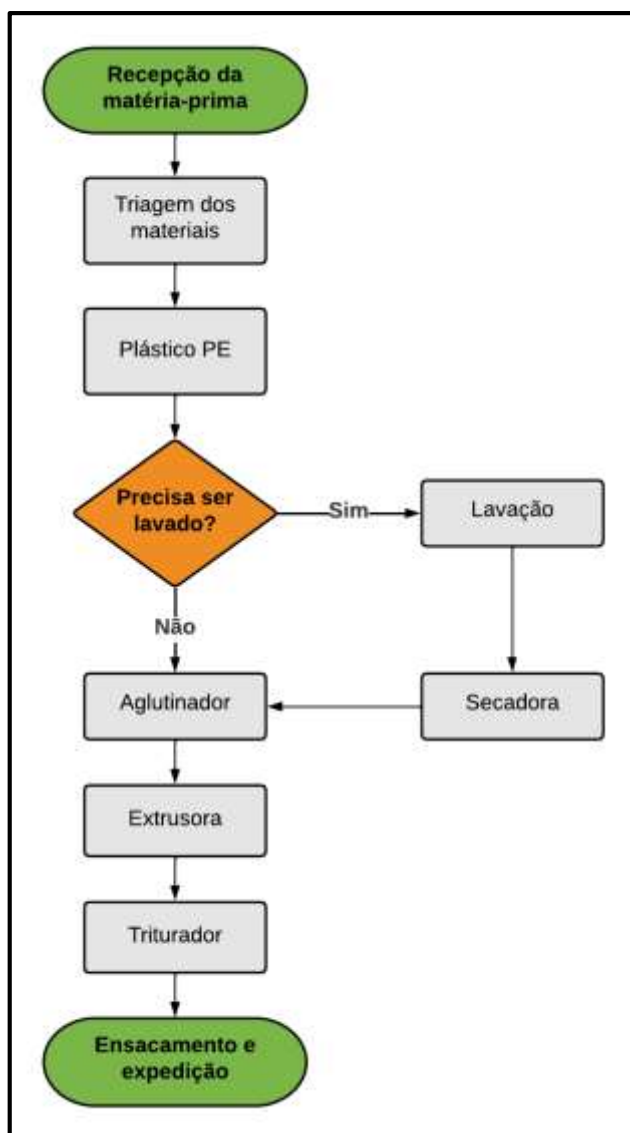
Equipamento	Quantidade (unidades)
Moinhos	01
Aglutinadores	02
Empilhadeira	01
Triturador	01
Extrusora	01
Tanque de lavação	01
ETE	01

Fonte: Autor, 2023.

Com relação aos produtos utilizados, o empreendimento recicla cerca de 100 toneladas de plástico por mês de plástico do tipo PE, sendo que 80% são provenientes da compra de materiais das indústrias (material limpo) e 20% da compra de pessoa física. O material da indústria como é mais limpo, não há a necessidade de ser lavado, entretendo, o material que é adquirido de pessoa física possui certas impurezas, logo, esses materiais são destinados ao tanque de lavação.

O processo produtivo da empresa pode ser evidenciado no fluxograma da Figura 05 abaixo:

Figura 05 – Fluxograma do processo produtivo.



Fonte: Autor, 2023.

Vale destacar que a água no processo produtivo é empregada na lavagem para os plásticos provenientes de pessoa física e na extrusora, para o resfriamento dos fios e enrijecimentos deles.

3.3.1. Recepção da matéria-prima

Todas as matérias-primas que chegam à empresa são armazenadas dentro do pátio da empresa. Esses materiais são dispostos dentro de sacolas ou *big bags*. Esses materiais, muitas vezes, estão completamente misturados havendo a necessidade de serem completamente segregados.

Figura 06 – Recepção da matéria-prima.



Fonte: Autor, 2023.

3.3.2. Triagem dos materiais

A responsabilidade de segregar esses materiais é dos funcionários que trabalham nesse setor, esses materiais são segregados para separação do plástico do tipo PE.

Já os materiais que não se enquadram nessa classificação são descartados como rejeitos. Esses rejeitos acabam sendo colocados dentro de sacolas de lixo e recolhidos pela coleta municipal.

Figura 07 – Triagem dos materiais.



Fonte: Autor, 2023.

3.3.3. Plástico PE

Esse tipo de material plástico PE é recolhido a granel pela empresa, de pessoas físicas e jurídicas, geralmente de alimentos ou produtos inertes, nunca de produto perigoso.

3.3.4. Lavação

O único material que passa pela lavação é o plástico do tipo PE adquirido de pessoa física, o principal objetivo dessa lavação é a retirada de toda a sujeira proveniente no plástico, que venha a comprometer a qualidade final do produto e a sua desvalorização. Esses materiais são lavados entorno de três horas por dia. O efluente gerado é direcionado para um sistema de tratamento de efluentes.

Figura 08 – Lavação dos materiais.



Fonte: Autor, 2023.

3.3.5. Secadora

Logo após a passagem desse material pela lavação, eles são armazenados dentro de secadoras. O objetivo principal dessa secadora é a secagem completa do material (plástico do tipo PE).

3.3.6. Aglutinador

Após a secagem dos materiais, eles são transferidos para um aglutinador (equipamento semelhante ao liquidificador), que aquece o material por fricção,

transformando em uma pasta plástica. Em seguida é aplicado um jato de água em pequena quantidade, para provocar o resfriamento repentino, na qual faz as moléculas dos polímeros se contraírem aumentando a sua densidade. O plástico resulta assim em pequenos pedaços disformes.

Figura 09 – Aglutinador.

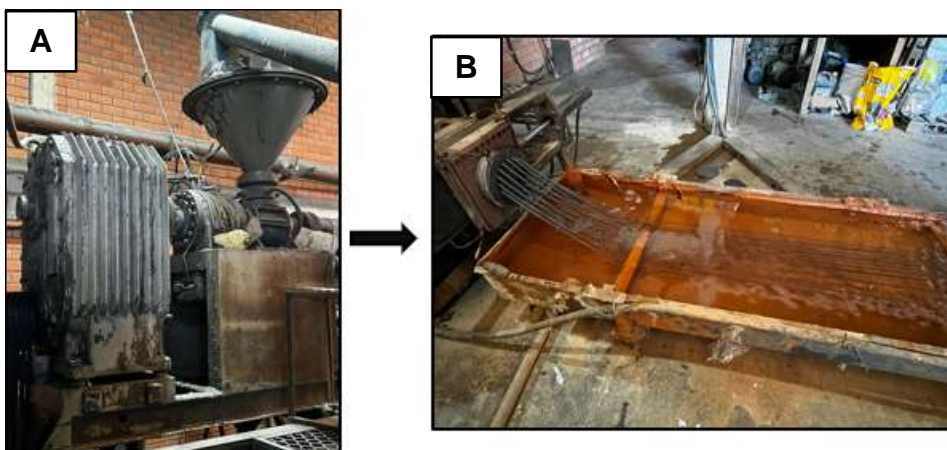


Fonte: Autor, 2023.

3.3.7. Extrusora

Após a saída do aglutinador, o material segue para a extrusora, máquina que faz a fusão e confere um aspecto homogêneo a esse material, que é transformado em tiras ou em espaguetes. Em seguida, as tiras desses materiais derretidos passam por um resfriamento e se solidificam.

Figura 10 – **A:** Extrusora; **B:** Resfriamento.

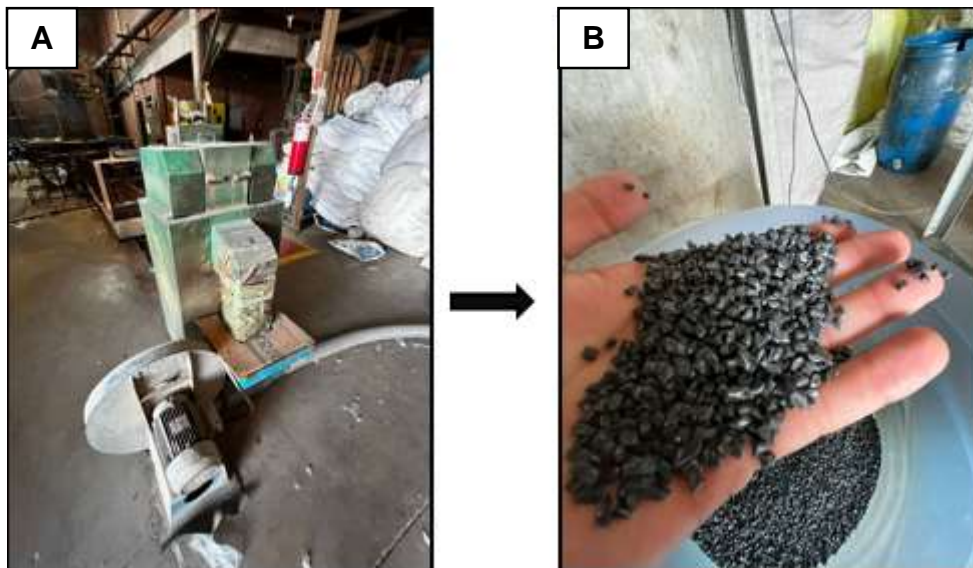


Fonte: Autor, 2023.

3.3.8. Triturador

As tiras, após saírem da extrusora, seguem para o triturador onde são picotadas em grãos chamados de *pellets*, os quais são os produtos finais.

Figura 11 – A: Triturador; B: Pellets.



Fonte: Autor, 2023.

3.3.9. Ensacamento e expedição

Os *pellets* são armazenados dentro de sacolas de linhagem de 25 kg, os quais são carregados pelos funcionários até os caminhões para serem encaminhados aos clientes.

Figura 12 – Ensacamento dos *pellets*.



Fonte: Autor, 2023.

3.4. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para avaliação da qualidade da água, procedeu-se uma análise da mesma. A coleta da água, foi realizada por profissionais qualificados, de laboratório reconhecido pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA. No momento da coleta, o dia estava ensolarado assim como as 48h que antecederam a data da amostragem, com temperatura de cerca de 21°C. A temperatura da amostra estava em aproximadamente 33,9°C sendo que sua cor estava levemente amarelada.

A amostra de água a ser coletada para análise foi proveniente de uma tubulação que está ligada diretamente ao sistema de bombeamento do poço, conforme Figura 12 A e B.

Figura 13 – A: Ponto de amostragem; **B:** Coleta da amostra



Fonte: Autor, 2023.

Pode ser evidenciado o momento da coleta, por profissional habilitado.

3.4.1. Procedimentos de análise dos parâmetros

Destacando, de modo a avaliar os parâmetros presentes na água, realizou-se análise da água por um laboratório terceirizado, credenciado pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA).

Com vistas a uma proposta de tratamento da água, inicialmente verificou-se então cinco parâmetros importantes para a avaliação da qualidade do recurso hídrico subterrâneo para o trabalho em questão, sendo: Condutividade Elétrica, Ferro Total, Manganês Total, pH e Sólidos Totais.

A condutividade elétrica foi analisada com um condutímetro em campo na mesma hora da coleta da amostra. Esse aparelho usa uma corrente elétrica de baixa intensidade para medir a condutividade, sendo que esta corrente é enviada através da amostra e quanto maior a quantidade de minerais, sólidos e metais dissolvidos na água, maior será a condutividade elétrica. Lembrando que a unidade de medida empregada pode ser o siemens por metro (S/m), ou no caso de amostras de água com menor condutividade, a unidade empregada pode ser o microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou o milisiemens por centímetro (mS/cm) (SP LABOR, 2018).

A medição do pH foi realizada também em campo e no momento da coleta com um aparelho chamado de pHmêtro, o qual é composto por um eletrólito que consiste em uma solução para medir o nível de acidez ou alcalinidade da água, além do eletrodo, que é o recipiente que contém o eletrólito. O eletrodo possui duas extremidades chamadas de eletrodos, os quais são conectados ao medidor por meio de fios elétricos (SP LABOR, 2018).

A determinação do Ferro e Manganês foi realizada através de um ensaio conhecido como ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) ou Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Acoplado. Essa técnica se baseia na medida da radiação eletromagnética, das regiões do visível e ultravioleta emitida por átomos e íons excitados quando estes retornam ao seu estado fundamental. O processo de ionização (excitação) dos átomos é realizado com a utilização de um plasma, com temperaturas acima de 6000K, com energia suficiente para promover o fenômeno de excitação na maioria dos elementos químicos existentes, possibilitando a identificação de uma ampla gama de elementos como metais, semimetais e terras raras. A radiação é medida através da detecção óptica nas características dos comprimentos de ondas padrão dos elementos de interesse da análise, onde através de uma comparação entre os comprimentos de ondas obtidos no resultado e os padrões de emissão de cada elemento químico, é possível quantificar sua presença em uma amostra (AFINKO, 2021).

Com relação aos sólidos da amostra, foram determinados através da gravimetria por precipitação, onde é provocada uma reação de precipitação dos íons presentes na amostra e filtrados para a quantificação dos sólidos.

3.5. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DO POÇO

De modo a propor um sistema de tratamento eficaz, é necessário conhecer a vazão de captação, sendo atribuída essa vazão, como de consumo. O empreendimento realiza a captação de água através de um poço artesiano para a utilização no processo produtivo.

Usualmente, para o cálculo de vazão, é realizado um teste de bombeamento por um período de 24h para a sua determinação, porém, como o poço já possui sistema de bombeamento constante, esse cálculo foi realizado de maneira simplificada, com o auxílio de um recipiente de volume conhecido e um cronômetro. Justifica-se ainda, que utilizou o presente procedimento, visto os recursos atualmente limitados. Logo, observa-se quanto tempo o poço levará para encher o recipiente de determinada capacidade. Portanto, a vazão poderá ser determinada com a Equação 01:

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

Q = vazão do poço (L/s);

V = volume do recipiente (L);

T = tempo decorrido para o enchimento do recipiente (s).

3.6. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO

Levando em consideração a análise da água e a vazão calculada do poço, foi realizada a pesquisa bibliográfica em artigos *online* para a análise de um sistema de tratamento adequado para o empreendimento.

Priorizou-se artigos e livros que tratavam de casos reais de tratamento de água e remoção de ferro de águas tanto superficiais quanto subterrâneas. Com isso, é possível determinar um sistema de tratamento com base na relação custo-benefício

para o empreendimento, tendo como objetivo principal a remoção de ferro para a utilização da água no processo produtivo.

3.7. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

O cronograma físico-financeiro pode ser definido como uma simulação analítica em função da criação de cenários, sendo estes, as versões do cronograma da obra a fim de tomar decisões mais precisas, com o objetivo de otimizar, atingir maior eficiência e gerar um planejamento lógico, além disso, este mecanismo permite que o engenheiro tenha mais previsibilidade na construção e um melhor gerenciamento devido a uma melhor visualização do projeto como um todo (BRITO, 2022).

Como o sistema de tratamento não será instalado no tempo de desenvolvimento do presente trabalho, elaborou-se um cronograma físico-financeiro de instalação do sistema após sua determinação, levando em consideração os recursos dispostos pelo empreendedor e sua capacidade de espaço e produtividade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interpretação e análise dos resultados acontece em basicamente três etapas: exposição e discussão sobre os resultados da análise dos parâmetros da coleta da amostra de água do poço; determinação da vazão do poço; e avaliação de um sistema de tratamento para a água subterrânea utilizada no processo produtivo.

4.1. RESULTADO DA ANÁLISE DA ÁGUA

Os resultados da análise da amostra da água subterrânea estão evidenciados na Tabela 02 a seguir:

Tabela 02 – Resultados dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Resultados	Padrão (VMP) ⁽¹⁾
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1556,00	N.E ⁽²⁾
Ferro Total (mg/L)	2,353	0,3
Manganês Total (mg/L)	0,098	0,1
pH	6,06	6,00 a 9,00
Sólidos Totais (mg/L)	1844,00	N.E

(1) Valores Máximos Permitidos de acordo com a Portaria MS nº 888 de 04 de maio de 2021.

(2) VMP não estabelecido pela legislação.

Percebe-se que os valores de condutividade elétrica e sólidos totais são próximos, visto que a condução de eletricidade na água está condicionada à presença ou não de minerais e sólidos dissolvidos.

Com relação ao Ferro Total, o valor é relativamente alto, o que pode ser justificado pelo fato do histórico de mineração e depósito de rejeitos da região carbonífera, onde houve contaminação dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos. Vale ressaltar que a área de estudo está inserida em área de ACP do carvão.

Os resultados de pH e Manganês Total se apresentaram satisfatórios e dentro dos limites para o padrão de potabilidade. Fato interessante, levando em consideração a situação descrita anteriormente da localização do empreendimento em uma área de ACP do carvão com histórico de mineração.

4.2. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO

Para a determinação da vazão do poço, primeiramente foi verificado o tempo no qual a mangueira que é ligada direto à bomba do poço levou para encher um recipiente de 1L. Foram realizadas cinco medições (Tabela 03) com um cronômetro e o tempo foi determinado com a média aritmética dessas medições.

Foram utilizados recursos próprios para determinação da vazão do poço. Porém, no momento da elaboração do projeto, onde se aplicará o dimensionamento e instalação do sistema de tratamento da água proposto, deverá ser instalado um hidrômetro, de modo a manter uma vazão constante de tratamento, como ainda determinar as quantidades exatas de hipoclorito no momento da dosagem para a oxidação.

Tabela 03 – Medidas de tempo.

Medidas Tempo (s)	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
	1,80	2,04	1,62	1,88	1,60

Fonte: Autor, 2023.

Com as medidas, foi possível determinar a vazão média do poço utilizando a equação abaixo:

$$Tm = \frac{(T1+T2+T3+T4+T5)}{5} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

T_m = Tempo médio (s)

T₁ = Tempo da primeira medida (s)

T₂ = Tempo da segunda medida (s)

T₃ = Tempo da terceira medida (s)

T₄ = Tempo da quarta medida (s)

T₅ = Tempo da quinta medida (s)

Com isso, foi possível determinar o tempo médio transcorrido:

$$Tm = \frac{(1,80 + 2,04 + 1,62 + 1,88 + 1,60)}{5}$$

$$Tm = 1,788s$$

Tendo o tempo médio, a vazão média do poço pode ser determinada pela equação 01 apresentada anteriormente na seção metodológica, de modo que o volume do recipiente utilizado é de 1 L.

$$Q_m = \frac{V}{T_m}$$

$$Q_m = \frac{1}{1,788}$$

$$Q_m \approx 0,56 \text{ L/s}$$

É válido destacar que a vazão calculada é suficiente para as atividades desenvolvidas no processo produtivo, sendo que não são necessárias outras formas de abastecimento de água para suprir a demanda do processo.

4.3. DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A determinação do sistema de tratamento se constituiu em revisões bibliográficas sobre casos de remoção de ferro em águas para abastecimento público ou para fins industriais.

Para Moruzzi e Reali (2012), existem três processos mais comuns de remoção de Ferro e Manganês em águas de abastecimento e de uso industrial, são eles: 1) aeração – filtração, 2) cloração – filtração e 3) oxidação com permanganato de potássio seguida da filtração em rocha calcárea.

De acordo com os mesmos autores, o processo de aeração-filtração é composto por um equipamento de aeração, tanque de retenção e filtros. O oxigênio da atmosfera reage com o Ferro e Manganês contido na água para produzir sais insolúveis de óxidos de Ferro e Manganês. Como a velocidade de reação depende do valor do pH, um tempo de detenção de diversas horas pode ser necessário após a aeração, dependendo das características da água. Algumas vezes são necessários tanques de sedimentação para retenção dos precipitados de Ferro e Manganês, quando as concentrações dos metais presentes são altas. Com relação aos filtros, classificam-se como de pressão com meio constituído, preferencialmente, de carvão e areia. É válido lembrar do alto custo inicial desse sistema caso a concentração de Manganês exceda 1 mg/L, pois tempos adicionais de retenção deverão ser

considerados podendo ser requerido um tratamento complementar com oxidantes químicos para diminuir a concentração de Manganês.

O processo de cloração-filtração é simples e normalmente requer pequenas unidades de cloração e filtros. Algumas vezes é necessário um pequeno tanque de retenção e um sistema para ajuste do pH, podendo ser utilizado Hidróxido de Cálcio ou Soda Cáustica. Com relação à oxidação, tanto o Cloro gasoso como o Hipoclorito podem ser usados como agentes oxidantes. A quantidade teórica de Cloro requerida para oxidar uma água contendo concentrações de Ferro solúvel de 1 mg/L e de Manganês de 1 mg/L é, de respectivamente, 0,62 mg/L e 1,30 mg/L. Os filtros utilizados neste processo são similares aos utilizados no processo de aeração-filtração, podendo ser utilizados filtros de brita, antracito e areia (MORUZZI & REALI, 2012).

O processo de oxidação com Permanganato de Potássio seguido da filtração em rocha calcária é similar ao processo de cloração – filtração, diferenciando-se no oxidante utilizado e leito filtrante. Uma solução de 1 a 4% de Permanganato de Potássio é necessária antecedendo o filtro para reduzir a quantidade de Ferro e Manganês solúveis. A rocha calcária é um mineral capaz de trocar elétrons com os metais solúveis alterando-os para seus estados insolúveis, tendo, portanto, a habilidade de oxidar e filtrar. No entanto, sua capacidade de oxidação é limitada sendo necessário eventualmente, regenerar o leito com Permanganato de Potássio após sua lavagem, sendo que as maiores desvantagens desse processo estão associadas à deterioração do leito filtrante quando o pH está na faixa de 7, e da adição de produtos químicos (MORUZZI & REALI, 2012).

De acordo com Madeira (2003), o processo mais efetivo para remoção de compostos de Ferro solúveis é a oxidação e posterior filtração. A oxidação pode ser realizada por processo de aeração ou de cloração, já a filtração pode ser realizada por um filtro de areia e/ou carvão.

Sobre o carvão ativado de ossos bovinos, são produzidos a partir da pirólise dos ossos moídos a 800°C em atmosfera com concentração limitada de oxigênio. Ao passo em que os carvões ativados convencionais apresentam majoritariamente concentração de carbono, o carvão ativado de osso apresenta somente cerca de 10% de carbono. O restante é constituído, principalmente, de Hidroxiapatita e quantidades

menores de Carbonato de Cálcio, conferindo uma característica alcalina ao carvão (GUEDES, MAGALHÃES e ROCHA, 2005).

Além disso, devido às suas excepcionais qualidades de adsorção, habilidade de moléculas contidas no fluido de se concentrarem sobre a superfície do sólido, o carvão ativado de ossos é amplamente utilizado em processos em que se deseja purificar, descolorir, recuperar e remover odores, obtendo-se ainda, ótima relação custo-benefício (BONECHAR, 2023).

As propriedades e especificações técnicas do carvão em questão podem ser observadas no Quadro 06, abaixo:

Quadro 06 – Propriedades e especificações técnicas do carvão ativado de ossos bovinos.

Propriedade	Especificação
Fosfato tricálcico	70 - 76%
Carbono	9 - 11%
Carbonato de cálcio	7 - 9%
Cinza solúvel em ácido	<3%
Cinza insolúvel	0,70%
Sulfato de cálcio	0,1 - 0,2%
pH	8,5 - 9,5
Área superficial específica total	120 m ² /g
Área superficial do Carbono	50 m ² /g
Ferro	<0,3%
Tamanho de poro	7,5 - 60.000 nm
Volume de poro	0,225 cm ³ /g
Umidade	<5%
Densidade aparente	0,60 - 0,70 g/cm ³
Dureza	>80
Aspecto	Sólido (granulado ou em pó)
Odor	Inodoro

Fonte: Adaptado de BONECHAR, 2023.

Percebe-se que a presença da matriz mineral de Hidroxiapatita (constituente natural dos ossos formados por Fosfatos de Cálcio cristalino), é a característica que difere esse tipo de carvão dos convencionais. Tal composto é uma rede cristalina que atua na adsorção e troca iônica, nos diversos compostos, tanto inorgânicos como orgânicos, o que atribui a esse tipo de carvão uma alta eficiência de adsorção (BONECHAR, 2023).

Guedes, Magalhães e Rocha (2005) realizaram um ensaio de adsorção utilizando o carvão de ossos bovino descrito acima para a remoção de alguns metais pesados (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni e Co). No experimento foi avaliada a remoção do metal alcançada em função do tempo do experimento para a concentração inicial de 100mg/L do metal em uma solução de pH igual a 4,0, utilizando carvão de granulometria fina e grosseira. Percebeu-se que 140 minutos foi o tempo necessário para o alcance do equilíbrio.

Nesse tempo, no experimento utilizando o carvão de granulometria grosseira, a taxa de remoção de Zinco, Chumbo, Cádmiio e Cobre ficou na faixa de 70 a 90%, enquanto para o Cobalto e Níquel a remoção ficou em torno de 40%. Já com relação ao carvão de granulometria fina, a taxa de remoção de Zinco, Chumbo e Cobre ficou na faixa de 80 a 100%, enquanto para o Cobalto, Níquel e Cádmiio, a remoção ficou em torno de 60 a 70% (GUEDES, MAGALHÃES e ROCHA, 2005).

Concomitantemente, o pH das soluções subiu de 4,0 (valor inicial) para 6,1 (0,5g/50 ml) e para 8,2 (1g/100mL), provavelmente devido à dissolução dos componentes de carbonato presente no carvão, pois a fase fosfática apresenta papel muito importante na adsorção sendo também responsável pela remoção dos metais, pois essa elevação do pH provenientes dos fosfatos possibilita a precipitação de alguns hidróxidos metálicos, uma vez que o pH no qual se tem uma significativa precipitação do Zn, Cu, Pb e Cd (variável com a concentração do metal) é inferior ao pH de precipitação do Cádmiio e do Cobalto. Isso indica que a remoção do metal da solução ocorre através de uma combinação de adsorção e precipitação (GUEDES, MAGALHÃES e ROCHA, 2005).

Sicupira (2011) também realizou ensaio de adsorção com carvão de ossos para a remoção de Manganês em efluente de DAM (com concentrações superiores a 100 mg/L), onde foi possível remover cerca de 70%. Lembrando que o efluente de DAM possui pH baixo (em torno de 3), o que dificulta a remoção de Manganês, já que é necessário elevar o pH para a sua precipitação e remoção.

Oliveira (2012) realizou o estudo do mecanismo de remoção dos íons Pb^{2+} , Mn^{2+} e Cr^{3+} em carvão de osso bovino em processo de batelada, assim como o estudo da remoção dos íons Mn^{2+} e Cr^{3+} em coluna de leito fixo. Foi realizado o estudo do mecanismo de remoção dos íons Pb^{2+} , Mn^{2+} e Cr^{3+} em carvão de osso em processo batelada, aplicando a modelagem de dados cinéticos e de equilíbrio. Além disso,

foram obtidos dados dinâmicos em coluna de leito fixo com a vazão de 20 mL/min para os ensaios com cromo e vazão de 5 mL/min para os ensaios com Manganês. Percebeu-se que a cinética de adsorção dos metais estudados é bastante rápida no início e no geral a eficiência de adsorção se apresentou satisfatória dos íons metálicos descritos.

Ribeiro (2011) avaliou o desempenho do carvão ativado de ossos na remoção do excesso de fluoreto presente em água para abastecimento público, sendo que a capacidade de remoção de fluoreto pelo carvão foi avaliada em ensaios de adsorção em *erlenmeyers* em mesa agitadora de frascos. A concentração de fluoreto na água foi determinada por eletrodo de íon específico e obtida uma concentração inicial de 10 mg/L. Percebeu-se uma capacidade de adsorção de 2,96 mg/g para o carvão granular “in natura” e 3,44 mg/g para o carvão granular lavado. Verificou-se ainda que a adsorção de fluoreto pelo carvão de osso se dá preferencialmente por um mecanismo de adsorção química e houve a redução da concentração do fluoreto abaixo do valor recomendado pela Organização Mundial da Saúde (abaixo de 1,5 mg/L).

Azevedo, Valverde e Mesquita (2019) analisaram a remoção de Boro em um efluente sintético pelo processo de adsorção em carvão de ossos bovinos, um material produzido a partir do resíduo gerado pela indústria alimentícia e de curtumes. Foram realizados ensaios de adsorção em batelada onde foram avaliadas diferentes razões sólido/líquido (0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10,0, 20,0, 40,0, 80,0 e 100,0 g de carvão de osso/kg de efluente) em uma incubadora à temperatura controlada de 25°C e rotação de 180 rpm, por 24 horas. Os autores afirmam o seguinte: “observou-se que em razões sólido/líquido menores que 10 g/kg não houve remoção de Boro e que a remoção é favorecida com o aumento da razão, chegando a 56% de remoção para a maior razão sólido líquido (100 g/kg)”.

Percebe-se que os sistemas citados apresentaram resultados satisfatórios quanto a remoção dos poluentes, o que pode ser intensificado com a adição de um pré-tratamento, como é o caso da oxidação com Hipoclorito proposta. É válido lembrar também que, dentre as condições de operação que influenciam o processo de adsorção, a temperatura é uma das mais importantes, pois geralmente a adsorção é exotérmica sendo que na maioria dos sistemas um aumento da temperatura implica uma diminuição na quantidade adsorvida (OLIVEIRA, 2012), sendo assim, é importante que a temperatura fique em torno de 25°C.

Cabe ressaltar ainda que, os elementos Cálcio e Fósforo encontram-se presentes em maior proporção na composição química do carvão de ossos, o que confere características alcalinas ao carvão de ossos bovinos, ou seja, com essa liberação de fosfatos durante a passagem da água no leito filtrante, naturalmente o pH da solução será aumentado, fato que contribui para a economia referente a utilização de produtos para correção do pH em fases posteriores no tratamento (MARIA, 2016).

Com base nos resultados apresentados da análise de qualidade da água e na finalidade do sistema de tratamento, que consiste principalmente na remoção de Ferro dissolvido na água, determinou-se que o sistema de tratamento será composto por uma etapa de oxidação seguido por filtração.

A etapa de oxidação será realizada com a adição de hipoclorito de concentração 5% na água em um tanque ligado ao sistema de bombeamento do poço. Posteriormente a água oxidada será encaminhada ao filtro que será composto por duas camadas filtrantes (areia e carvão ativado de ossos).

4.3.1. Determinação da dosagem de hipoclorito no tratamento

A etapa de oxidação deve ser realizada com a adição de Hipoclorito 5% na tubulação e assim se torna relevante entender e quantificar a quantidade de produto responsável pela etapa de oxidação.

De acordo com Moruzzi e Reali (2012), a quantidade teórica de Cloro requerida para oxidar uma água contendo concentrações de Ferro solúvel de 1 mg/L e de Manganês de 1 mg/L é, de respectivamente, 0,62 mg/L e 1,30 mg/L.

Considerando a vazão calculada de 0,56 L/s ou aproximadamente 56 m³/dia, as quantidades de Hipoclorito a serem utilizadas no tratamento estão evidenciadas na Tabela 04, a seguir:

Tabela 04 – Determinação da quantidade de Hipoclorito aplicado para a oxidação do Ferro e Manganês.

	Dia (kg)	Mês (Kg)	Ano (Kg)
Fe	0,031	0,68	8,2

Sabe-se que na análise realizada da qualidade da água subterrânea, o Manganês apresentou valor dentro do limite de potabilidade, com isso, a remoção

desse metal não foi considerada no cálculo da dosagem de Hipoclorito, com vistas à economia na utilização do produto e para evitar a formação de Trialometanos na água, os quais são substâncias carcinogênicas originadas pela reação do Cloro com os sólidos dissolvidos, além disso, sendo que os mais comuns são o Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio (CARNEIRO, 2011).

4.4. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Como o sistema de tratamento não será implantado no tempo de elaboração desse trabalho, será mantido um cronograma físico-financeiro de modo a evidenciar as etapas e custos para a instalação do sistema no empreendimento, conforme Quadro 07 a seguir:

Quadro 07 – Cronograma físico-financeiro.

Cronograma Físico-Financeiro de Implantação	2024		
	Janeiro	Fevereiro	Março
Preparação do espaço para o sistema de tratamento	R\$ 3.800,00	x	x
Aquisição dos equipamentos (Tanque de oxidação e filtro)	x	R\$ 9.200,00	x
Aquisição de materiais auxiliares (tubulações, estruturas, hidrômetro)	x	x	R\$ 3.500,00
Instalação dos equipamentos (mão de obra)	x	x	R\$ 2.000,00
Aquisição dos produtos do tratamento (hipoclorito e carvão ativado)	x	x	R\$ 600,00
TOTAL	R\$ 19.100,00		

Fonte: Autor, 2023.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as crescentes demandas de uso de água, tanto para abastecimento público quanto para utilização em processos industriais, também há o aumento da demanda por tratamento da água (superficial ou subterrânea). Com isso, foi possível contextualizar a importância da água subterrânea no atual cenário brasileiro, bem como o histórico dos processos de tratamento de água.

Além disso, foi realizada uma contextualização histórica da área de estudo, visto que a região sul catarinense possui histórico de mineração por conta das atividades relacionadas ao setor carbonífero, fato que levou a contaminação de alguns recursos hídricos da região.

A indústria em questão apresenta problemas com relação a água de seu poço artesiano, visto que ocorre corrosão de peças do maquinário, incrustações nas tubulações ligadas à bomba do poço e precipitações alaranjadas. Com isso, foi realizada a análise de determinados parâmetros da água, sendo eles: pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Manganês e Ferro. Percebeu-se que o Ferro apresentou concentração elevada (2,53 mg/L) como era esperado. A condutividade elétrica (1556,00 $\mu\text{S}/\text{CM}$) e Sólidos Totais (1866,00 mg/L) apresentaram valores elevados e semelhantes, visto que a Condutividade Elétrica da água está diretamente relacionada à concentração de sólidos na amostra. O pH (6,06) e o Manganês (0,098 mg/L) apresentaram valores abaixo do limite do padrão de potabilidade.

Com a análise da água foi possível propor um sistema de tratamento adequado para o empreendimento, visando a remoção do Ferro.

Assim, avaliando, foi definido um sistema composto por duas etapas: oxidação com Hipoclorito de concentração de 5% e filtração com uma camada de areia e outra de carvão de ossos bovino. Geralmente seria utilizada uma etapa para correção do pH da água após a filtração, porém, espera-se um aumento do pH após a filtração devido à característica alcalina do carvão de ossos decorrente sua composição, onde há a presença de compostos de Fósforo e Cálcio.

É válido lembrar da necessidade da manutenção adequada do sistema de tratamento, de modo a manter sua eficiência operacional para a remoção adequada do ferro, principalmente na filtração, onde é necessária a troca da camada de carvão de ossos a cada seis meses, no mínimo.

Como sugestões para continuações desse trabalho, seria a realização dos ensaios em bancada do sistema de tratamento proposto, de modo a verificar sua eficiência de remoção dos poluentes desejados.

REFERÊNCIAS

AFINKO. **O que é e como funciona o ensaio de ICP-OES**. Afinko Soluções em Polímeros. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/>. Acesso em 25 out. 2023.

AMARAL, Lucas Kister. **Classificação hidrológica dos solos aplicada ao estado de Santa Catarina, Brasil**. 2022. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2022. Disponível em: <http://200.18.15.60:8080/pergamumweb/vinculos/000082/00008221.pdf>. Acesso em 16 out. 2023.

ARAÚJO, Anderson Barros Caixeta et al. **Remoção de compostos ácidos do petróleo em diferentes tipos de carvão ativado**. 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6238>. Acesso em 27 nov. 2023.

AZEVEDO, J. C. V; VALVERDE, S. A.; MESQUITA, P. L. **Remoção de boro em efluente sintético por adsorção em carvão de ossos bovinos**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia – MG, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Mesquita-2/publication/335370983_REMOCAO_DE_BORO_EM_EFLUENTE_SINTETICO_POR_ADSORCAO_EM_CARVAO_DE_OSSOS_BOVINOS/links/5e8e331f4585150839c7f8b0/REMOCAO-DE-BORO-EM-EFLUENTE-SINTETICO-POR-ADSORCAO-EM-CARVAO-DE-OSSOS-BOVINOS.pdf. Acesso em 06 nov. 2023.

BATISTA, Carolina. Oxidação: o que é, como ocorre a reação e exemplos. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/oxidacao/>. Acesso em 02 out. 2023.

BENETTI, Antônio D; FERRANTI, Eliana. **Curso de Operação e Manutenção de Estações de Tratamento de Água**. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – RECESA, Núcleo de Capacitação Sul. Santa Catarina, s.d.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Brasília, DF, Diário Oficial da União: nº 66 de 7 de abril de 2008, Seção 1, p. 64-68. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em 24 ago. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. Brasília, DF, Diário Oficial da União: 30

de dezembro de 2009. Disponível em:
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111046>. Acesso em 24 ago. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em 24 ago. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 28 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em 24 ago. 2023.

BRINCK, Nádia Cristina Pires. **Avaliação do Tipo de Material Filtrante no Comportamento Hidráulico de Filtros Rápidos de Camada Profunda no Tratamento de Águas de Abastecimento**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em:
<https://pdfs.semanticscholar.org/d728/9b6a3c7dc6c0968ccb7d29e22c0f0b1611c0.pdf>. Acesso em 24 ago. 2023.

DE BRITO, Erick. **Cronograma físico-financeiro de uma obra**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/24877>. Acesso em 06 nov. 2023.

CARNEIRO, Carolina Gemelli et al. **Estudo do potencial de formação de Trialomitanos da Lagoa do Peri, Florianópolis-SC**. 2012. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/125151>. Acesso em 30 nov. 2023.

CASTELANI, Liége Cardoso et al. **Análise da cadeia de reciclagem do plástico e suas potencialidades no Brasil**. 2014. Tese de Doutorado. Disponível em:
https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/25756/ve_Li%c3%a9ge_Cardoso_ENSP_2014?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em 07 out. 2023.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 242p.

CERVO, A. L. BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CLAUDINO, Clóvis Reis. **Avaliação da eficiência na remoção de ferro e manganês em estação de tratamento de água pelo método de flotação por ar disperso: estudo de caso: ETA da comunidade Praia Paraíso**. Torres, RS. 2009. 67 f. TCC (Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009 Disponível em:

<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00003D/00003DBA.pdf>. Acesso em 16 out. 2023.

CREMASCO, M.A. **Fundamentos de transferência de massa**. Ed. Unicamp. São Paulo, 2000.

Dados sobre o trabalho de reciclagem de plástico no Brasil. Mundo do Plástico, 2021. Disponível em:

<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/reciclagem/dados-sobre-o-trabalho-de-reciclagem-de-plastico-no-brasil>. Acesso em 10 out. 2023.

DE OLIVEIRA, M. C. B. R. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. Instituto Alberto Luiz Coimbra, Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/maria_deoliveira.pdf. Acesso em 03 out. 2023.

EMBRAPA. **Solos do estado de Santa Catarina**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

FERNANDES, Lincoln. **Mineração de carvão e a qualidade da água: o caso de Criciúma**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-30092015-111912/em.php>. Acesso em 12 set. 2023.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Tipos de carvão**. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/tipos-carvao.htm>. Acesso em 30 nov. 2023.

GASTMANS, Didier et al. Caracterização de incrustações em equipamentos de Bombeamento e tubulações instalados em poços Tubulares profundos – estudo de caso. Águas Subterrâneas, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23387>. Acesso em 02 nov. 2023.

GORNI, Antonio Augusto. Introdução aos plásticos. **Revista plástico industrial**, v. 10, n. 09, 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/download/68485994/INTRODUO_AOS_PLSTICOS20210801-14798-f08bn.pdf. Acesso em 03 out. 2023.

GUEDES, T. S.; MAGALHÃES, F. S.; ROCHA, S. D. F. **Potencial de adsorção de metais pesados por carvão de ossos bovinos**. XXIENTMME, Natal-RN, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267237433_POTENCIAL_DE_ADSORCAO_DE_METAIS_PESADOS_POR_CARVAO_DE_OSSOS_BOVINOS. Acesso em 04 nov. 2023.

HESPANHOL, Ivanildo et al. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4904400/mod_resource/content/1/leitura%20complementar%20aula%204.pdf. Acesso em 07 out. 2023.

HIRATA, Ricardo et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Igc/USP, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003000444>. Acesso em 25 set. 2023.

JICA - JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **The feasibility study on recuperation of mined-out areas in the South region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil**. Japan: JICA, 1998. Disponível em: https://openjicareport.jica.go.jp/667/667/667_703_11416344.html. Acesso em 17 ago. 2023.

JARDIM, Arnaldo (Ed.); YOSHIDA, Consuelo Yatsuda Moromizato; MACHADO FILHO, José Valverde. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

JARDIM, Wilson F; CANELA, Maria Cristina. **Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação do Solo**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Caderno Temático, vol. 1. Campinas – SP, 2004. Disponível em: <https://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>. Acesso em 02 out. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 4 Ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2001. 288 p.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros. **Águas & Águas**. Belo Horizonte – MG: Ed. CRQ, 2004.

MADEIRA, Vivian Stumpf. **Desenvolvimento de um Carvão Adsorvente para Remoção de Íons Ferro em Águas Naturais**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química. Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85902>. Acesso em 25 set. 2023.

MADURO, Rebecca et al. **História do Carvão Mineral em Santa Catarina: Transição Justa e Gênero**. Instituto de Energia e Meio Ambiente da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2021. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6275690/mod_resource/content/1/Semin%C3%A1rio_Carv%C3%A3oMineral_Rev01.pdf. Acesso em 24 set. 2023.

MARCELINO, Kelly Mendes et al. Remoção de ferro em águas subterrâneas de poços tubulares em uma indústria de beneficiamento de arroz. *Revista Vincci- Periódico Científico do UniSATC*, v. 2, n. 1, p. 161-182, 2017. Disponível em: <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/80>. Acesso em 02 nov. 2023.

MARIA, Marcio Eustaquio. **Modelagem da adsorção de manganês em carvão de ossos bovinos**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas – UFMG. Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AEAP75>. Acesso em 06 nov. 2023.

MaxiQuim – *Chemical Business Intelligence*. **Confira o Índice de Reciclagem Mecânica de Plásticos 2022**. Disponível em: <https://www.plasticotransforma.com.br/materia-detalle/confira-o-indice-de-reciclagem-mecanica-de-plasticos-2022>. Acesso em 30 nov. 2023.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reuso**. Oficina de Textos, 2005.

MIDÕES, Carla; FERNANDES, Judite; COSTA, Cristina Gomes da. **Água subterrânea: conhecer para proteger e preservar. Publicação sob o projecto Nº P-IV-1052, do Programa Ciência Viva**, 2001. Disponível em: <https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/488/1/27629.pdf>. Acesso em 03 out. 2023.

MIHELIC, James R; ZIMMERMAN, Julie Beth. **Engenharia Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2015.
MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. **Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em 07 out. 2023.

MONTEIRO, M. A. **Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano**. v. 16. n. 31. Florianópolis: Geosul, 2001. p. 69-78.

MORUZZI, Rodrigo Braga; REALI, Marco Antonio Penalva. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, p. 29-43, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/cbf6f103-7d28-40b7-b4a2-4cadcba5a130>. Acesso em 02 out. 2023.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2020. 2. Ed. Imprensa Universitária, UFC. Fortaleza, 2020.

OLIVEIRA, Christian Mendes de. **Remoção de metais pesados utilizando carvão de osso**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3817>. Acesso em 04 nov. 2023.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002

PIATTI, Tania Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió: Edufal, p. 51, 2005. Disponível em: https://usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf. Acesso em 03 out. 2023.

PLASTICS EUROPE. **Plastics – The facts 2022**. Plastics Europe, 2022. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>. Acesso em 04 out. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo, RS: FEEVALE, 2013. 276.

RIBEIRO, Marcos Vinicius. **Uso de carvão de osso bovino na defluoretação de água para uso em abastecimento público**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – UFMG. Minas Gerais, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/CMBC-8RZPRF>. Acesso em 06 nov. 2023.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Ed. Blucher. São Paulo, 2009

SANTA CATARINA. Secretaria do Estado do Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia. **Atlas Geográfico de Santa Catarina: Diversidade da Natureza - Fascículo 2**. Florianópolis: Ed. UDESC, 2014.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Bacias Hidrográficas de Santa Catarina: Diagnóstico Geral. Florianópolis, 1997.

SANTOS, Karine Batista. **Tratamento de Drenagem Ácida de Minas por Neutralização/Precipitação – Efeito do pH, Agente Neutralizante e Tratamento Complementar por Biossorção com Microalgas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/212987/001117200.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SIARA, Linston Romão. Et al. **Dimensionamento de um leito de partículas com aplicabilidade do processo de adsorção**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 06, Ed. 09, Vol. 06, pp. 110-129. Setembro, 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/processo-de-adsorcao>. Acesso em 06 nov. 2023.

SICUPIRA, Dalila Chaves et al. **Remoção de Manganês Presente em Efluentes de Drenagem Ácida de Mina Utilizando-se Carvão de Osso Bovino**. XXIV ENTMME. Salvador - BA, 2011, p. 1146-1152. Disponível em: https://www.artigos.entmme.org/download/2011/hidrometalurgia/2207%20-%20Dalila%20C.%20Sicupira_S%C3%B4nia%20D.%20Ferreira%20Rocha_Adriana

%20S.%20Fran%C3%A7a_Ana%20C.%20Queiroz%20-
%20REMO%C3%87%C3%83O%20DE%20MANGAN%C3%8AS%20PRESENTE%2
0EM%20EFLUENTES%20DE%20DRENAGEM%20%C3%81CIDA%20DE%20MINA
%20UTILIZANDO-SE%20CARV%C3%83O%20DE%20OSSO%20BOVINO.pdf.
Acesso em 04 nov. 2023.

SILVA, José Orlando Paludetto. **Reuso de água na indústria de curtimento de couros: estudo de caso no Distrito Industrial de Franca - SP.** 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Acesso em: 07 out. 2023. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001271298>. Acesso em 07 out. 2023.

SOUZA, Walter Alves de. **Tratamento de água.** Natal: CEFET/RN, 2007.

SILVAS, Flávia Paulucci Cianga et al. **Caracterização de Drenagens Ácidas de Minas Provenientes da Mineração de Carvão em Criciúma/SC.** 65º Congresso Internacional ABM, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287096308_Acid_mine_drainage_characterization_from_coal_mining_in_criciumaSC. Acesso em 18 set. 2023.

SP LABOR. Blog SP Labor, Guia do comprador. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/medidor-de-condutividade-2/condutivimetro-aprenda-sobre-o-funcionamento/>. Acesso em 25 out. 2023.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciências e aplicação.** Porto Alegre: Ed. ABRH, 1997.

VENEU, Diego Macedo et al. **Tratamento de água eutrofizada através dos processos de pré-oxidação, coagulação e floculação.** Engevista, v. 17, n. 2, p. 175-186, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/9016/6487>. Acesso em 02 out. 2023

VIBRANS, A. C. SEVEGNANI, L. LINGNER, D. V. GASPER, A. L. Sabbagh, S. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC):** Blumenau: FURB, 2010.

Volpato, S. B.; Menezes, C. T. B. de; Silva, J. V. F. da. **Environmental recovery of aquatic ecosystems in estuarine regions: studies applied for the treatment of contaminated sediments by acid mine drainage in Urussanga River Basin, in Santa Catarina, Brazil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 2, p. 313-316, 2017. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173245696>. Acesso em 20 ago. 2023.

WIECHETECH, G. K. **Remoção de substâncias húmicas em tratamento de água por meio de pré-oxidação e dupla filtração.** São Carlos, 2005. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/018a/d0d022c1f591400a546b1381cf305b90a0be.pdf>. Acesso em 02 out. 2023.

World Bank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Disponível em:

<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>. Acesso em 04 out. 2023.

WORMA, Fernando. **Desenvolvimento de um Filtro Lento Bifluxo com Retrolavagem**. Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Santa Catarina, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/198525/PGEA0609-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em 24 ago. 2023.

ZANETTE, Eduardo Netto; CAMILO, Silvio Parodi Oliveira. **A recuperação ambiental a partir da Ação Civil Pública no contexto da exploração do carvão mineral no sul de Santa Catarina**. Anais Seminário de Ciências Sociais Aplicadas, v. 6, n. 6, 2018. Disponível em: <https://www.periodicos.unesc.net/ojs/index.php/seminariocsa/article/view/4682>. Acesso em 24 set. 2023.