

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

GABRIELA SILVA GUIMARÃES

**TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS MEDIANTE COAGULANTE
ORGÂNICO: ESTUDO DO LODO FORMADO**

**BAGÉ
2023**

GABRIELA SILVA GUIMARÃES

**TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS MEDIANTE COAGULANTE
ORGÂNICO: ESTUDO DO LODO FORMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Engenharia
Química da Universidade Federal do Pampa,
como requisito para a obtenção do título de
Engenheira Química.

Orientador: Profa. Dra. Maria Alejandra
Liendo

BAGÉ

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

G963t GUIMARÃES, GABRIELA SILVA
TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS MEDIANTE COAGULANTE
ORGÂNICO: ESTUDO DO LODO FORMADO / GABRIELA SILVA GUIMARÃES.
64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2023.
"Orientação: MARIA ALEJANDRA LIENDO".

1. DAM . 2. Cal Hidratada . 3. Lodo. 4. Mineração. 5.
Impacto Ambiental . I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

GABRIELA SILVA GUIMARÃES

**TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS MEDIANTE COAGULANTE ORGÂNICO:
ESTUDO DO LODO FORMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 10 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Maria Alejandra Liendo
Orientadora
(UNIPAMPA)

Profa. Dra. Ana Rosa Costa Muniz
(UNIPAMPA)

Profa. Dra. Tânia Regina de Souza
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por ANA ROSA COSTA MUNIZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 10/02/2023, às 10:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por MARIA ALEJANDRA LIENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 10/02/2023, às 16:15, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por TANIA REGINA DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 11/02/2023, às 09:24, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1047477 e o código CRC EF7E694A.

Referência: Processo nº 23100.002091/2023-90 SEI nº 1047477

RESUMO

A drenagem ácida de minas (DAM) é um problema ambiental decorrente da atividade de mineração de carvão, pois é responsável por atingir o meio ambiente através da lixiviação do solo e contaminação de água. Tal problema vêm sendo alvo de estudos de entidades ambientais que através de pesquisas e métodos de tratamento e controle buscam mitigar o problema. Desta forma o presente trabalho tem como objetivo tratar a DAM através do método de neutralização/precipitação utilizando os reagentes cal hidratada para controle e ajuste de pH e o coagulante TANFLOC – SG polímero orgânico responsável por sedimentar as partículas em suspensão da solução. Estudar o comportamento do coagulante orgânico durante o tratamento a fim de verificar os efeitos da ordem de inversão de adição dos reagentes químicos nos parâmetros físico-químicos como pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais (SST), oxigênio dissolvido (OD) e concentração de íons de ferro pré e pós-tratamento da DAM. O uso da dosagem de TANFLOC SG + Cal elevou o pH de 3,01 para pH de 8,81, diminuiu a turbidez (NTU) de 36,3 (NTU) na amostra bruta, para 6,05 (NTU) na amostra tratada, a condutividade elétrica da amostra não sofreu grandes variações independentemente da ordem de adição e mesmo em relação a amostra sem tratamento, a amostra tratada obteve o valor de condutividade de 3,71 mS/cm, a DAM bruta o valor de 4,47 mS/cm e o efluente tratado somente com o coagulante 5,61 mS/cm. Já para o oxigênio dissolvido o valor encontrado no efluente de DAM bruta previamente homogeneizado foi de 7,05 ppm, em vista o valor de 3,5 ppm pós-tratamento com TANFLOC – SG + Cal e 5,61 ppm para amostra somente com TANFLOC – SG. Tendo em vista o estudo sobre a composição do lodo e o aprimoramento de alguns parâmetros, o uso do coagulante orgânico obteve uma massa específica de 1,118 g/cm³ e em conjunto com a cal hidratada 1,220 g/cm³ em relação a tratamentos que utilizam sulfato de alumínio que possuem o lodo com massa específica por cerca de 2,54 g/cm³ e a realização da técnica de difração de Raio -x a fim de identificar os compostos de óxidos e formas de ferro presentes no lodo para beneficiamento posterior.

Palavras-chave: DAM, Cal Hidratada, Lodo, Mineração, Impacto Ambiental.

ABSTRACT

Acid mine drainage (AMD) is an environmental problem arising from coal mining activity, since it is responsible for reaching the environment through soil leaching and water contamination. This problem has been the subject of studies by environmental entities that, through research and treatment and control methods, seek to mitigate the problem. Thus, the present work aims to treat AMD through the neutralization/precipitation method, using quicklime to control and adjust the pH and the TANFLOC-SG coagulant, an organic polymer responsible for sedimenting the particles in suspension in the solution. In addition, to study the behavior of the organic coagulant during the treatment in order to verify the effects of order and inversion in the addition of chemical reagents on physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), dissolved oxygen (DO) and concentration of iron ions pre and post treatment of AMD. The use of the TANFLOC-SG + calcium hydroxide dosage increased the pH from 3.01 to 8.81 and decreased the turbidity from 36.3 (NTU) in the crude sample to 6.05 in the treated sample, while the electrical conductivity did not suffer major variations, regardless of the order of addition and even in relation to the untreated sample, with conductivity values of 3.71 mS/cm in the treated sample, 4.47 mS/cm in the crude AMD and 5.61 mS/cm in the effluent treated only with the coagulant. As for dissolved oxygen, the value found in the previously homogenized crude AMD effluent was 7.05 ppm and, after treatment with TANFLOC-SG + calcium hydroxide, 3.5 ppm, while it was 5.61 ppm for the sample only with TANFLOC-SG. Finally, in view of the study on the composition of the sludge, possible applications and the improvement of some parameters, the use of the organic coagulant generated a sludge with a specific mass of 1.118 g/cm³ and, together with quicklime, of 1.220 g/cm³, while treatments using aluminum sulfate generate sludge with a specific mass of approximately 2.54 g/cm³. Aiming at industrial use, it is necessary to carry out the X-Ray diffraction technique in order to identify the oxide compounds and forms of iron present in the sludge for later beneficial use.

Keywords: AMD. Hydrate Lime. Sludge. Mining. Environmental Impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo conceitual dos processos da geração de DAM	13
Figura 2 – Geração de drenagem ácida de Minas em Santa Catarina	14
Figura 3 – Mina desativada localizada em Candiota	15
Figura 4 – Métodos bióticos e abióticos para tratamento de DAM	16
Figura 5 – Faixas de Equilíbrio e Solubilidade	17
Figura 6 – Acácia Negra com flores e frutos	18
Figura 7– Difração de Raio- X para Magnetita, Hematita e Wustita	24
Figura 8 – Tanino em DRX	25
Figura 9 – Curva de Absorbância vs concentração.....	26
Figura 10 – Fluxograma de Análises Experimentais	28
Figura 11 – Jar-Teste com amostra Bruta e Reagentes.....	30
Figura 12 – Efluente tratado com TANFLOC SG + Cal Hidratada.....	31
Figura 13 – Efluente tratado somente com TANFLOC – SG.....	32
Figura 14 – Filtração das amostras.....	33
Figura 15 – Picnometria:1)TANFLOC – SG+Cal Hidratada; 2)TANFLOC – SG....	33
Figura 16 – Lodo pós filtração de cada amostra.....	34
Figura 17 - Lodo pós filtração de cada amostra.....	35
Figura 18 - Curva de Calibração via <i>software Origin Pro 2022</i>	36
Figura 19 - Filtrado de DAM frasco 1 e clarificados pós-tratamento (2) e (3).....	37
Figura 20 - Soluções utilizadas nos ensaios de absorção atômica.....	38
Figura 21 - Comparação do pH antes e pós cada tratamento.....	42
Figura 22 - Separação da Cal Hidratada pós sedimentação.....	43
Figura 23 - Resultados da Turbidez antes e após tratamento das amostras.....	44
Figura 24 - SST da DAM pré e pós-tratamento.....	45
Figura 25 - Condutividade das amostras pré e pós-tratamento.....	47
Figura 26 - Soluções com coagulantes orgânicos para teste de floculação:1. LKC; 2. Sulfato de alumínio e3. Tanfloc SG.....	48
Figura 27 - O.D pré e pós-tratamento.....	49
Figura 28 - Concentração de Ferro DAM Bruta.....	51
Figura 29 - Concentração de Ferro em amostra tratada com coagulante.....	51
Figura 30 - Concentração de Ferro em amostra tratada com Cal+ TANFLOC.....	52
Figura 31 – Concentração de íons de ferro antes e após tratamentos.....	52

Figura 32 – a) Lodo 3 composto por TANFLOC – SG + Cal hidratada.....	54
Figura 33 – b) Lodo 2 composto somente pelo coagulante.....	54
Figura 34 – c) Lodo 1 composto somente pelo efluente bruto – DAM.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do carvão mineral e uso	10
Tabela 2 – Tipos de carvão, porcentagem de enxofre e poder calorífico	10
Tabela 3 – Meios impactados pela mineração no Brasil	11
Tabela 4 – Reagentes utilizados	27
Tabela 5 – Marcas e modelos dos equipamentos	28
Tabela 6 – Vidrarias e outros materiais	29
Tabela 7 – Ensaio Realizados	31
Tabela 8 – Caracterização da amostra Bruta de DAM.....	39
Tabela 9 – Resultados a partir do tratamento com TANFLOC – SG + Cal.....	40
Tabela 10 – Resultado do tratamento somente com TANFLOC – SG.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OD – Oxigênio Dissolvido

RS – Rio Grande do Sul

SST – Sólidos Totais Dissolvidos

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

DRX – Difração de Raio – X

EAA – Espectroscopia de Absorção Atômica

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAM – Drenagem ácida de Minas

pH – Potencial Hidrogeniônico

CO – Coagulante (TANFLOC – SG)

COA – (TABFLOC – SG + Cal Hidratada)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 CARVÃO MINERAL	9
2.2 MINERAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL NO BRASIL	11
2.3 DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS	12
2.4 MÉTODO DE COAGULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE DAM	15
2.5 APROVEITAMENTO DO LODO DA DAM	19
2.6 COAGULANTES ORGÂNICOS.....	20
2.7 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA DAM	21
<u>2.7.1 Turbidez</u>	<u>21</u>
<u>2.7.2 Condutividade</u>	<u>21</u>
<u>2.7.3 pH</u>	<u>22</u>
<u>2.7.4 Oxigênio Dissolvido (OD).....</u>	<u>23</u>
2.8 DIFRAÇÃO DE RAIO-X (DRX).....	23
2.9 ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA (EAA).....	25
3. METODOLOGIA.....	27
3.1 MATERIAIS	27
3.2 REAGENTES UTILIZADOS	27
3.3 EQUIPAMENTOS E VIDRARIAS	27
3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	29
3.5 COLETA DA DAM	30
3.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE BRUTO	30
3.7 ENSAIOS DE JAR-TESTE	31
3.8 SECAGEM E PICNOMETRIA	34
3.9 DIFRAÇÃO DE RAIO X.....	35
3.10 ABSORÇÃO ATÔMICA	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)	41
4.2 TURBIDEZ (NTU)	43
4.3 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (SST).....	45
4.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	46
4.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD).....	48
4.6 QUANTIDADE DE FERRO DISSOLVIDO (MG/L).....	50
4.7 DIFRAÇÃO DE RAIO – X DO LODO	53
4.8 MASSA ESPECÍFICA DO LODO	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A DAM, abreviatura para Drenagem Ácida de Minas, é um dos inúmeros problemas oriundos das atividades da mineração, uma vez que essas atividades envolvem a extração de carvão e metais (CAMPANER, 2009). Estas atividades geram degradação ambiental e prejudicam a qualidade de águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos. Entretanto, a drenagem ácida de minas pode surgir em qualquer operação que resulte em grandes movimentações de terra e rochas que contenham minerais sulfetados, como em construções de rodovias, barragens, aeroportos entre outras obras (AVELINO, 2018).

A oxidação dos metais e sulfetos, como a Pirita (FeS_2), são responsáveis pela geração de DAM, que tem um alto poder de lixiviação dos elementos presentes no minério e nas rochas que ficam próximas das áreas mineradas. As principais características dessas águas contaminadas são o pH extremamente baixo e alta concentração de metais como Al, Fe, Cu, Mn, Cd, entre outros metais, que auxiliam no processo de formação da acidez dessas águas e é potencializado quando expostos a atmosfera (MACHADO, 2007).

Os sulfetos são substâncias cristalinas com alto teor de enxofre combinado com metais e semi metais sem a presença de oxigênio (JAMBOR, J. L. , 1994). Cátions metálicos liberados por intemperismo dos minerais, em geral, precipitam-se em forma de hidróxidos, sulfetos, sulfatos ou carbonatos, dependendo da característica geoquímica do local, tornando-se imóveis sob condições normais, entretanto com o pH baixo, esses cátions metálicos permanecem em forma de solução e podem ser transportados por grandes distâncias afetando o ecossistema (LIMA,2008). Em algumas circunstâncias, geralmente onde esses poluentes metálicos sulfetados estão em alto nível a presença de bactérias como *Thiobacillus Ferrooxidans* aceleram o processo de oxidação (FARFAN, et al, 2004).

No Brasil existem estudos que foram realizados sobre drenagem ácida de minas direcionados a regiões carboníferas, como o polo de Candiota (RS), para posterior tratamento desses efluentes. Para o tratamento da DAM utiliza-se Cal hidratada e hidróxido de sódio para neutralização, pois são reagentes alcalinizantes de pH elevado e que causam a precipitação dos metais dissolvidos. As desvantagens dos métodos inorgânicos são a geração de lodo, rico em metais

pesados. Ainda assim, segundo Finch *et al.* (1992) e Neto *et al.* (2005), a aplicação do lodo da DAM pode ser utilizada na produção de cerâmicos e tijolos.

A solução para a diminuição da quantidade de metais presentes no lodo de estações de tratamento é a utilização de matéria – prima natural como alternativa ao uso do sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$. Segundo Nepomuceno, *et al.* (2018), a casca da acácia-negra, possui taninos em sua composição, este material é extraído e utilizado na fabricação de um polímero catiônico que atua nos efluentes, fazendo com que a matéria orgânica presente de sistemas coloidais neutralize as cargas presentes, formando pontes entre as partículas. Esse polímero catiônico, trata-se de um coagulante utilizado para tratamento de água fabricado pela empresa TANAC, no mercado é comercializado como: TANFLOC – SG. (TANAC, S. A 2013).

A presente Portaria de nº 888 de 4 de maio de 2021 é a atualização da consolidação da Portaria nº5 de 28 de setembro de 2017. A Legislação de qualidade de água vigente, estabelece condições de potabilidade e qualidade da água, a fim de complementar a Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011 que estabelece a classe dos efluentes e quais os parâmetros devem ser satisfeitos para o efluente retornar aos corpos de água, dentre as exigências, estão as seguintes características físico- químicas: pH, OD (Oxigênio Dissolvido), Sólidos Totais e Turbidez.

No presente trabalho técnicas de neutralização e precipitação serão empregadas para um estudo direcionado a efluentes ácidos (DAM) mediante uso de cal hidratada (neutralização) e emprego do coagulante TANFLOC – SG em amostras contaminadas com materiais sulfetados e ferro, a fim de propor a substituição do sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ visando a redução de metais presentes no lodo na etapa final do tratamento. Por meio de análises complementares como espectroscopia de absorção atômica, determinar a concentração de íons de ferro nas amostras tratadas e na DAM bruta. E o emprego da técnica de difração de Raios-X (DRX) para investigar as formas iônicas do Ferro disponíveis no lodo, com o objetivo de encaminhá-las para um possível uso industrial. Por fim, avaliar a densidade dos lodos obtidos com o coagulante TANFLOC – SG da empresa TANAC e compará-los com a densidade dos lodos obtidos por tratamentos convencionais que utilizam o Sulfato de Alumínio $Al_2(SO_4)_3$.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura deste trabalho abrange aspectos básicos envolvidos sobre a drenagem ácida de minas, sua problemática e tratamento físico-químico de efluentes e a utilização de tratamentos através do teste de jarros, aferições de DQO, metais e sulfatos com características problemáticas ao meio ambiente.

O presente trabalho contém um breve estudo sobre a vantagem da utilização de coagulantes orgânicos em ETAS e ETES e o reaproveitamento do lodo gerado pós-tratamento com TANFLOC – SG.

2.1 Carvão Mineral

O carvão mineral ou carvão pedra, é uma rocha sedimentar de coloração escura, formada por componentes fossilizados ao longo de milhões de anos. Estes componentes são restos pré-históricos de vegetação que se acumulam e pântanos ou regiões lodosas com o passar dos anos. Os depósitos de compostos complexos que formam a estrutura do carvão mineral são compostos pela deposição de argilas e areias, gerando bacias sedimentares, essa cobertura é responsável pelo aumento da temperatura e pressão, e isso faz com que o oxigênio e hidrogênio sejam liberados para o meio, esse processo é chamado de carbonização, isto é, processo que descreve a formação de carvão mineral (Borba, 2001; Cosmo, *et al*,2020).

Segundo Borba (2001), as composições do carvão mineral podem variar, pois ele pode possuir diferentes composições de carbono presentes no material e isso levou a classificação de classes de carvão, que designam a qualidade e uso. Segundo o autor as principais classes são a turfa, linhito, hulha (carvão betuminoso), antracito e grafite.

A Classificação carvão mineral está associado a quantidade de energia que ele pode liberar, ou seja, linhito (menor poder calorífico) e antracito (maior poder calorífico). (PETERSON, 2008).

Segundo Cosmo, *et al.* (2020) a classificação desses minérios permite designar o seu uso como fonte de geração de energia. Conforme a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Classificação do carvão mineral e uso

Classes	Uso
Linhito	São designados para o uso de geração de eletricidade por sofrerem rápida deterioração e baixo poder calorífico.
Hulha	A Hulha é um carvão mineral mais puro e mais utilizado em alto fornos de usinas termoelétricas podendo ser transformado em coque.
Antracito	Possui uma combustão lenta e seu uso está vinculado ao uso doméstico sendo recomendado até para tratamento de água, sob forma de carvão ativado.

Fonte: Adaptado de Cosmo *et al* (2020).

Os recursos identificados de carvão mineral, no Brasil, estão na ordem de 32 bilhões de toneladas. Do montante produzido a território nacional, aproximadamente 87% são destinados à produção de energia elétrica suprimindo cerca de 2% da matriz energética no país. (Brasil, 2020)

No Brasil, utiliza-se carvão, onde os valores de enxofre variam também de 1,0 a 4,7%, portanto, esta composição faz com que o emprego desta matéria prima seja majoritário para o uso de geração de energia térmica (SANTOS, 2020)

A Pirita é um resíduo sólido proveniente da extração do carvão mineral e pode ser precursora de matérias primas como: Fertilizantes, Ácido Sulfúrico, Enxofre e Sulfatos Ferrosos (WEILER,2016). A pirita pode ser classificada em três categorias Linhito, Hulha e Antracito, dependendo da quantidade de Enxofre contida em sua composição, como demonstra o autor Peterson (2008) através da Tabela 2. O autor ainda ressalta a variação do poder calorífico em função de sua classificação.

Tabela 2 – Tipos de carvão, porcentagem de enxofre e poder calorífico

Tipo de Carvão	Enxofre [%]	Poder Calorífico [Kcal/Kg]
Antracito	2,49	7529,16
Hulha	0,50 – 0,94	7375,72 – 5989,48
Linhito	0,48	5848,47

Fonte : Adaptado de Peterson (2008)

Os grandes desafios estão relacionados a obras são de atenuação de geração de efluente ácidos, lixiviação do solo e desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a extração do carvão mineral. (DE MATOS, 2020)

2.2 Mineração e Impacto ambiental no Brasil

O desenvolvimento de tecnologia só foi possível devido as explorações das potencialidades e tecnologia dos minérios. No Brasil, cerca de 80 minerais são extraídos para atender às necessidades do País e do mundo (BRASIL, 2021). Uma das fontes principais do crescimento brasileiro, a mineração está ligada a setores de produtos que os metais têm a oferecer para indústrias siderúrgicas, petroquímicas, metalúrgicas e entre outras (VALE, 2017).

Assim como a maioria das atividades econômicas que impactam na economia brasileira, como a agricultura e a pecuária, a mineração é cercada por seus impactos positivos e negativos, esses impactos se apresentam numa síntese abaixo na Tabela 3.

Tabela 3 - Meios impactados pela mineração no Brasil.

Meio Afetado	Impactos ambientais
Físico	Alterações na qualidade do ar
	Perturbação de fauna e vizinhança
	Instabilidade de terreno
	Alterações de morfologia
	Alterações de pH
	Desvio e Assoreamento de corpos
	Compactação do solo
	Contaminação química
Erosão	
Biótico	Supressão da vegetação
	Redução de flora
	Redução de habitats naturais

Fonte: SANTOS (2020).

Segundo Kopenzinski (2000), os principais aspectos negativos da mineração ocorrem devido à extração do carvão mineral, uma vez que isso gera a escassez de reservas de águas superficiais, efeitos da erosão e lixiviação de águas pluviais sobre pilhas de rejeitos e estéreis, bem como pelas águas residuárias do processo de beneficiamento. Tem-se que essas águas sofrem adição de cargas ácidas resultantes da dissolução e oxidação da Pirita (FeS_2), liberando sulfato de ferro, ácido sulfúrico, hidrocarbonetos (metano, tolueno, benzeno etc.) e, principalmente, a emissão de SO_2 e SO_3 , sendo que estes últimos em presença de vapor d'água transformam-se em ácido sulfúrico e, conseqüentemente, chuva ácida.

Dentre os principais impactos do carvão mineral e da oxidação da Pirita, temos o expressivo impacto da poluição hídrica, onde a contaminação por esses poluentes são os principais geradores de DAM. À medida que se solubiliza metais tóxicos ao meio ambiente, a possibilidade de se contaminar solos e águas superficiais e/ou subterrâneas é enorme.

Algumas perspectivas, segundo SCHENEIDER (2006), é que áreas afetadas com DAM comprometam fauna e flora locais, bem como atividades humanas. Economicamente, significa impactos na agricultura, limitação de uso de solos nas áreas urbanas, impacto na pesca artesanal e superficial e limitações de uso de propriedades rurais para atividades agropecuárias, visto que o estado do Rio Grande do Sul (RS) é um dos maiores produtores de produtos agrícolas alimentícios.

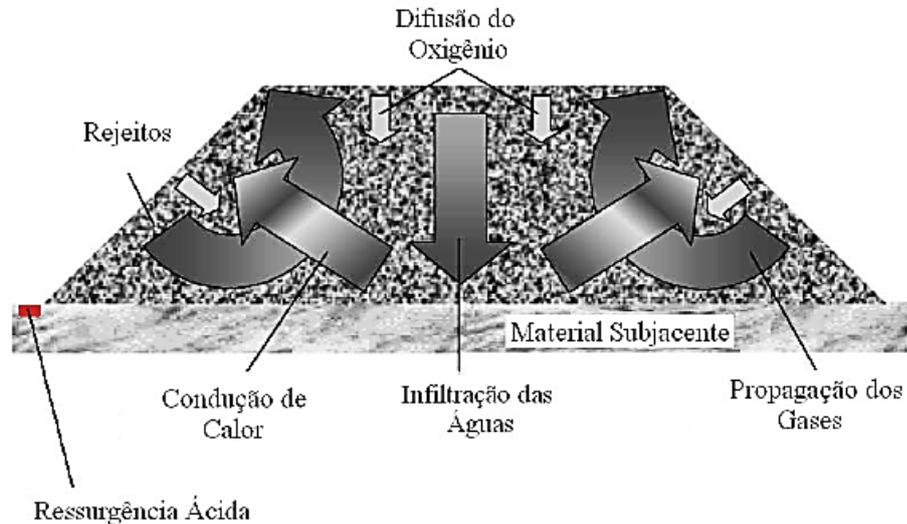
Além do exposto, a conservação e proteção de recursos naturais, tem questionado o emprego de sais metálicos para tratamento e correção de pH em águas, isto porque segundo OLIVEIRA *et al.* (2016) a principal justificativa para a substituição é que mesmo em concentrações reduzidas promovam sérios riscos à saúde humana além de interferir negativamente na eficiência das etapas de tratamento de água.

2.3 Drenagem Ácida De Minas

A drenagem ácida de mina (DAM) é produzida quando materiais compostos de sulfetos, principalmente minerais como a Pirita (FeS_2) são expostos a um ambiente oxidante, ar, água e microrganismos presentes na natureza. Embora o processo ocorra de forma natural, a mineração aumenta significativamente a quantidade de sulfetos expostos na atmosfera, gerando um conteúdo maior de DAM,

cujo processo de geração pode ser entendido por meio da Figura 1 por meio de um esquema exemplificado do trabalho de (SILVA. 2010).

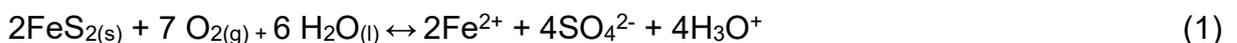
Figura 1 - Modelo conceitual dos processos da geração de DAM



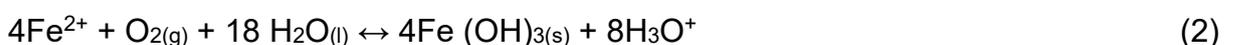
Fonte: SILVA (2010)

Segundo Kontopoulos (1998), a DAM é o resultado da exposição de minerais a qual provoca uma série complexa de reações químicas que envolvem mecanismos diretos, indiretos e ação microbiana. Algumas reações de oxidação promovem a formação de ácido, ao passo que outras resultam na dissolução e mobilização de metais pesados.

Entretanto, como resultado de atividades da mineração, ocorrem as seguintes reações.



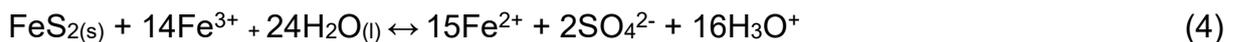
A Reação (1) mostra o processo de liberação de Fe^{2+} em solução e, se o potencial for mantido, os íons de Fe^{2+} serão consumidos, tornando-se Fe^{3+} . Depois da primeira reação (1), ocorre uma cadeia de reações onde Fe^{2+} é oxidado para Fe^{3+} , sendo precipitado em forma de hidróxidos conforme as Reações (2) e (3).





A Reação (2) ocorre no meio abiótico com valores de pH acima de 4,5 e diminui à medida que a acidez cresce, porém pode ser acelerada através das bactérias do gênero *Thiobacillus*, responsáveis por catalisar a reação em até 10^6 vezes. As bactérias do gênero *Thiobacillus* e *Leptospirillum* atuam na faixa de pH de 1,4 a 4,0 e temperatura de 5°C a 35°C, mas suas condições ótimas estão ao redor do pH 2 e temperatura de 30 - 35°C.

Subsequentemente, na última etapa descrita pela Reação (4) o Fe^{3+} é reduzido para Fe^{2+} pela pirita, liberando Fe^{2+} e acidez adicional, entrando num ciclo crescente, conhecido como uma espécie de “autocatálise”.



Sendo assim, a DAM é uma solução ácida rica em metais, sendo o ferro o elemento majoritário, não dependendo do local de geração. (SILVA, 2010)

Corpos d'água que estão contaminados por hidróxidos de ferro são de fácil identificação, pois apresentam uma cor vermelho-alaranjado, como é visto na Figura 2 e na Figura 3, que mostram a geração de DAM em minas de Santa Catarina e Candiota, respectivamente.

Figura 2– Geração de drenagem ácida de Minas em Santa Catarina.



Fonte: WEILER et al. (2016, p.338)

Figura 3 – Mina desativada localizada em Candiota.



Fonte: SOUZA (2022)

Devido às suas características, a DAM é a principal responsável pela contaminação da água e do solo nas regiões carboníferas e deve ser tratada previamente à sua emissão em corpos hídricos receptores. (SANTOS, 2020)

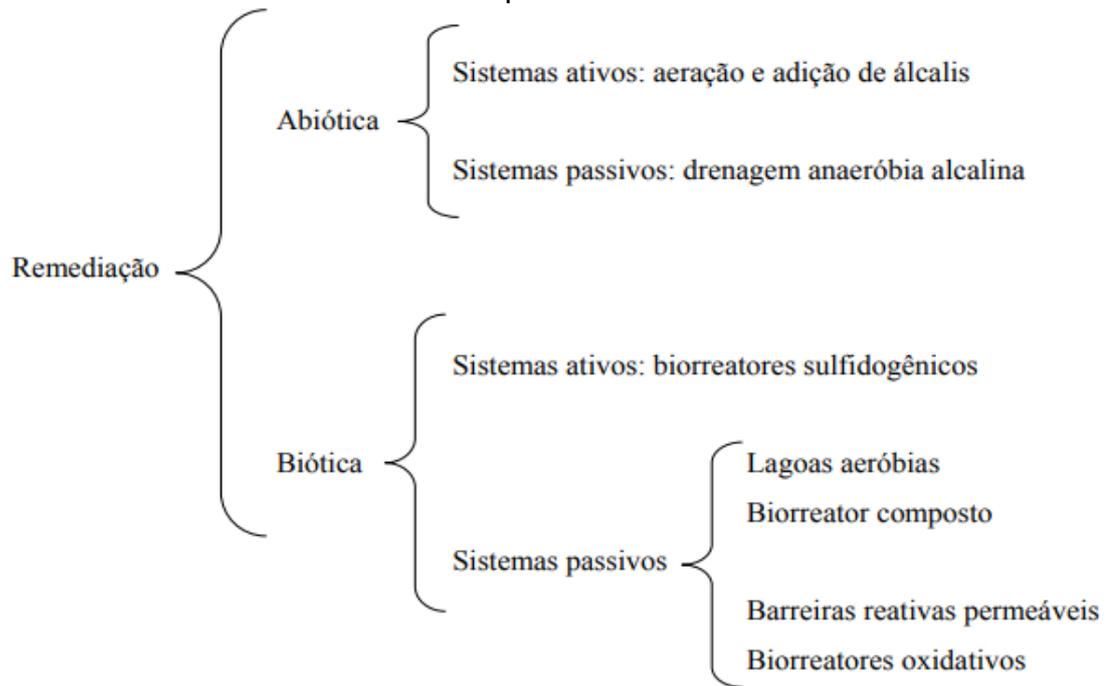
2.4 Método de Coagulação para Tratamento de DAM

Na literatura conforme o autor Kontopoulos (1998), os métodos de controle de DAM podem ser divididos em preventivos e mitigatórios.

Os métodos preventivos são: remoção/isolamento de sulfetos; exclusão de oxigênio por cobertura seca e de água; aditivos alcalinos, como por exemplo, cal hidratada (CaO) ou cal hidratada (Ca(OH)₂), responsáveis pelo aumento de pH e o emprego de bactericidas. Com esses procedimentos diminuímos a oxidação de sulfeto metálico e, conseqüentemente, a geração de águas ácidas.

Já as formas de mitigação são divididas em duas categorias como contenção e remediação. Os métodos de contenção consistem em barreiras ou paredes reativas porosas, enquanto os métodos de remediação podem ser divididos em sistemas ativos e passivos, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Métodos bióticos e abióticos para tratamento de DAM.



Fonte: GOLDANI (2007).

O tratamento ativo da DAM consiste, em sua maioria, na neutralização do efluente e precipitação dos metais na forma de hidróxidos e tem sido uma das técnicas mais aplicadas.

A operação envolvida no processo é uma separação que pode ser promovida por decantadores, flutadores ou bacias de sedimentação. Após a separação de fases, tem-se o resíduo (lodo), que é encaminhado para leitos de secagem e o efluente é tratado e encaminhado para o corpo hídrico receptor. (POSSA E SANTOS, 2003).

Nesse contexto segundo GOLDANI (2007), após a correção de pH do efluente, deseja-se remover os metais em uma única etapa, dado um intervalo de pH que varia de 6 a 9. Para cada situação a avaliação dos metais envolvidos no processo é de fundamental importância, pois é através da composição da DAM que se obtém um ajuste único para a melhor remoção desses poluentes, como o Ferro, Alumínio, Cobre, entre outros.

De forma simplificada, a maioria dos sistemas de tratamento de DAM consiste em: tubulação, calha ou valo pelo qual o efluente entra no processo; tanque(s) de reação (reator) para o tratamento químico; dispositivo controlador para dosagens de reagentes; bacia de decantação para armazenar a lama; sistema de deságue do efluente tratado; e monitoramento da qualidade do efluente, conforme portarias

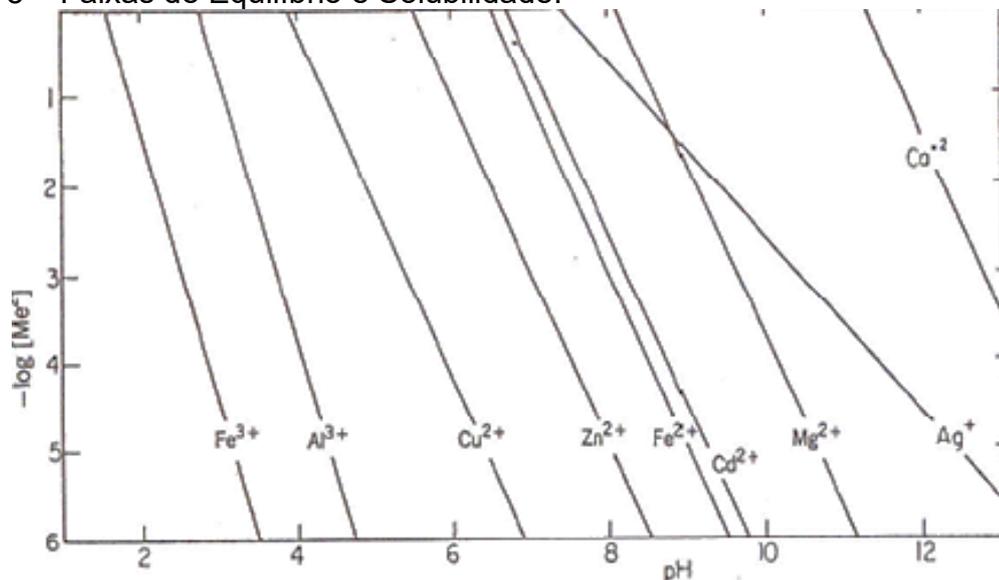
legislativas do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 que complementa a portaria nº 357 de 17 de março de 2005 (SILVA, 2010).

As reações de precipitação em meio aquoso são representadas pelas formas de Reações (7) e (8) generalizadas a seguir, segundo (Tchobanoglous *et al.*, 2003; Silva, 2010).



Conforme Stumm and Morgan (1996) os métodos de precipitação/coagulação de DAM por tratamentos ativos tem sido os mais utilizados no processo de tratamento, pois após sua implementação apresentam um bom nível de desempenho segundo a Figura 5.

Figura 5 – Faixas de Equilíbrio e Solubilidade.



Fonte: (Stumm and Morgan, 1996; Silva, 2010)

A Figura 5 representa as faixas de solubilidade dos íons presentes na DAM e associados aos tratamentos por precipitação por aumento de pH. Os autores Stumm e Morgan descrevem as faixas de solubilidade, isto é, a facilidade de íons metálicos se dissolverem em meio aquoso de acordo com o pH do meio, por exemplo:

A DAM temos, como característica principal, o pH ácido da solução numa faixa de 2 até 4 e através do tratamento procura-se aumentar o pH adicionando-se uma base para tratar a amostra. Ao fazer esse procedimento inicia-se a solubilização/dissolução do íon de Fe^{3+} e Fe^{2+} em meio aquoso.

Com a dissolução em meio aquoso e a separação fase líquida e sólida origina-se um resíduo oriundo do tratamento.

Como pode ser visto no trabalho de Neto *et al.* (2005), esse lodo é classificado de acordo com a NBR 10004/2004 como resíduo não perigoso e do tipo inerte – classe II A. Seu descarte exige que seja feito em aterros sanitários impermeabilizados com membrana PEAD (polietileno de alta densidade) e argila, gerando custos elevados.

A partir de pesquisas, encontrou-se matéria prima proveniente da árvore acácia negra, nome popular da espécie *Acaciamearnsii*, segundo dados da EMBRAPA é a terceira espécie de árvore mais plantada do Brasil e popularmente conhecida na região Sul do país, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Acácia Negra com flores e frutos.



Fonte: Embrapa 2009.

Empresas como a TANAC utilizam a sua casca como fonte de matéria prima para seus coagulantes orgânicos devido ao seu rico extrato vegetal conter tanantes e fenóis tendo utilidade em industriais de curtimento de couro e no emprego em ETA's (Estações de Tratamento de Água).

Através de pesquisas e testes, autores como GUSMÃO (2014); NICKING (2018), FRAISOLI (2019), MARTINS (2020) e SOUZA (2022) visaram a aplicação dos taninos provenientes da acácia negra em tratamentos de água, obtendo

resultados satisfatórios em relação a melhoria dos parâmetros físico-químicos, bem como a diminuição de resíduos ao final do processo e as aplicações para efluentes oriundas de indústrias alimentícias e de curtimento de couro até tratamento de águas residuárias de minas poluídas com metais pesados na natureza.

2.5 Aproveitamento do Lodo da DAM

A visão que a drenagem ácida de minas (DAM) é uma fonte somente poluidora se contrapõe com estudos de como reaproveitar esse resíduo proveniente do tratamento. Alguns pesquisadores vislumbram na DAM uma oportunidade de valor econômico agregado, pois é possível se observar que alguns estudos objetivam o aproveitamento do lodo para seu emprego em tratamento de efluentes, buscando obter produtos de maior pureza obtendo dela reagentes químicos.

De acordo com Wei and Viadero (2007), foi feita a sintetização nano particulada de magnetita recuperada a partir do ferro trivalente oriundo da DAM. Já Herera et al. (2007) estudaram a influência do alumínio e do silício na formação da magnetita em lodos de ferro, provenientes de tratamentos ativos de DAM, onde procuram implementar esse material industrialmente, demonstrando que o volume de lodo obtido desses processos de tratamento poderia ser reduzido em até 80% - 90%.

No Brasil, segundo Neto *et al.* (2005) desenvolveu-se um estudo que visa a aplicação do lodo em peças cerâmicas, seguindo o mesmo caminho, os autores Marcello *et al.* (2008) estudaram a viabilidade técnica de obterem pigmentos inorgânicos da cor marrom a partir do lodo sedimentado e cerâmicas para revestimento a partir do lodo da DAM. O procedimento basicamente constituiu nas operações unitárias de secagem, moagem e calcinação do resíduo em uma temperatura aproximada de 1250°C.

Podendo observar que as possíveis aplicações do lodo de DAM através do método de coagulação/precipitação tem valor comercial agregado, pois podemos obter os sulfatos férricos e ferrosos e os óxidos de ferro. Esses compostos que podem servir como matéria-prima na obtenção de pigmentos. Por esse motivo, pode se supor que mediante o uso de coagulantes orgânicos possa se obter complexos organo metálicos que servem como matéria prima para a obtenção de pigmentos orgânicos, tintas ferrogálicas.

Por este motivo Silva (2017) propôs um trabalho que se utiliza a técnica de espectroscopia por Raman, técnica promissora no meio científico para a identificação de compostos químicos. A espectroscopia de Raman utiliza a técnica por disparos de feixes de luz que fazem com que a luz retro espalhada interaja com as moléculas presentes e com as ligações intermoleculares. Portanto podendo-se distinguir diferentes tintas. A utilização desta técnica para tinta ferrogálicas é conhecida devido a documentação e utilização de pigmentos a base de ferro no século XIX.

Ainda no trabalho de Silva (2017) a autora diz sobre tintas a base de íons de Fe^{3+} e Fe^{2+} , componentes presentes no lodo da DAM e sobre a utilização de Tanatos, isto é, um grupo de taninos.

Contudo o método de obtenção de tintas à base do lodo de DAM necessita de mais estudos, devido a presença de mais metais dissolvidos na água. Na tese mestrado de JUSTINA (2017) coagulantes a base de taninos oriundos da *Acacia mearnsii* tem estruturas distintas de tanatos à base de ácido gálico, por tratar-se de um polímero condensado que este sim, é utilizado em tratamento de efluentes.

2.6 Coagulantes orgânicos

A coagulação é um fenômeno físico-químico que compõe etapas de tratamento de efluentes e tem como objetivo melhorar a qualidade da água (LOPES, 2014).

Segundo TREVISAN (2014) o emprego de coagulantes orgânicos tem crescido devido à grande biodegradabilidade e menor geração de lodo pós-tratamento, possuindo menor valor que sais de alumínio e uma aplicação com eficiência semelhante atuando numa faixa de pH bastante ampla, podendo vir a eliminar agentes alcalinizantes.

Por outro lado, os taninos empregados nos tratamentos de água têm uma grande vantagem ambiental e econômico devido a diminuição de geração de lodo e possuem utilização na indústria de petróleo. (KLUMB & FARIA, 2012).

E estudos realizados por Nakano *et al.* (2005) investigaram a possibilidade de se recuperar ouro utilizando tanino em forma de gel para remover o metal em soluções aquosas. A reação redox que ocorre entre o tanino e o metal, e faz com que íons de Au^{+3} sejam reduzidos para Au^0 .

A partir de trabalhos que visam a investigação da interação entre taninos e íons de ferro o autor DÍAZ HIDALGO, R. J et al. (2018) buscou aplicações das espécies de íons de ferro como base de pigmentos para tintas. Segundo o autor a tinta pode ser descrita como um precipitado de galato de Ferro (III) em uma solução aquosa que contém Sulfato de Ferro (II), ácido gálico e goma arábica. A composição da tinta mencionada dá origem a um precipitado de cor preta. Para todas as composições de tinta, quando se trabalha numa faixa de pH extremamente ácida, isto é, numa faixa de pH de 2 até no máximo 4, ocorre a ligação de Fe^{2+} a anéis de catecol, um composto orgânico com estrutura composta por grupos hidroxilas e anel benzeno disponíveis em estruturas poliméricas dos taninos.

No presente trabalho, procura-se investigar o comportamento do tanino aplicado quando em contato com íons de Ferro presentes na DAM.

2.7 Parâmetros Físico-químicos da DAM

2.7.1 Turbidez

A origem natural da turbidez se dá por partículas de rochas, silte, argila e microrganismos, também pode citar os despejos domésticos, industriais e erosão. A turbidez é medida a partir de um método chamado de turbidimetria e sua unidade é expressa em NTU verifica-se a cor d'água (PARRON et al, 2011).

A turbidez é um dos parâmetros mais utilizados que indicam a formação da drenagem ácida de minas (FARFAN, 2004). A turbidez na DAM pode ocorrer no período de oxidação do ferro, assim podendo influenciar em parâmetros como a transparência da água (GONÇALVES, 2013).

2.7.2 Condutividade

Segundo PARRON *et al* (2011) a condutividade elétrica (CE) é a medida da capacidade da solução de conduzir corrente elétrica. A condutividade depende dos íons presentes na solução e de suas concentrações, tal como da temperatura da solução. A temperatura é um parâmetro importante na medição da condutividade, a

partir desse fato os dados de condutividade devem ser seguidos dos valores de temperatura medidos (NOGUEIRA et al, 2015).

Concentração de Ferro Dissolvido

A DAM possui, conforme os estudos apresentados sobre o tema, uma elevada concentração de ferro. A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece padrão de lançamento de ferro de 15 mg/L. Os principais rejeitos da mineração são a base de ferro e sulfato, estudos indicam que há como transformar íons de ferro em produtos de alto valor agregado, de acordo com MADEIRA (2012) este efluente líquido serve como matéria prima para a obtenção de coagulante químico férrico aluminoso, também utilizado em tratamento de água, sua aplicabilidade é bastante vasta visto que pode constituir matérias primas como gesso para a construção civil e pigmentos amarelo e vermelho de óxido de ferro.

2.7.3 pH

Segundo Gasparotto (2011) um dos inúmeros fatores que influenciam na faixa ocorre por meio da quantidade de íons de hidrogênio dissolvidos (H^+) influenciando de forma direta na distribuição de formas livres e ionizadas dos compostos químicos para maior ou menor grau, definindo aspectos como grau de toxicidade e solubilidade.

A DAM possui um pH que varia em torno de 2 a 4 (HORN, 2015). A coagulação quando o pH desse efluente atinge cerca de 3,5 é responsável por retirar da água hidróxido férrico, entretanto, irá variar de acordo com a caracterização do efluente, ou seja, varia de local onde a atividade de extração está concentrada e o emprego de matérias primas para a extração do minério. Para uma correção efetiva utiliza-se coagulantes que atuam numa faixa grande de pH, visto que não há somente íons de ferro presentes solubilizados no efluente, atentando-se sempre para que não haja contaminação residuária. No Brasil as faixas convencionais de tratamento variam em torno de 8 a 9, fazendo com que haja menos metais nas correntes hídricas tratadas (SANTOS, 2020).

2.7.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

Segundo Riguetto (2014), o oxigênio dissolvido em águas é um parâmetro importante, pois é através dele que se determina a capacidade de deterioração de matéria orgânica através de organismos anaeróbicos.

O oxigênio dissolvido (OD) tem sua origem pela dissolução do ar atmosférico por organismos que realizam o processo de fotossíntese ou por inserção artificial com o processo de agitação do efluente a ser tratado. A escassez desse recurso é dada pela adição de carga orgânica no efluente, causando uma oxidação química e bioquímica via respiração dos organismos presentes no ambiente, caso este recurso fique escasso o processo causa maus odores nas águas, depurando a matéria poluidora (RIGUETO, 2014).

A disponibilidade de oxigênio disponível é dada em ppm (parte por milhão) ou mg/L, a solubilidade deste gás varia com a temperatura e sua saturação encontra-se em torno de 8 mg/L na temperatura de 25°C a 1 atm (VALENTE et al, 1997).

Para valores de OD que variam entre 4 e 5 mg/L simboliza a morte de peixes. (RIGUETO, 2014).

2.8 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

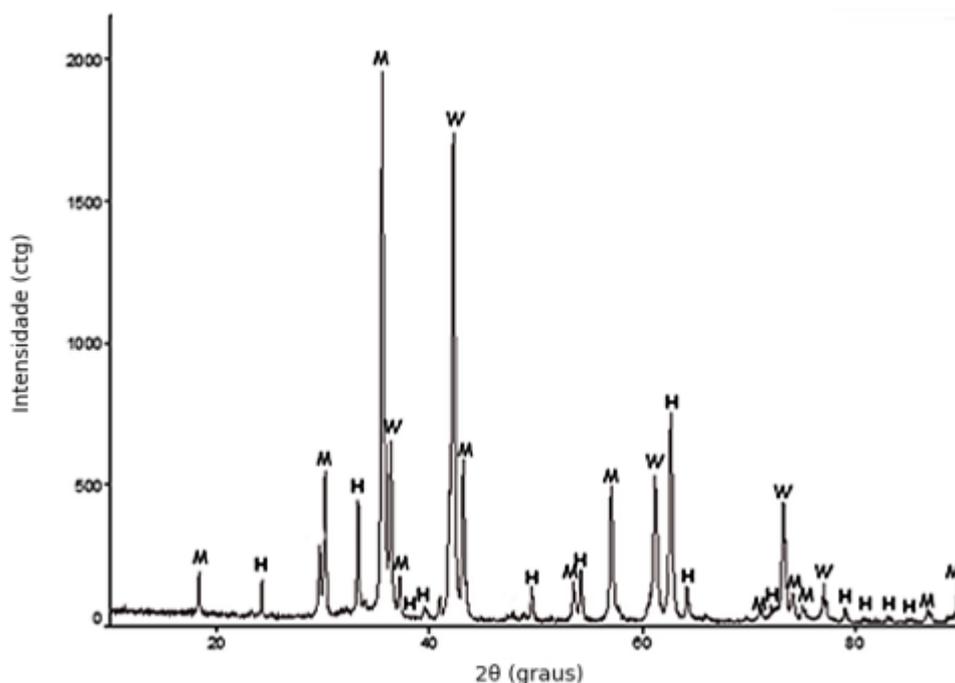
A difração é um fenômeno de utilidade diversa no meio científico e suas implicações consistem na identificação de compostos cristalinos através de um feixe de fótons que incide sobre um obstáculo com um ou mais orifícios com dimensões da ordem de seu comprimento de onda. Dentre os fenômenos de interação com a matéria pode-se destacar três: absorção, emissão e espalhamento. Através da Lei de Bragg a difração de raios-x é utilizada para a determinação característica de sólidos cristalinos obtidos através da interação da radiação com a matéria (NAPOLITANO *et al*, 2007).

Os metais são materiais que possuem grande relevância tecnológica tendo estruturas cristalinas relativamente simples, tendo formas cristalinas definidas e presentes na maioria dos metais, no presente trabalho o metal de interesse é o Ferro que possui estrutura cúbica de corpo centrado (CCC) (CALLISTER, 2012).

De acordo com Abreu (2019) a formação de óxidos ou cerâmicos alinhadas a íons metálicos a junção das cargas formam um empilhamento compacto dos ânions,

e os óxidos de ferro são encontrados em 16 tipos diferentes na natureza, sendo os mais comuns a magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3) e Wustita (FeO), com os respectivos ângulos ilustrados na Figura 7.

Figura 7 – Difração de Raio- X para Magnetita, Hematita e Wustita.



Fonte: MARESCO, *et al* (2011).

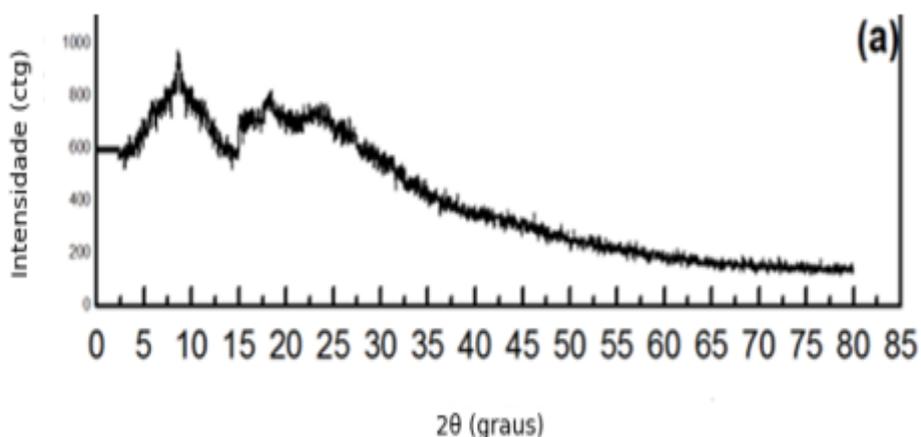
A figura acima indica as posições, isto é, o valor do ângulo onde encontram-se as formas de óxidos de ferro através do método de difração de raio – x, mostrando picos característicos para cada uma das variações de óxido.

Segundo Abreu (2019) a magnitude da carga elétrica dos íons de formação da estrutura do cristal influencia diretamente em sua estrutura cristalina. No presente trabalho com a realização da difração de raio-x identificou-se alguns óxidos de ferro presentes no lodo.

Já os taninos correspondem a materiais orgânicos, que não satisfazem a lei de Bragg que relaciona o comprimento de onda de raios-x e o espaçamento do ângulo do feixe. Caso a lei não seja satisfeita ocorrerá uma interferência que produz feixes de intensidade muito baixa, o que ocorre em materiais amorfos, atuando como onda destrutiva devido a sua estrutura ser muito diferente de materiais cristalinos, isto é, carentes de arranjos regulares (CALLISTER, 2012)

O autor Nakano (2016) caracterizou alguns taninos via difração de raio-x e gerou alguns gráficos como exemplificado na Figura 8 abaixo referente a materiais amorfos.

Figura 8 – Tanino em DRX



Fonte: NAKANO, F. P. (2016).

2.9 Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA)

Atualmente técnicas de espectroscopia de absorção atômica são utilizadas na indústria, saúde, meio ambiente entre outros para a análise da concentração de metais presentes em materiais inorgânicos e orgânicos (CHUI, *et al* 2001)

A técnica de EAA consiste na combinação das Leis de Beer e Lambert, pois permite relacionar a concentração dos átomos no estado fundamental com a absorção de radiação eletromagnética monocromática. O fundamento das leis Lambert-Beer relaciona a quantidade de luz absorvida ou transmitida por uma determinada solução (Krug, *et al* 2004).

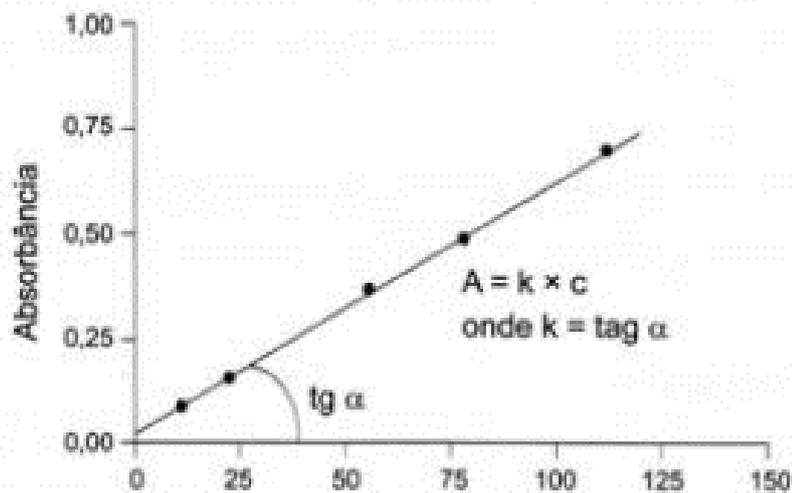
A lei de Lambert Beer relaciona as segundo a Equação 1, abaixo.

$$I = I_0 \times 10^{-kc} \quad (1)$$

Onde I é intensidade de luz transmitida, I_0 é a intensidade da luz incidente, k é uma constante denominada coeficiente de absorção e c é a concentração do meio absorvente.

O $-\log(I/I_0)$ foi denominado densidade óptica (DO) ou absorvância (A) ou extinção (E). Portanto, $A = k' \cdot c$. A relação entre A e a concentração da solução é linear (Mendes, 2009). Como mostra a Figura 9, abaixo:

Figura 9 - Curva de absorvância *versus* concentração



Fonte: Mendes (2009)

Através desta técnica é possível elementos como metais alcalinos alcalino terrosos, alguns elementos de transição (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) e até mesmo elementos potencialmente tóxicos como Cd e Pb (CHUI, *et al* 2001).

3. METODOLOGIA

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados no presente trabalho, utilizando como amostra a drenagem ácida de minas (DAM) proveniente do município de Candiota/RS.

3.1 Materiais

A coleta de amostras de DAM foi realizada por SOUZA (2022) e armazenada em bombonas. Essas amostras foram provenientes de uma mina utilizada na década de 80, situada no bairro de Dario Lassane localizado no município de Candiota - RS. a qual é responsável pela mineração de carvão na localidade de Candiota. Atualmente o local onde encontra-se o efluente está desativado.

3.2 Reagentes Utilizados

A Tabela 4 apresenta os reagentes utilizados no equipamento Jar-teste, que ajudaram na correção do pH e na coagulação.

Tabela 4- Reagentes utilizados.

Reagente	Marca
Cal Hidratada	Amostra de indústria local
TANFLOC - SG	TANAC

Fonte: Autora (2022)

3.3 Equipamentos e Vidrarias

Para realizar as análises físico-químicas e a neutralização/precipitação, serão utilizados os equipamentos disponíveis no laboratório de Engenharia Química da UNIPAMPA. A Tabela 5 mostra os modelos e marcas dos equipamentos que serão utilizados no presente estudo.

Tabela 5 – Marcas e modelos dos equipamentos.

Equipamento	Marca	Modelo
pHmetro	Methrom	827 pH lab
Turbidímetro	Del Lab	DLT-WV
Múltiplo Medidor digital	Hanna Instruments	HI 9835
Espectrofotômetro de Absorção Atômica	PinAAcle	900T
Jar-Teste	Eco Educacional	-
Balança Analítica	Shimadzu	AUY 22
Difrador de Raio X	Rigaku	Miniflex 300
Bomba à vácuo		

Fonte: Autora (2022).

A Figura 10 mostra a foto dos equipamentos utilizados neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Figura 10 – Foto dos equipamentos utilizados.



Fonte: Autora (2023).

As vidrarias e outros materiais utilizados para armazenamento e realização dos ensaios, bem como a caracterização do efluente, estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Vidrarias e outros materiais.

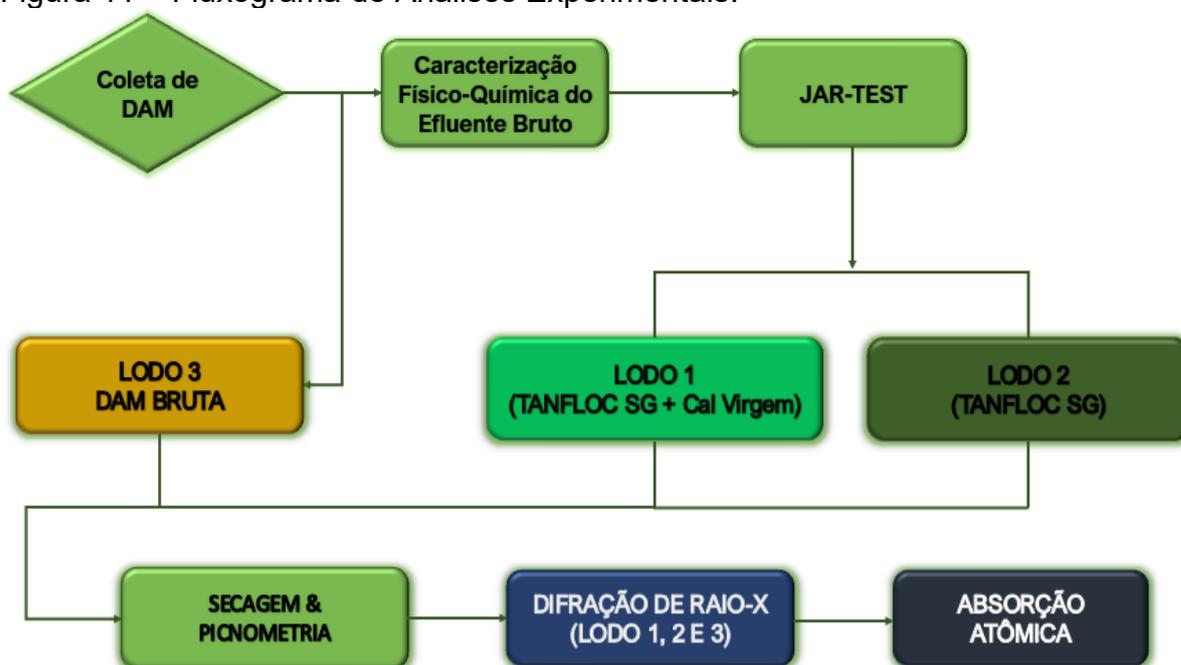
OUTROS MATERIAIS	Unidade de medida
Béquer	1000 mL
Kitasato	1000 mL
Pêra	-
Pipeta graduada	20 mL
Balão Volumétrico	100 mL
Papel Filtro	-
Picnômetro	25 mL

Fonte: Autora (2023).

3.4 Procedimento experimental

De maneira geral, as etapas do procedimento foram realizadas em triplicata, seguindo o fluxograma mostrado na Figura 11, sendo descrito em 7 etapas.

Figura 11 – Fluxograma de Análises Experimentais.



Fonte: Autora (2023).

Cada uma das etapas presentes no fluxograma está descrita nos tópicos a seguir.

3.5 Coleta da DAM

A coleta da amostra foi realizada seguindo os procedimentos descritos no item 3.1.

Foram utilizados aproximadamente 30 L da amostra de DAM. Elas foram conservadas em temperaturas ambiente e antes das suas análises realizou-se uma agitação para homogeneização das amostras.

3.6 Caracterização físico-química do efluente bruto

No presente tópico está descrito as etapas da caracterização do efluente. Com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 mL, retirou-se uma alíquota de 500 mL das bombonas que armazenavam a DAM. O conteúdo foi transferido para três béqueres de vidro de 1000 mL de volume e levado para equipamento Jar - Teste para homogeneização das amostras para que posteriormente prosseguir com a caracterização, seguindo as etapas descritas abaixo:

- 1) pHmetro da marca Methrom modelo 827 ,mediu-se o pH da amostra bruta.
- 2) Medidor múltiplo digital marca Hanna Instruments modelo HI9835; mediu-se a condutividade elétrica do efluente apresentada no visor na unidade de (mS/cm) e posteriormente, mediu-se os Sólidos Totais Dissolvidos (SST) fornecido na unidade (g/L) pelo mesmo equipamento.
- 3) Turbidímetro da marca Del Lab modelo DLT-WV; mediu-se a Turbidez , parâmetro de cor do efluente dado na unidade de (NTU).
- 4) Medidor de Oxigênio Dissolvido (OD) da marca Hanna Instruments modelo HI9146; mediu-se a quantidade de oxigênio dissolvidos da amostra bruta.

A ordem dos procedimentos citados acima foi seguida para a caracterização da DAM pós o tratamento.

3.7 Ensaio de Jar-teste

Esse TCC é um prosseguimento do trabalho apresentado por Souza (2022), onde houve uma alternância da sequência de adição dos reagentes, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Ensaio Realizados.

Ensaio	Coagulante + Cal Hidratada	Coagulante
1	0,2554 g – 0,990 g	-
2	0,2554 g – 0,990 g	-
3	0,2554 g – 0,990 g	-
4	-	0,2554 g
5	-	0,2554g
6	-	0,2554g

Fonte: Autora (2023).

Os ensaios realizados seguiram a ordem estipulada na tabela em triplicata utilizando os seguintes reagentes: cal hidratada, proveniente de uma indústria local, coagulante orgânico (TANFLOC – SG) da marca TANAC.

O equipamento de Jar-teste utilizado está apresentado na Figura 12. Durante os ensaios a velocidade de rotação foi mantida em 90 rpm, alternando a ordem de adição dos reagentes conforme o realizado experimentalmente por SOUZA (2022).

Figura 12 – Jar-Teste com amostra Bruta e Reagentes.



Fonte: Autora (2023).

No trabalho anterior realizado por SOUZA (2022) a realização do estudo dos parâmetros físico-químicos da DAM seguiu a ordem tradicional de adição, isto é, Cal

hidratada + coagulante (TANFLOC – SG), outras formas também foram testadas no trabalho anterior, como a adição dos reagentes na ordem inversa, coagulante + base, isto é, TANFLOC SG + Cal hidratada e por último, ocorreu a utilização somente do coagulante.

No presente trabalho os ensaios partiram segundo a Tabela 7, isto é, utilizando a ordem de adição TANFLOC – SG + cal hidratada, conforme o fluxograma da Figura 11, a fim de verificar e complementar o trabalho anterior os foram incluídos parâmetros adicionais como, oxigênio dissolvido (O.D) e a obtenção da quantidade de ferro dissolvido em água, análises complementares ao estudo anterior para estudar os efeitos quando adiciona-se TANFLOC -SG + Cal hidratada, isto é, ordem inversa frente aos tratamentos convencionais

O tempo de sedimentação de todas as amostras foram cerca de 45 minutos para a separação completa do clarificado e espécimes coloidais em suspensão. Conforme a Figura 13 :

Figura 13 – Efluente tratado com TANFLOC SG + Cal Virgem



Fonte: Autora (2023).

Na terceira etapa o mesmo tipo de procedimento fora utilizado, o reagente utilizado na amostra a ser tratada foi somente o Tanino (TANFLOC - SG) para tratamento do efluente, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Efluente tratado somente com TANFLOC – SG.



Fonte: Autora (2023).

Após todas as sequências de adição realizadas e a caracterização da DAM pós-tratamento, separou-se clarificado e lodo através do processo de filtração à vácuo. Conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 – Filtração das amostras.



Fonte: Autora (2023).

Após o processo de filtração a vácuo o lodo formado pós – tratamento, foi encaminhado para secagem em temperatura ambiente, durante 24 horas. E o clarificado armazenado em frascos para análise posterior.

3.8 Secagem e picnometria

O lodo formado pós-tratamento e com auxílio de uma pipeta, foi retirada uma alíquota de lodo do fundo dos béqueres e transferidos para picnômetros, a fim, de obter-se a massa específica do lodo formado, conforme a Figura 16, que ilustra a ordem de obtenção de cada resíduo pós sedimentação.

Figura 16 – Picnometria: 1) TANFLOC – SG + Cal Hidratada; 2) TANFLOC – SG.



Fonte: Autora (2023).

A técnica de picnometria foi empregada com o intuito de comparar os valores de densidade de lodo frente a amostras de água tratadas com sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ em vista das características do coagulante utilizado no presente trabalho. A determinação da densidade do resíduo no presente trabalho busca servir como base para trabalhos posteriores com foco em gestão de resíduos de efluentes tratados com coagulante orgânico TANFLOC – SG.

Posteriormente a técnica de picnometria, as amostras de lodo que estavam secando no período de 24 horas, foram obtidas. A Figura 17 ilustra a ordem de obtenção de cada lodo, pós secagem.

Figura 17 – Lodo pós filtração de cada amostra.



Fonte: Autora (2023).

Com o auxílio de uma espátula o conteúdo de lodo presente no papel filtro soltou-se e foi armazenado em eppendorf, identificando cada amostra para encaminhá-las para a técnica de DRX

3.9 Difração de Raio X

O material em pó resultante do processo de precipitação e neutralização do tratamento foi encaminhado para análise. Os estudos do sólido seco identificaram alguns compostos de ferro presentes no lodo de DAM, a estrutura apresentada pelos compostos presentes tem emissões em ângulos específicos e intensidades diferentes.

Os compostos identificados por DRX foram: Wustita (FeO), Hematita (Fe_2O_3) e Magnetita (Fe_3O_4). Esses compostos, segundo Maresco *et al* (2011), emitem respostas em ângulos específicos, que correspondem ao eixo das abscissas (Θ), e intensidades distintas correspondentes ao eixo das ordenadas (ctg), a intensidade pode variar de amostra para amostra, sendo possível afirmar com precisão a presença dos compostos de estrutura cristalina pós DRX, comparando os sinais obtidos experimentalmente observando a faixa de ângulos dos picos presentes nos gráficos.

3.10 Absorção atômica

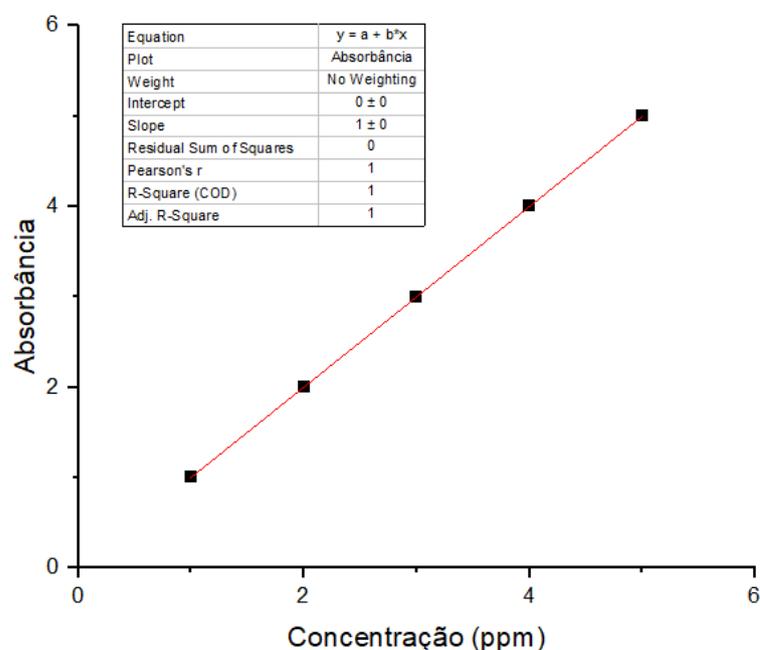
A técnica de EAA foi empregada para descobrir qual a concentração de ferro nas amostras, e para que a análise fosse realizada, as amostras foram diluídas para que a concentração máxima de ferro presente atingisse 5 ppm ou mg/L.

A primeira etapa consiste em realizar a curva do equipamento através de uma solução padrão de Ferro Puro, a solução padrão de Ferro. Esta solução será feita da seguinte forma.

- Pesar 0,1 g de ferro puro, transferir o conteúdo para o balão volumétrico, adiciona-se água destilada para solubilizar
- Com o ferro solubilizado em água, adiciona-se ácido nítrico (HNO_3) até ocorrer a digestão completa do ferro.
- Completar com água até o menisco.

Esta solução será de 1000 ppm e a partir dela que foram feitas a solução estoque de 100 ppm, e os padrões de 1,2,3,4 e 5 ppm. Gerando uma curva de calibração de acordo com a lei de Lambert-Beer, conforme Figura 18.

Figura 18 – Curva de Calibração via *software Origin Pro 2022*



Fonte: Autora (2023).

A partir da curva de calibração obtida para o Ferro. As etapas para as análises da concentração de ferro nas amostras seguiram-se após a separação do clarificado e do lodo.

O clarificado das amostras foram transferidos para frascos âmbar de vidro e armazenados em geladeira, tendo como resultado das amostras com e sem tratamento, conforme Figura 19

Figura 19 – Filtrado de DAM frasco 1 e clarificados pós-tratamento (2) e (3)



Fonte: Autora (2023).

Na Figura 19 o primeiro frasco da esquerda para direita, correspondente ao número 1, é somente o filtrado de DAM Bruta, o frasco 2 contém o clarificado de DAM Tratada com TANFLOC – SG + Cal hidratada e por último o clarificado de DAM tratada somente com TANFLOC – SG, correspondente ao frasco 3 como enumerados na figura.

Após a classificação retirou-se uma alíquota de 1. 2 e 3 mL de cada amostra, isto é, da DAM Bruta e das amostras tratadas TANFLOC SG + Cal Hidratada e a amostra somente com TANFLOC – SG.

Estas amostras foram diluídas em balões de 100 mL, como ilustrado na Figura 16, sendo a Figura 20 a) TANFLOC – SG solução diluída no balão 3 Figura 20 (b) TANFLOC – SG + Cal hidratada no balão 2 e na Figura 20 (c) DAM BRUTA diluída no balão 1. Após a diluição estas amostras foram encaminhadas para o equipamento EAA.

Figura 20 - Soluções utilizadas nos ensaios de absorção atômica



Fonte: Autora (2023).

Após a leitura do equipamento os dados obtidos foram transformados em gráficos e por fim multiplicados por seus respectivos valores de diluição. Esses resultados estão presentes no capítulo seguinte em discussões e resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos a partir das análises anteriores no presente trabalho.

A Tabela 8 apresenta os resultados da caracterização da drenagem ácida de minas em comparação com as leis ambientais vigentes, a Resolução CONAMA n° 430 – de 13 de abril de 2011 e a Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005, em que determinam critérios para lançamento de efluentes ao meio ambiente para fins de controle ambiental.

Observa-se que o valor encontrado de pH é inferior ao exigido por lei para o lançamento de um efluente. Os parâmetros como: Turbidez (NTU), Sólidos Totais Dissolvidos (g/L), Condutividade elétrica (mS/cm) e Oxigênio Dissolvido (ppm) da amostra bruta estão no padrão exigidos pela CONAMA 430 -357/05. Já outros parâmetros serão abordados em outros tópicos no presente capítulo.

Tabela 8 – Caracterização da amostra Bruta de DAM

Parâmetros	Parâmetros Encontrados	Legislação
pH	3,01 ±0,01	5-9*
Turbidez (NTU)	36,3 ± 1,23	100**
Condutividade elétrica (mS/cm)	4,46 ± 0,01	100-1000***
Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)	2,26 ± 0,01	500**
Oxigênio Dissolvido (ppm)	7,05 ± 0,02	≥5,0**
Quantidade de Fe dissolvido (mg/L)	21,65	15*

* CONAMA 430/2011

** CONAMA 357/2005 (Classe 2)

*** FUNASA 2014

Fonte: Autora (2023).

Os resultados presentes neste capítulo encontram-se em tópicos analisados de forma individual como forma de comparação e desempenho dos reagentes empregados no processo. Seguindo as resoluções citadas anteriormente fez-se a classificação do efluente pós-tratamento para que o mesmo retorne ao meio ambiente, conforme objetivo.

A Classe 2 foi escolhida, pois de acordo com os parâmetros exigidos por lei oferecem segurança ao meio ambiente e seu uso pode ser destinado a recreação de contato e até mesmo pesca amadora. Se porventura o rio entrar em contato com outros corpos d'água presentes na região, diminuindo o risco de contaminação e morte de animais e lixiviação do solo por arraste de regiões próximas.

Os resultados estão apresentados em forma de tabela como mostra a Tabela 9 abaixo, com as respectivas dosagens de: 0,2554g para TANFLOC – SG e 0,990g para Cal hidratada.

Tabela 9 – Resultados a partir do tratamento com TANFLOC – SG + Cal.

Parâmetros	Parâmetros Encontrados	Legislação
pH	8,81 ± 0,21	5-9*
Turbidez (NTU)	6,05 ± 0,86	100**
Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)	1,88 ± 0,06	500**
Condutividade elétrica (mS/cm)	3,71 ± 0,16	100-1000***
Oxigênio Dissolvido (ppm)	3,50 ± 0,13	≥5,0**
Quantidade de ferro dissolvido (mg/L)	0,02 ± 0,18	15*

* CONAMA 430/2011

** CONAMA 357/2005 (Classe 2)

*** FUNASA 2014

Fonte: Autora (2023).

E abaixo a Tabela 10 resultados frente ao tratamento com o coagulante TANFLOC – SG na dosagem de 0,2554g. A tabela abaixo compara parâmetros do efluente tratado somente com TANFLOC – SG e comparando com os valores disponíveis na legislação CONAMA 430/2011, CONAMA 357/2005 e FUNASA 2014.

Tabela 10 – Resultado do tratamento somente com TANFLOC – SG

Parâmetros	Parâmetros Encontrados	Legislação
pH	2,37±0,02	5-9*
Turbidez (NTU)	3,21±0,04	100**
Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)	2,21±0,04	500**
Condutividade elétrica (mS/cm)	4,35±0,15	100-1000***
Oxigênio Dissolvido (ppm)	5,61±0,11	≥5,0**
Quantidade de ferro dissolvido (mg/L)	0,39	15*

* CONAMA 430/2011

** CONAMA 357/2005 (Classe 2)

*** FUNASA 2014

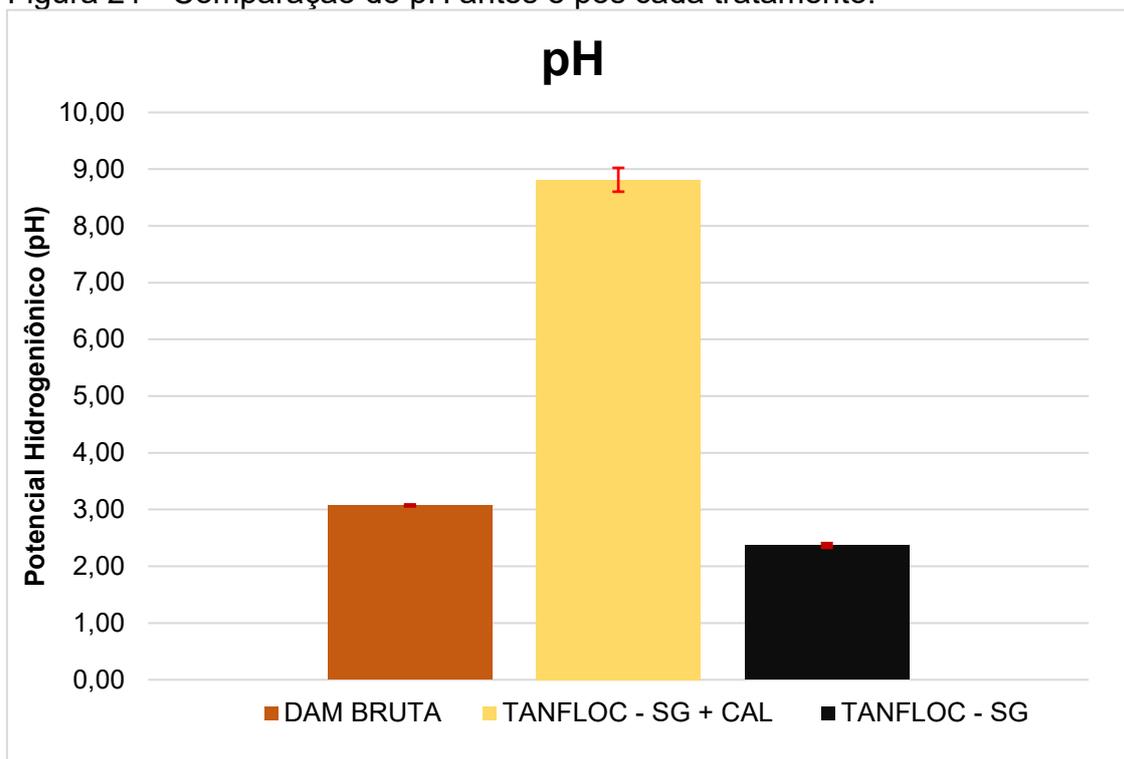
Fonte: Autora (2023).

No tópico abaixo, temos de forma ilustrada os gráficos obtidos pré e pós-tratamento da DAM de todos os parâmetros no presente trabalho.

4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

De forma mais visual a Figura 21 o potencial hidrogeniônico a comparação dos tratamentos em relação a amostra bruta.

Figura 21 - Comparação do pH antes e pós cada tratamento.



Fonte: Autora (2023).

Nas literaturas de SOUZA (2022) o melhor valor de pH encontrado pela foi de $9,86 \pm 0,04$, isto é, acima do padrão exigidos pela portaria CONAMA 430/2011, com a ordem de adição TANFLOC SG + Cal Hidratada. Já para o ensaio na ordem tradicional de adição, o pH foi para $11,13 \pm 0,15$, também acima do padrão exigido por lei. A diferença nos valores encontrados entre ambos os trabalhos pode ser devida a que, no estudo de referência, a adição dos reagentes, embora utilizando as mesmas dosagens, foi realizada seguindo a ordem sequencial inversa que a aplicada no presente estudo.

Estudando-se a tendencia da Cal Hidratada elevar o pH da amostra de forma abrupta, a melhor dosagem encontrada para que os parâmetros se enquadrem dentro das resoluções citadas no parágrafo anterior, devem estar na dose 0,990g de Cal hidratada, ou menores exigindo mais estudos posteriores.

Nas literaturas SANTOS (2020), HORN (2015), ARCER (2012), FERREIRA, *et al* (2015), FARFAN (2014), GUSMÃO (2014), não foram encontrados valores de pH utilizando-se Cal Hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a base mais comumente utilizada é de $\text{Na}(\text{OH})$, segundo o órgão COMASP a cal utilizada no tratamento de água pode causar alguns problemas como o acúmulo e depósito de Cal no fundo dos

reservatórios e a formação de gesso, além de poder aumentar a dureza do efluente, dependendo da sua composição. (COMASP, Artigo Técnico, ed. 79. n 859).

Fundamentando a informação fornecida pelo órgão COMASP, experimentalmente após a decantação do lodo ocorrer por mais de 24h no laboratório, percebe-se a formação de flocos de cal que separam do restante do lodo. Conforme a Figura 22

Figura 22 – Separação da Cal Hidratada pós sedimentação.



Fonte: Autora (2023).

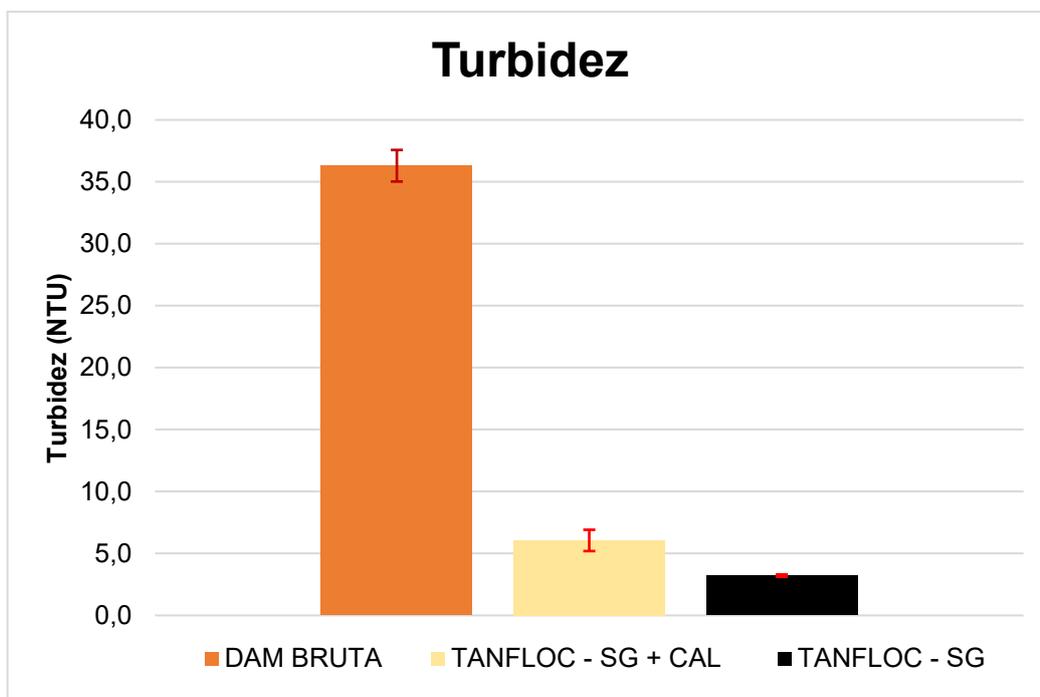
De acordo com POSSA E SANTOS (2003) a cal é bastante reativa e pode ser empregada em águas com o pH baixo e em vazões pequenas, pois o custo é menor cerca de 75% segundo os autores, contudo, se a composição sulfatada do efluente for elevada o limite de solubilidade é excedido, o que explica a formação do precipitado de Cal, pois em contato com a água tem se a formação de anidrita ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O mesmo ocorre com a aplicação de cal hidratada (POSSA E SANTOS,2003).

Contudo, utilizando o coagulante a base de taninos encontra-se algo relacionado a efluentes resultante de processo de galvanoplastia pelo autor VAZ, *et al* (2010) melhoria de 99,38%, ou seja, o tanino traz bons resultados quando empregado no tratamento de água. No trabalho de FRAISOLI, D (2019) menciona que taninos agem melhor em pH ácidos, o efluente tratado em questão envolvia efluentes industriais oriundos da fabricação de laticínios.

4.2 Turbidez (NTU)

A Figura 23, mostram os valores encontrados de turbidez das amostras sendo uma delas: DAM bruta e as amostras tratadas com TANFLOC – SG + Cal hidratada e somente com o coagulante TANFLOC – SG.

Figura 23 – Resultados da Turbidez antes e após tratamento das amostras.



Fonte: Autora (2023).

No trabalho anterior realizado por SOUZA (2022) os valores de turbidez encontrados foram de $5,8 \text{ NTU} \pm 0,005$. Onde houve uma diminuição de cerca de 74,30% na turbidez da água. Pode-se observar que a turbidez sob o tratamento TANFLOC-SG + Cal e somente TANFLOC- SG não teve uma diferença significativa em relação a ambos os trabalhos. Demonstrando eficiências de remoção de cores próximas, a Figura 23, mostra padrões de turbidez dentro dos padrões de lançamento dentro da Resolução 430/2011 do CONAMA, a qual estabelece um limite máximo de até 100 NTU.

Já no presente trabalho a redução nos parâmetros de turbidez para a amostra pode ser explicada devido a alguns fatores, a dosagem utilizada de cal hidratada pouco menores e dosagens de coagulante um pouco maiores, mesmo com mudanças na última casa decimal, estas mudanças proporcionaram diferenças apenas desvios estatísticos nas análises na obtenção de resultados. Outros impactos obtidos na diferença de resultados de uma mesma amostra podem ser

atribuídos a fatores como: tempo de armazenamento de amostra, tempo de sedimentação adotado e velocidade de rotação no equipamento.

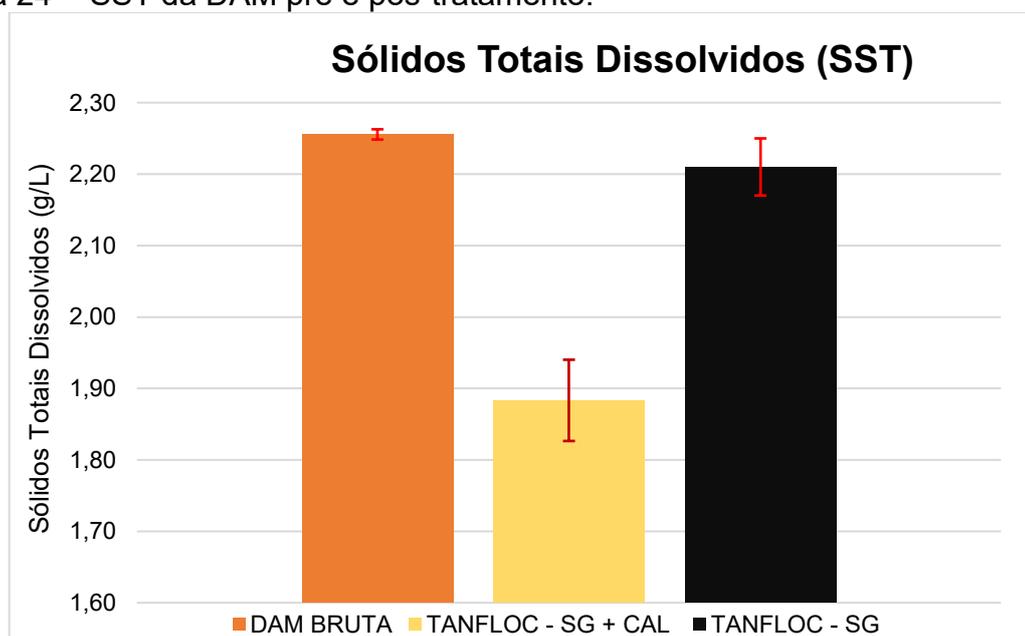
Alguns procedimentos experimentais adotados, como a homogeneização da amostra de DAM Bruta podem ter feito com que partículas coloidais presentes na efluente acabassem decantado de uma análise para outra.

Para efeitos até o presente momento como referência encontra-se o trabalho SOUZA,(2022) , onde o valor máximo encontrado utilizando o tanino TANFLC- SG foi de $7,9 \text{ NTU} \pm 0,05$. Estes valores são explicados por NEPOMUCENO, *et al* (2018) entende-se que devido ao tamanho dos flocos formados pelo coagulante o tempo de sedimentação seja mais rápido e os resultados sejam melhores em relação a turbidez. Já autores como BOMFIM (2015) explicam que a redução de turbidez está ligada também ao uso de alcalinizantes, apesar da melhora sem o mesmo a faixa de remoção de cor do efluente possui uma melhora de até 92%, pois o pH da amostra precisa estar entre 5 e no máximo 8.

4.3 Sólidos Totais Dissolvidos (SST)

Os resultados de sólidos totais dissolvidos estão apresentados na Figura 24, abaixo. Na figura está contida a informação a respeito dos tratamentos e da amostra bruta

Figura 24 - SST da DAM pré e pós-tratamento.



Fonte: Autora (2023).

O resultado da DAM Bruta de sólidos totais foi de $2,26 \text{ g/L} \pm 0,01$ e para o uso dos reagentes TANFLOC – SG + Cal hidratada o comportamento de sólidos presentes nas amostras apresentou uma diminuição o valor encontrado foi de $1,88 \text{ g/L} \pm 0,06$, resultado muito próximo ao do trabalho de SOUZA (2022) que encontrou o valor de $1,54 \text{ g/L}$, já no tratamento empregando-se somente o coagulante, ou seja, mesmo com análises distintas comportamento do efluente mediante o emprego de tratamento não apresentou mudanças significativas.

Na amostra somente com o tanino houve um aumento na quantidade de SST e isso é explicado pelo trabalho de FRAISOLI (2019), o aumento de sólidos totais diz respeito ao tempo de sedimentação e ao meio que o efluente se encontra, se básico, ou ácido. Em meio ácido segundo o trabalho de FRAISOLI (2019) o percentual de sólidos totais deveria diminuir, o que ocorreu nos ensaios realizados no presente trabalho.

Já quando se utiliza o TANFLOC – SG + Cal, a hipótese levada em consideração seria a faixa de pH influencia diretamente na precipitação de metais entre outras substâncias presentes na DAM, independente da ordem de adição dos reagentes, isto é, tanto faz se alcalinizante e coagulante ou vice-versa. O comportamento apresentado ocorre em trabalhos como de SOUZA (2022).

A diferença do valor encontrado no presente trabalho em comparação com o trabalho de SOUZA (2022) pode ser explicada devido ao tempo de sedimentação empregado que fora de 45 minutos para todas as amostras. Outras literaturas como de BOMFIM (2015) utilizam tempos superiores aos de 45 minutos, pois experimentalmente os valores do efluente pararam de oscilar a partir de 60 minutos.

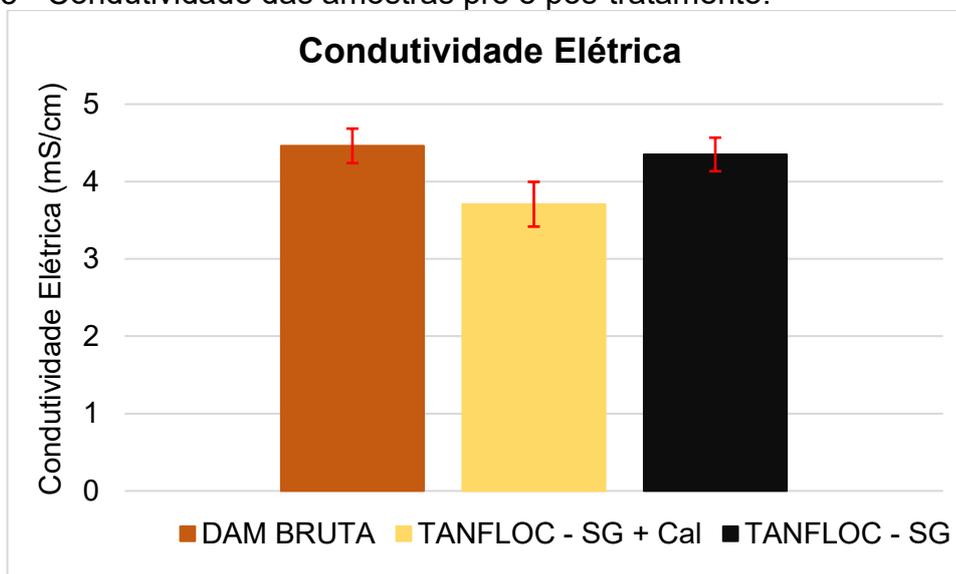
Ademais, literaturas como FARFAN (2004). GUSMÃO (2014), NEPOMUCENO et al (2018), SANTOS (2020) não foram encontrados resultados para que ocorressem mais comparações com as literaturas disponível. Dentro da Resolução do CONAMA 430/2011 os valores encontrados no presente trabalho encontram-se no limite estipulado sendo de até 500 g/L .

4.4 Condutividade Elétrica

A Figura 25 mostra os valores encontrados de condutividade elétrica em mS/cm na amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento com a

presença da cal hidratada e sem a cal hidratada, isto é, somente o coagulante (TANFLOC – SG).

Figura 25 - Condutividade das amostras pré e pós-tratamento.



Fonte: Atura (2023).

Para a amostra bruta a condutividade elétrica os valores deram em torno de 4,47 mS/cm \pm 0,02 valor pouco mais elevado ao encontrado por SOUZA (2022) cerca de 3,11 mS/cm \pm 0,0058.

Para o tratamento de TANFLOC – SG + Cal hidratada, a condutividade elétrica diminuiu e isso se dá ao fato de os processos de floculação/precipitação retirar íons e cargas presentes no efluente, tendo encontrado um valor de 3,71 mS/cm \pm 0,16, valores próximos ao trabalho realizado anteriormente por SOUZA (2022), onde a condutividade elétrica encontrada foi de 3,83 mS/cm \pm 0,015.

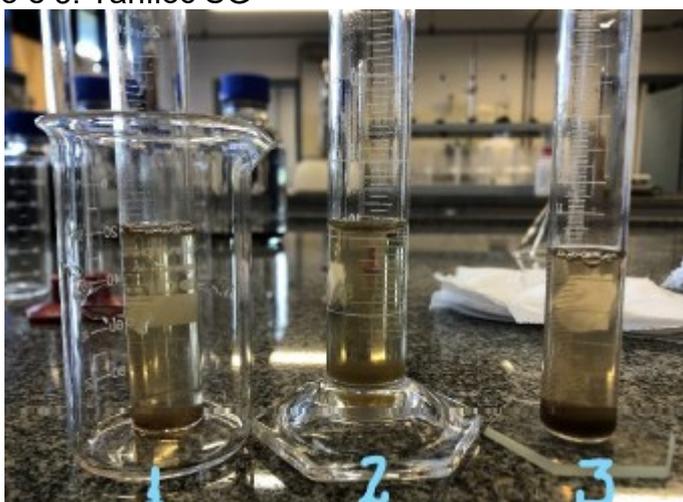
Já o tratamento do efluente tendo em vista o uso somente do tanino, teve um aumento da condutividade elétrica. O valor encontrado para a amostra tratada somente com tanino foi de 4,35 mS/cm \pm 0,15, comportamento este presente em trabalhos como de SOUZA (2022) , GUSMÃO (2014), FRAISOLI (2019), MOREIRA (2019), isto ocorre devido ao alto peso molecular do coagulante, pois a mobilidade no meio aquoso torna-se baixa, o que explica o aumento de condutividade no tratamento.

Em outros trabalhos como de TEJADA (2022); WHALSTROM *et al* (2017), afirmam que o pH abaixo gera a protonação da lignina amina influenciando diretamente em parâmetros como condutividade elétrica e turbidez, ou seja,

amostras tratadas somente com o tanino serão mais turvas e terão condutividade elétrica elevada.

Na Figura 26, no trabalho de TEJADA (2022) compara-se as cores do efluente tratado com outros coagulantes e mostra que na proveta 3, contendo o tanino a sua cor é mais escura.

Figura 26 - Soluções com coagulantes orgânicos para teste de floculação: 1. LKC; 2. Sulfato de alumínio e 3. Tanfloc SG



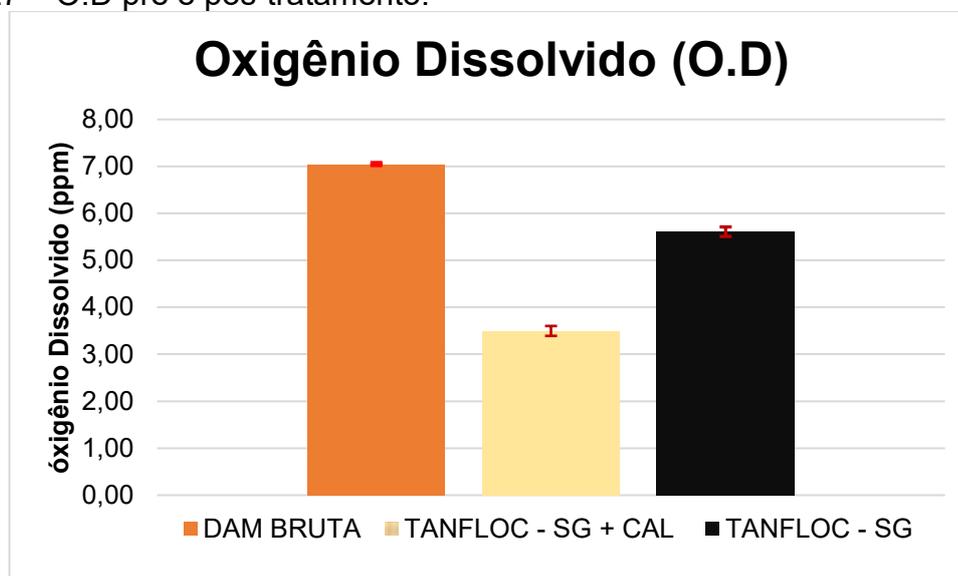
Fonte: TEJADA (2022).

Através da legislação da FUNASA 2014, os valores encontrados após o tratamento empregado no presente trabalho encontram-se dentro da legislação ambiental, sendo seguro o retorno do efluente ao meio ambiente pós-tratamento.

4.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

Na Figura 27 apresenta os resultados da amostra da DAM Bruta, do tratamento com TANFLOC – SG + Cal hidratada e o efluente somente com TANFLOC – SG.

Figura 27 – O.D pré e pós-tratamento.



Fonte: Autora (2023).

Ao analisarmos o parâmetro OD encontramos valores maiores de oxigênio dissolvido na DAM Bruta sendo o valor de 7,05 ppm \pm 0,02, em vista do valor encontrado para a amostra tratada com a inclusão de cal + coagulante sob o valor de 3,50 ppm \pm 0,13, a diminuição desse parâmetro pode ser explicada segundo POSSA E SANTOS (2003), pela formação de gesso anidrita que entra como um fator possivelmente interfere na quantidade de oxigênio no meio, pois o mesmo se liga a hidrogênios presentes no efluente formando uma espécie de massa úmida no fundo. Já os valores encontrados de OD em ppm para o efluente tratado somente com o TANFLOC – SG obedecem a CONAMA 430/2011, sendo o valor de 5,61ppm \pm 0,11 o aumento do parâmetro pode ser explicado devido a menor alcalinidade do meio e a finidade do coagulante com os íons metálicos, fator principal que impacta no pH da amostra e consome o oxigênio do efluente segundo SANTOS (2020).

Segundo os autores FARFAN (2004), ARCER (2012), HORN (2015), FERREIRO, et al (2017), NEPOMUCENO et al (2018) e SEGREDO (2014) a quantidade de oxigênio em ambientes abertos na DAM, podem até ser superiores a 5mg/L devido a aeração atmosférica poderia conferir um aumento no oxigênio do efluente. Contudo no presente trabalho, o aumento de oxigênio dissolvido deve-se ao fato da inserção mecânica na amostra antes da medição dos parâmetros, o que certamente ocasionou interferência na leitura do equipamento utilizado. O uso de

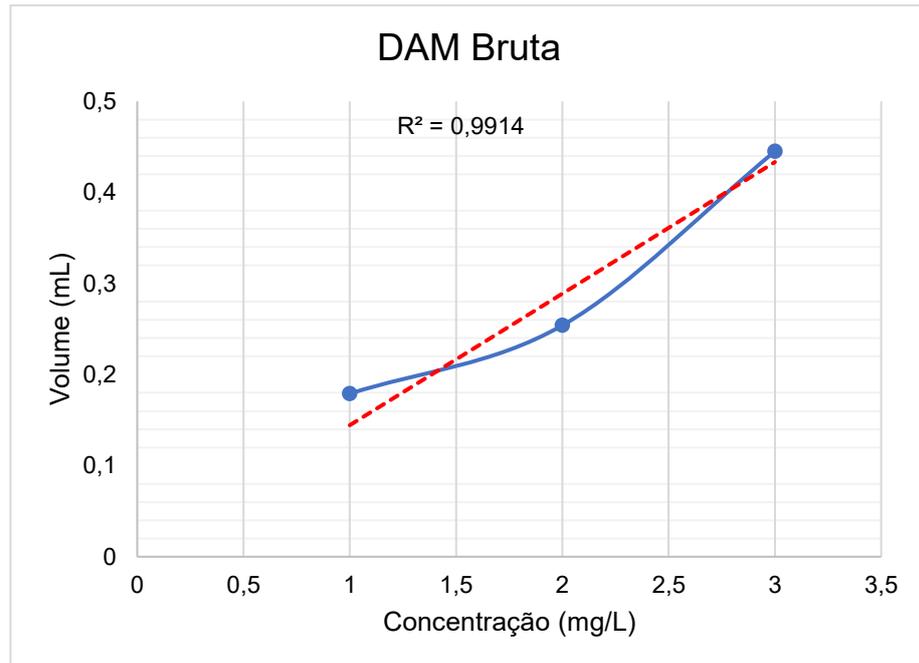
Cal hidratada como base para correção de pH, fez com que ocorresse o aumento do potencial hidrogeniônico do meio, indo para uma faixa, porém na dosagem utilizada no presente trabalho, fez com que o pH da amostra tratada fosse para uma faixa próximo de 9, independentemente da ordem de adição, isso ocorre devido a presença de outros minerais presentes na DAM, aumentando-se a dureza do efluente também faz com que o O.D diminua (SILVA, 2012).

De acordo com SEGREDO (2014) para aumentar O.D, basta aumentar a velocidade de rotação (rpm) usados em Jar-Test e o tempo de agitação, pois o oxigênio pode ser inserido de forma mecânica no efluente. Ademais corrigindo-se o tempo de agitação da amostra que contém cal hidratada o efluente deve entrar nos parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA 357/2005, classificando -o como classe 2 .

4.6 Quantidade de Ferro Dissolvido (mg/L)

Na DAM a quantidade de Ferro dissolvido é um dos inúmeros tópicos com que chama a atenção quando se trata de efluentes contaminados por atividades de mineração. A fim de determinar a quantidade de ferro e a concentração nos efluentes, utilizou-se o método de espectroscopia de absorção atômica (EAA), o qual devolveu os resultados das amostras diluídas em forma de gráfico, obtidas via *software* Excel, conforme as figuras abaixo.

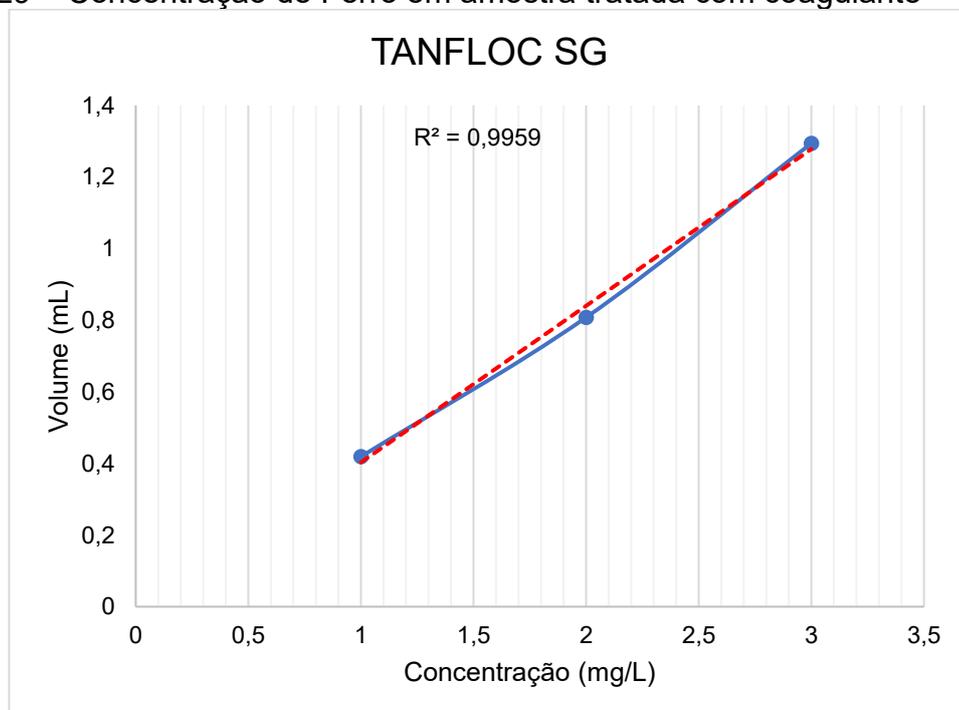
Figura 28 – Concentração de Ferro DAM Bruta



Fonte: Autora (2023).

O mesmo procedimento fora utilizado para a obtenção do resultado do gráfico abaixo, ilustrado na Figura 29, a amostra tratada somente com o coagulante.

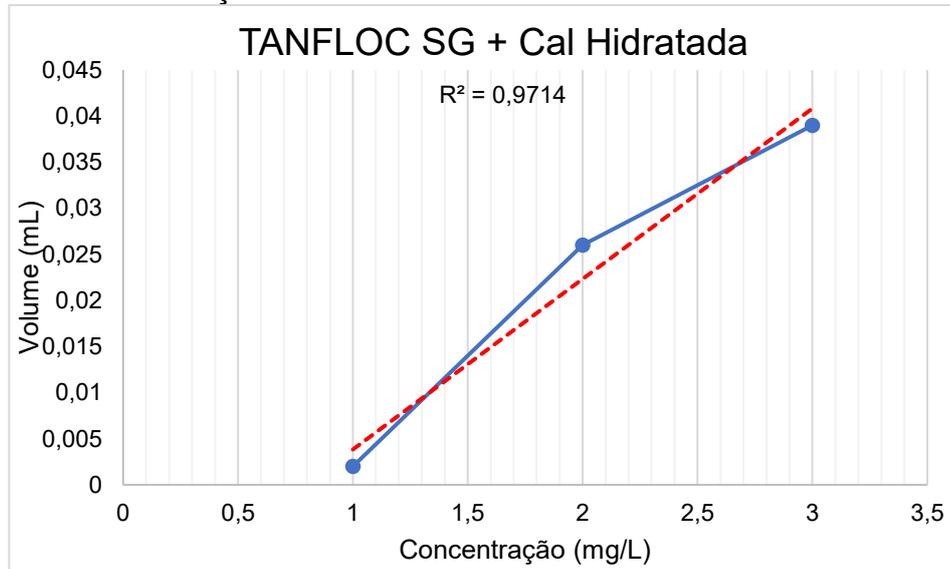
Figura 29 – Concentração de Ferro em amostra tratada com coagulante



Fonte: Autora (2023).

Por fim, a amostra tratada somente Cal Hidratada + TANFLOC – SG, ilustrada na figura a seguir.

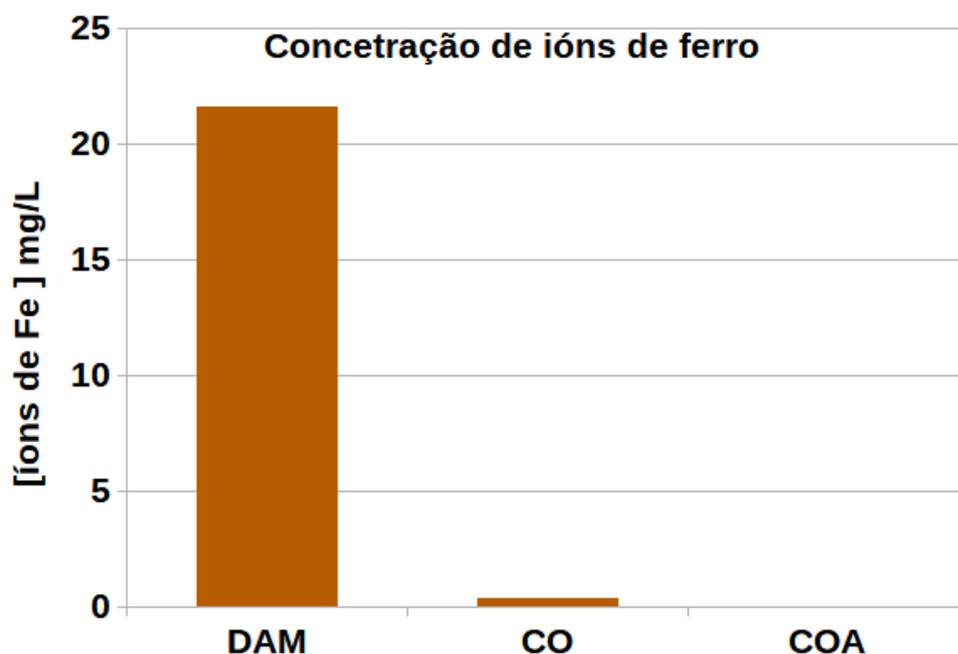
Figura 30 – Concentração de Ferro em amostra tratada com Cal+ TANFLOC.



Fonte: Autora (2023).

Logo convertendo as unidades de mL para Litro, multiplicando-se os resultados pelas respectivas concentrações o fator de diluição encontrado foi de $F_d = 10$. Encontrando-se assim os valores correspondentes para cada amostra, os valores utilizados como forma de comparação com a literatura e até mesmo a legislação foram dos balões com a alíquota de 1mL de cada amostra.

Figura 31 - Concentração de íons de ferro antes e após tratamentos.



Fonte: Autora (2023).

Para amostras de DAM bruta a concentração média encontrada foi de 21,65 mg/L (Figura 31). Já nas amostras tratadas apenas com coagulante a concentração média de íons ferro foi de 0,39 mg/L. A remoção do íon de ferro mediante o uso de cal e coagulante concomitantemente resultou em 0,02 mg/L, ou seja, valores inferiores a faixa do limite máximo permitido pelo órgão de legislação ambiental CONAMA 430/2011, mesmo com a ordem dos reagentes tendo sido invertida, demonstrando que não houve impacto significativo no presente parâmetro, obtendo valores satisfatórios após o emprego do tratamento.

Em SANTOS (2020), HORN (2015), ARCER (2012), FARFAN (2004), GUSMÃO (2014), NEPOMUCENO et al (2018), FERREIRO et al (2017), SEGREDO (2014), tais autores não trabalham com a cal em conjunto com o coagulante orgânico, somente com o coagulante orgânico e outra base, geralmente a base utilizada é hidróxido de sódio Na(OH) devido a fatores de ajuste de pH, a base em questão apresenta vantagens em relação ao controle de pH em vista da Cal Hidratada, por tratar-se de uma solução altamente alcalina e manipulada em estado sólido, quaisquer diferença analítica impactam diretamente nos resultados das análises obtidas.

4.7 Difração de Raio – X do Lodo

O resíduo formado pós sedimentação das matérias de suspensão foi obtido, através da filtração da matéria bruta, e das amostras do efluente tratado. E através da difração de raio -x, os dados presentes nas seguintes amostras:

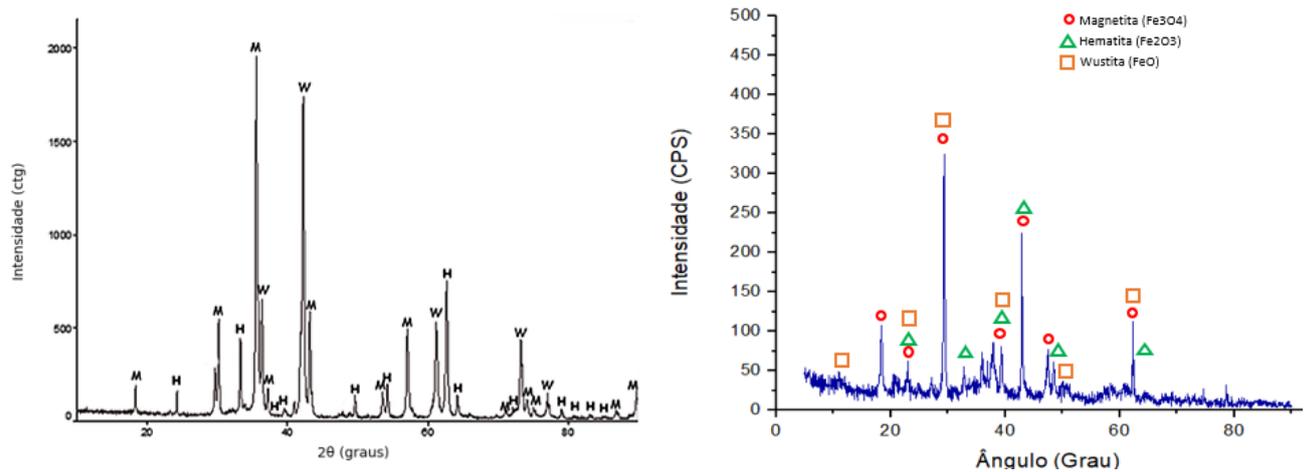
- a) Lodo 3 composto por TANFLOC – SG + Cal hidratada;
- b) Lodo 2 composto somente pelo coagulante
- c) Lodo 1 composto somente pelo efluente bruto – DAM;

Para que fossem identificados os compostos, a Figura 8, mostra as espécies de ferro bem como auxilia na sua identificação. A identificação dos componentes de ferro envolvidos ocorre segundo suas rotações específicas (graus) presentes no eixo das abscissas (eixo x), é através do intervalo presente que se diz se há a presença do material de interesse envolvidas na DRX.

As figuras mostradas a seguir são dos ensaios realizados no presente trabalho. Os gráficos foram gerados com auxílio do software *Origin Lab 2022*. A figura a seguir estão em ordem de obtenção.

Como forma de comparação dos resultados com os gráficos obtidos, gerou-se uma nova figura para comparação dos resultados, isto é, o gráfico da Figura 8 em vista do gráfico obtido experimentalmente para efeitos de comparação e identificação dos compostos.

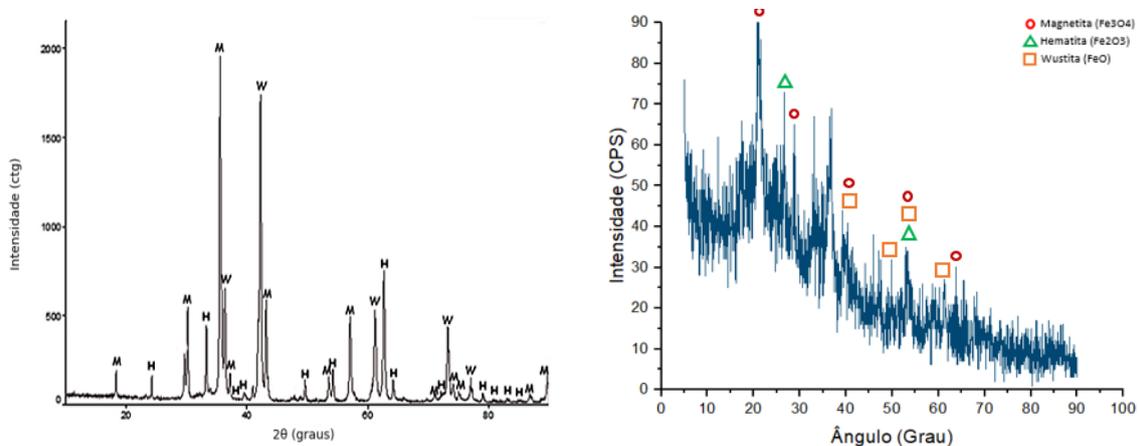
Figura 32 – a) Lodo 3 composto por TANFLOC – SG + Cal hidratada



Fonte: Autora (2023).

Os óxidos identificados através do método de DRX, dependendo do tipo de efluente e dos elementos envolvidos este sinal fica mais claro ou sobreposto, conforme explicação presente no trabalho de Abreu (2019). Na Figura 32, a predominância de fase cristalina permite a identificação dos compostos de Ferro presentes no lodo com maior clareza, isto se deve ao fato de a predominância do material do lodo é de estrutura cristalina, permitindo uma análise mais visual dos compostos.

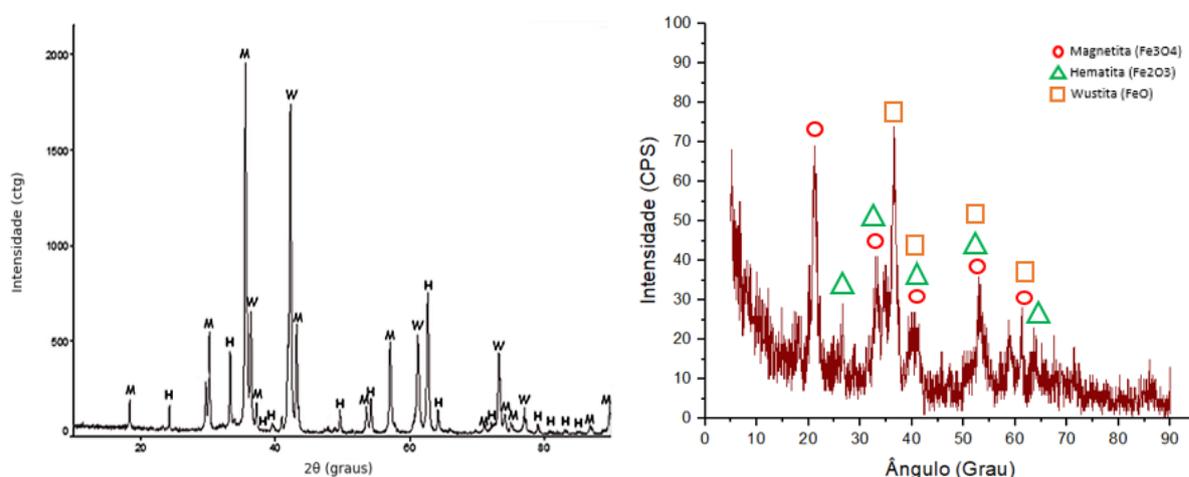
Figura 33 – b) Lodo 2 composto somente pelo coagulante.



Fonte: Autora (2023).

Já na Figura 33, a identificação dos compostos fica difícil e imprecisa e isso se deve ao fato da presença de substâncias orgânicas que segundo autores como ABREU (2019), CALLISTER (2012) e NAKANO (2019) o fenômeno ocorre devido a estrutura orgânica do coagulante (TANFLOC – SG), a estrutura do material confere características amórficas, dificultando a identificação dos compostos presentes, o comportamento visto na figura em questão está exemplificada na Figura 9, a qual tem comportamento semelhante ao resultado encontrado no presente trabalho.

Figura 34 – c) Lodo 1 composto somente pelo efluente bruto – DAM



Fonte: Autora (2023).

Os óxidos identificados na Figura 34, variam menos se em comparação com a Figura 32, isto ocorre devido a presença de metais variados presentes na DAM, porém como o efluente está em sua fase bruta, ocorre um fenômeno de sobreposição de sinais, isto é, há outras espécies no meio que fazem com que as ondas de outras espécies e do elemento de interesse se sobreponham, dependendo das espécies e características do efluente segundo ABREU (2019) a identificação dos compostos pode ser mais ou menos efetiva.

4.8 Massa Específica do Lodo

Segundo CREMASCO (2011) a massa específica é a propriedade de massa por unidade de volume. É através dela que ocorre a classificação dos sólidos, seguindo os critérios abaixo:

- a) Leve ($\rho < 500 \text{ kg/m}^3$): para serragem, coque;

- b) Intermediários ($550 < \rho < 1000 \text{ kg/m}^3$): produtos agrícolas;
- c) Médios ($1000 \leq \rho \leq 2000 \text{ kg/m}^3$): areia, minérios;
- d) Muito pesados ($\rho > 2000 \text{ kg/m}^3$): minérios de ferro ou chumbo;

Os resultados obtidos do efluente tratado conferem características de densidade média para o efluente tratado em escala de laboratório.

Os lodos pós-tratamento obtiveram massas específicas próximas, mesmo com a utilização da Cal Hidratada. O lodo 3 composto por TANFLOC – SG + Cal hidratada teve encontrada-se uma massa específica de $1,220 \text{ g/cm}^3$. Para o Lodo 2, usando somente o coagulante TANFLOC – SG, a massa específica encontrada foi no valor de $1,118 \text{ g/cm}^3$. Comparando com trabalhos que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante as densidades encontradas pelos autores Soares (2013); Macêdo, *et al* (2011) e Pinheiro, *et al* (2014) foram respectivamente de $2,54 \text{ g/cm}^3$, essa diferença entre o tratamento com coagulante orgânico e o coagulante inorgânico ocorre devido a não utilização de sulfato de alumínio, a hipótese em questão, a adição de sais metálicos para tratamento de efluentes podem vir a influenciar na massa específica do resíduo.

Segundo Vaz, *et al* (2010) a utilização de coagulantes/floculantes inorgânicos não biodegradáveis possui inconvenientes como a geração de alto volume de lodo gelatinoso que causam um ciclo de dependência de recursos não renováveis, isto é, dificuldade de eliminação e gastos com armazenamento de resíduos ricos em minérios e gastos com impermeabilização do solo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises após o tratamento de drenagem ácida de minas mostram que amostras tratadas somente com o coagulante tem a melhoria de parâmetros como turbidez (NTU) e a concentração de íons de ferro, contudo, para melhor ajuste a base como a cal hidratada se faz necessária. A dosagem utilizada no presente trabalho $0,9950 \text{ g}$ de Cal hidratada e $0,2554 \text{ g}$ de TANFLOC – SG, elevou o pH da amostra, diminuiu a concentração de ferro presentes no efluente fazendo com que os resultados alcançados encaixassem dentro da Resolução do CONAMA 430/2011 e da Resolução do CONAMA 357/2005. Uma redução dos íons de ferro da mesma grandeza

foi encontrada com o uso apenas de coagulante apesar do meio continuar ácido, este fato sugere que novos e mais aprofundados estudos sejam realizados a fim de explicar este fenômeno.

O oxigênio dissolvido diminuiu na amostra tratada com o coagulante + cal hidratada, aumentar o tempo de agitação e a velocidade de rpm no Jar-Teste seria uma alternativa viável para verificar a possibilidade de melhoria no parâmetro.

Com outros parâmetros como sólidos totais dissolvidos tratados com cal hidratada+ TANFLOC-SG (pH de 8,81) e somente TANFLOC - SG (pH de 2,37) não houve diferenças significativas entre eles embora o pH de ambos os tratamentos obtiveram consideráveis diferenças.

O uso da cal apesar da dosagem de 0,9950g nos ensaios realizados demonstrou ser o limite máximo que pode utilizar-se do reagente, pois qualquer pequena variação da dosagem ocorria o acúmulo de Cal hidratada no lodo pós decantação, ocorrendo uma pequena formação de gesso.

Já visando o reaproveitamento de resíduos gerado no tratamento, mediante os resultados de difração de Raio-X verificou-se a presença de óxidos de ferro, tais materiais podem ser reaproveitados na indústria da cerâmica ou até mesmo como combustíveis de alto fornos, seriam alternativas viáveis e seguras visto que a DAM possa possuir mais metais perigosos e na cerâmica esses materiais não ofereciam riscos.

Cabe salientar que maiores estudos quanto ao uso de coagulantes orgânicos para tratamento da DAM, especialmente em relação à remoção de diversos íons metálicos, tanto a caracterização mais detalhada do lodo resultante devem ser realizados.

Para trabalhos futuros, a sugestão para pesquisas posteriores e para complementar os resultados são:

- Testar o Na(OH) no lugar da cal a fim de comparar os parâmetros físico-químicos.
- Utilização do lodo da DAM para pigmentos à base de ferro ou óxidos.
- Tratamento de DAM com Biorreatores.
- Influência da densidade do lodo na disposição dos resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, I. S. **Obtenção de um coagulante férrico por precipitação seletiva a partir da drenagem ácida de minas da mineração de carvão**. LUME Repositório Digital, [online], Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/110102>. Acesso em: 03 mai. 2023.

AVELINO, I. I. F. **Estudos ambientais em bacias hidrográficas: a utilização do modelo força motriz, pressão, estado, impacto e resposta**. Repositório Institucional da Universidade Federal do Ceará – UFC. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/45145>. Acesso em: 11 jan. 2023.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Carvão Mineral**. 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/2-2-carvao>. Acesso em: 15 fev. 2022

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA**. Resolução CONAMA nº 430/2011. 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Anuário Mineral do Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/rio-grande-do-sul/anuario-mineral-estadual-rio-grande-do-sul-2018-ano-base-2017>. Acesso em: 12 fev. 2022

BOMFIM, A. P. D. S. **Avaliação dos coagulantes TANFLOC em comparação aos coagulantes inorgânicos a Base de Alumínio no tratamento de água**. Universidade de Ribeirão Preto. 2015. [online] [s.]. Disponível em: <https://dspace.unaerp.br/handle/12345/246?show=full>. Acesso em: 05 fev. 2023.

CAETANO, *et al.* **Ecotoxicity tests with *Allium cepa* to determine the efficiency of rice husk ash in the treatment of groundwater contaminated with benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene**. Environmental Science and Pollution Research, v 25, p. 12849–12858, 2018. Disponível: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29476372/>. Acesso em: 20 fev. 2022

CALLISTER JR. , W. **FUNDAMENTOS DA CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**. Ed. 9. LTC. 2012.

CORRÊA, A. **Aspectos e Impactos Ambientais: Efluentes Industriais**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 05. Ano 02, Vol. 01. pp 807-825, julho de 2017. ISSN:2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/impactos-ambientais>. Acesso em: 20 fev. 2022

CHUI, *et al* . Qualidade de medições em química analítica. Estudo de caso: experiência de cádmio por espectrofotometria de absorção atômica com chama. **Química Nova**. v. 24. p. 374-380. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000300014> . Acesso em: 03 fev. 2022.

DE MATOS, A. T. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. Editora UFV. 2020. [online] [s.]. Acesso em: 05 fev. 2023. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5313>. Acesso em: 05 fev. 2023.

FARFAN, J. R. J. Z.; FILHO, O. B.; SOUZA, V. P. **Avaliação do potencial de drenagem ácida de rejeitos da indústria mineral**. CETEM/ MCT, 2004.

FERREIRO, B. W; *et al*. **Estudo da alcalinidade total e pH de coagulação após ensaio de tratabilidade realizados com coagulantes de natureza orgânica e inorgânica**. 2017. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/I-348.pdf> Acesso em: 05 fev. 2023.

FLORES, E. M. **Utilização de amostras ambientais das regiões de Candiota e Charqueadas (RS) como bioindicadores de poluição**. Universidade Federal de Santa Maria RS, (tese M.S.).1992. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/19805098279>. Acesso em: 01 mar. 2022

FRAISOLI, D. **Tratamento físico e químico de efluente de laticínios com o uso de coagulantes orgânicos**. Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. Jul. 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12158>. Acesso em: 11 jan. 2023.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf. Acesso em: 05 fev. 2023.

GASPAROTTO, F.A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Repositório de Teses da Universidade de São Paulo – USP. [online]. 2011. Disponível em: <https://www.theses.usp.br/teses/disponiveis/64/64133/tde-06072011-104010/en.php>. Acesso em: 11 jan. 2023.

GOLDANI, E. **Utilização De Argilas Na Remoção De Mn E Fe De Efluentes Gerados Pela Atividade Mineradora De Carvão**. Programa De Pós-Graduação – Repositório Da Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul – UFRGS. 2007. [online]. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11276>. Acesso em: 05 fev. 2023.

GUSMÃO, A. D. S. **Uso de Taninos no tratamento de águas de abastecimento**. Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS. Porto Alegre. 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/109719>. Acesso em: 11 jan. 2023.

HIDALGO, R. J. D; *et al.* **New insights into iron-gall inks through the use of historically accurate reconstructions**. Springer Open, v. 6, n. 1. p. 1-15.[*online*] Nov. 2018. Disponível em: <https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-018-0228-8>. Acesso em: 11 jan. 2023.

HORN, M. **Remoção de material da drenagem ácida de minas por precipitação química por troca iônica com zeólita NaP1**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/130089>. Acesso em: 10 mar. 2022

INAP. **The Global Acid Rock Drainage Guide** – Gard Guide. Disponível em: <http://www.gardguide.com>. [*online*]. Acesso em 05 mar. 2022.

JUSTINA, M. D. **APLICAÇÃO DE TANINO VEGETAL COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS E GESTÃO DO LODO PARA APLICAÇÃO AGRONÔMICA**. TESE DE DOUTORADO – UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 2017. [*online*] [s.]. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1546/Disserta__o_Marciel_Dela_Justina_15688146127876_1546.pdf. Acesso em: 05 fev. 2023.

KONTOPOULOS, A. **Acid mine drainage control**. Universidade de Concepción, Concepción. p. 27-42. ISBN 956-227-158-7. Jan. 2004. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/679748>. Acesso em: 18 mar. 2022

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores**. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2000, 103 p. Acesso em: 05 mar. 2022.

KRUG, F. J *et al.* **Fundamentos de Absorção Atômica e atomização com chama**. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Jun.2004. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2022.

KLUM; A. K; FARIA; V. O.L. PRODUÇÃO DE COAGULANTE VEGETAL CATIONICO A PARTIR DE CASCAS DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS TERETICORNIS). **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**. v. 22. n. 1.p.71-80. 2012. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/index.php/vetor/article/view/2009>. Acesso em: 05 fev 2023.

MACÊDO, A. J. B; BAZANTE, A. J; BONATES, E. J. L. **Seleção do método de lavra: arte e ciência**. Rem: Revista Escola de Minas, v. 54, n.3, p. 221-225. [*online*]. Jul. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000300010>. Acesso em: 11 jan. 2023.

MACHADO, L. A. **Ensaio estáticos e cinéticos para a prevenção da geração de drenagem ácida de minas na mineração de carvão com cinzas de termoelétrica e escória de aciaria**. Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do

Sul – UFRGS. [online]. 2007. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10974>. Acesso em: 17 abr. 2022.

MACÊDO, A.N.; *et al.* **ANÁLISE ESTATÍSTICA DO COMPORTAMENTO MECÂNICO À COMPRESSÃO DO COMPÓSITO CIMENTO – MADEIRA**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v.16. n.2. 2011.

MENDES; *et al.* **Conceitos de Espectroscopia de Absorção Atômica**. Universidade Federal de Porto Alegre – UFRGS. [online]. 2009. Disponível em:
https://www.ufrgs.br/leo/site_espec/bibliografia.html. Acesso em: 07 fev 2023.

MATÍNS, D. T. **Aplicação Do TANFLOC SG No Tratamento De Efluente De Uma Unidade Industrial De Produção De Condimentos**. [online],[s.]. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mossoró. 2020. Disponível em:
https://www.uern.br/controladepaginas/mestrado-dissertacoes-defendidas/arquivos/22121_dissertaa%E2%80%A1a%C6%92o_de_mestrado_danni_el_targino_martins.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

MORESCO, A. M; *et al.* **APLICAÇÃO DE CAREPA DE AÇO PARA DEGRADAÇÃO DE 2,4-DINITROFENOL POR MEIO DE SISTEMA DE OXIDAÇÃO AVANÇADA DO TIPO FENTON**. Revista de Processos Químicos. V.26. n.2. [online]. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019025>. Acesso em: 05 fev. 2023.

NAKANO, F. P. **Obtenção De Microesferas Quitosana/Taninos Extraídos Da Casca De Eucalyptus Urograndis Para Utilização Piloto Na Tratabilidade Físico-Química De Água Bruta Com Turbidez Entre 100-110 NTU**. Dissertação de Mestrado em Novos Materiais e Química Fina - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo – USP. Lorena. 2016. [online]. Disponível em:
<https://10.11606/D.97.2016.tde-22092016-154309>. Acesso em: 05 fev. 2023.

NAPOLITANO, H. B.; *et al.* **Análise da difração dos Raios X**. **Revista Processos Químicos**. v. 1. n. 1. p. 35-45. 2 jan. 2007. [online]. Disponível em:
<https://doi.org/10.19142/rpq.v01i01>. Acesso em: 05 fev. 2023.

NICKING, M. A. **Separação Via Flotação Por Ar Dissolvido De Microalgas (*Scenedesmus Sp.*) Cultivadas Em Uma Água Residuária Da Mineração De Carvão**. Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/193995>. Acesso em: 11 jan. 2023.
OLIVEIRA, A.D.N, *et al.* **Bio-extração de metais de base a partir de sucata eletroeletrônica**. **52º Congresso Brasileiro de Química**. 2012. Disponível em:
<https://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/13/1481-14687.html>. Acesso em: 11 jul. 2022.

NEPOMUCENO, Thiago C. FERREIRA, Weruska B.; PAIVA, William; DINIZ, Tarciana R.; SANTOS, Whelton. B. [s.l.]: **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.110-123, 2018. Disponível em:
<<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0011>>.05 fev. 2023.

POSSA, M. V.; SANTOS, M. D. C. **Tratamento de drenagem ácida de mina por processo de neutralização controlada**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, dez. 2003. CT – 2003-074-00. Contribuição Técnica elaborada para o Seminário Brasil-Canadá de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas. 2003: Florianópolis. Disponível em <<https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2003/CAC00740003.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2023

PARK *et al.* A review of recent strategies for acid mine drainage prevention and mine tailings recycling. In *Chemosphere*). Elsevier BV. v. 219, p. 588–606. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.053>. Acesso em: 15 mar. 2022.

PETERSON, M. **Produção De Sulfato Ferroso A Partir Da Pirita: Desenvolvimento Sustentável**. Dissertação de Doutorado - Repositório Institucional da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2008. [online]. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91664>.

PINHEIRO, B. C. A., ESTEVAO, G. M., SOUZA, D. P. **Lodo Proveniente Da Estação De Tratamento De Água Do Município De Leopoldina, Mg, Para Aproveitamento Na Indústria De Cerâmica Vermelha Parte I: Caracterização Do Lodo**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 19. n. 3. p. 204-211. Set.2014.

RIGUETO, Y. R. **Determinação de ferro em água fluvial na bacia do Córrego Sujo–Teresópolis por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS**. Repositório Institucional da Universidade Federal Fluminense – UFF. 2014.

SANTA HELENA, R.D. **Estudo cinético e termodinâmico da utilização do tanino de acácia negra (Acacia mearnsii) na remoção de metais nobres para o processo de reciclagem de placas de circuito impresso**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Ago. 2009. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3137>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SCAPIM, L. B , DE PAULA, S., FERREIRA, J., DE ALMEIDA III, P. R . **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOMAGNETITA PELO PROCESSO DE COPRECIPITAÇÃO**. CEFET MG - Departamento de Engenharia Produção Civil. The Journal of Engineering and Exact Sciences. 3. 2017. [online] [s.]. DOI:10.18540/jcecvl3iss8pp1182-1191. Acesso em: 05 fev. 2023.

SCHNEIDER C.H. **Caracterização do Impacto Ambiental e Tratamento da Drenagem Ácida de Minas com Resíduos Alcalinos na Mineração de Carvão de Santa Catarina: Mina Um Il Verdinho, Criciúma**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 128p. 2006. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/212987/001117200.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, **Código Estadual do Meio Ambiente, Porto Alegre. Secretaria Estadual do Meio Ambiente**, p.106. 2012. Disponível em:

<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/28093051-codigo-estadual-do-meio-ambiente.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SILVA, L. M. D. **ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O OXIGÊNIO DISSOLVIDO E A MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES AQUÁTICOS DA REGIÃO AMAZÔNICA**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM.(2012). [online]. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3341>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SILVA, V. S. **TINTAS FERROGÁLHICAS: CONTRIBUTOS PARA A SUA CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO NO ESPÓLIO DOS DEMBOS-CAIXA. TESE DE DOUTORADO. UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA – DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**. Jan. 2017. [online] [s./]. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/21498/1/Silva_2017.pdf. Acesso em: 05 fev. 2023.
SIMATE, G. S; NDLOVU, S. **Acid mine drainage: Challenges and opportunities**. Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier BV. v. 2, n. 3, p. 1785-1803. Set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.07.021>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SKOUSEN, J; HILTON, T.; FAULKNER, B. **Overview Of Acid Mine Drainage Treatment With Chemicals**. Acid Mine Drainage Control And Treatment,Ed. 2, cap. 23, p. 237-47. West Virginia University / National Mine Land Reclamation Center, West Virginia., 1996. [online]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237648554_Lime_Treatment_of_Acid_Mine_Drainage_in_Canada. Acesso em: 21 mar. 2022.

SOARES, L. A. **UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE ETA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás – UFG. 2013.

SEGREDO, Arthur. E. A. E. **Proposta de um sistema passivo para o tratamento da drenagem ácida de mina gerada no depósito de rejeito de Capão da Roça, Charqueadas/RS-Copelmi Mineração LTDA LUME - Repositório Digital, [online]. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Mestrado em Engenharia, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/143599>. Acesso em: 11 jan. 2023.**

SOUZA, R. F. **Comparação do comportamento do pH e outros parâmetros em drenagem ácida de Minas (DAM) mediante o uso de Ca (OH) 2 e coagulante orgânico**. Repositório Institucional da Unipampa – UNIPAMPA. 2022. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/7039>. Acesso em: 17 abr. 2022.

TEJADA, L. S. **SINTESE E DESEMPENHO DA LIGNINA CATIONICA COMO FLOCULANTE PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM. [online]. 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/26732/DIS_PPGCTA_2022_TEJADA_LUMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 05 fev. 2023.

TCHOBANOGLOUS, G.; et. al. **Engenharia de Águas Residuais: Tratamento e Reuso** Ed. 4 McGraw –Hill, 2003

UGGIONI, T.B. **Obtenção de bissulfitos de sódio a partir do concentrado piritoso proveniente do beneficiamento do carvão mineral**. Periódicos da Universidade Estadual de Santa Catarina – UNESC. Dez. 2016. [online]. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/5030>. Acesso em: 21 mar. 2022.

VALE. **Qual a importância da mineração para a economia do país?** [online]. Jul.2017. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/qual-a-importancia-da-mineracao-para-a-economia-do-pais.aspx>. Acesso em: 18 jan. 2022.

VALENTE, J. P. S., PADILHA, P. M., & SILVA, A. M. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP**. Eclética Química, 22, p. 49-66. Revista Científica. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>. Acesso em: 05 fev. 2023.

VAZ, L. G. DE L.; et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, n.35(4), p. 45–54. 2010. [online]. Disponível em: <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v35.4.2010.p45-54>. Acesso em: 05 fev. 2023.

WAHLSTROM, R.; et al. Lignin cationization with glycidyltrimethylammonium chloride aiming at water purification applications. **Industrial Crops & Products**. n.104. p. 188–194. (2017). [online] [s.l.]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.026>. Acesso em: 05 fev. 2023.

WEILER, J.; et al **Processamento de rejeito de carvão visando a redução de custos no tratamento da drenagem ácida de minas-estudo de caso na região carbonífera de Santa Catarina**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre. Artigo Técnico. [online]. Abril-Junho. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016116411>. Acesso em: 11 jan. 2023.

ZUCCARI, M. L. **A digestão pelo calor de diluição e a determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em águas e efluentes**. Repositório Institucional da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP. Jun. 1996. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101844>. Acesso em: 18 mar. 2022.