



LARISSA OLIVEIRA GONÇALVES FERNANDES

**ADEQUAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL DA EMPRESA RHI MAGNESITA PARA
REÚSO NOS PROCESSOS INTERNOS**

**LAVRAS-MG
2023**

LARISSA OLIVEIRA GONÇALVES FERNANDES

**ADEQUAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL DA EMPRESA
RHI MAGNESITA PARA REÚSO NOS PROCESSOS INTERNOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Ronaldo Fia

Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Fernandes, Larissa Oliveira Gonçalves.

Adequação do Tratamento de Efluente Industrial da empresa
RHI Magnesita para reúso em seus processos internos. / Larissa
Oliveira Gonçalves Fernandes. - 2023.

46 p.

Orientador(a): Ronaldo Fia.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Impactos Ambientais. 2. Qualidade Ambiental. 3. Qualidade
de Água. I. Fia, Ronaldo. II. Título.

LARISSA OLIVEIRA GONÇALVES FERNANDES

**ADEQUAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL DA EMPRESA
RHI MAGNESITA PARA REÚSO NOS PROCESSOS INTERNOS**

**ADEQUACY OF THE INDUSTRIAL EFFLUENT TREATMENT OF THE
COMPANY RHI MAGNESITA FOR REUSE IN INTERNAL PROCESSES**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em: 25 de janeiro de 2023.

Dr. Ronaldo Fia UFLA

Dr. Mateus Pimentel de Matos UFLA

Dra. Paula Peixoto Assemany UFLA

Prof. Dr. Ronaldo Fia

Orientador

LAVRAS

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus por tornar este sonho possível!

Agradeço aos meus pais pelo apoio e pelo incentivo nos momentos difíceis. Vocês são minha base!

A minha família, obrigada pelas orações e torcida.

Aos meus amigos da UFLA, obrigado por todos os momentos que passamos juntos, sentirei muitas saudades.

A RHI Magnesita e aos meus colegas de trabalho, muito obrigada por permitir o desenvolvimento deste estudo.

A todos os professores que me auxiliaram durante toda essa jornada, em especial ao Professor Ronaldo Fia que me acompanhou desde quando entrei na faculdade, obrigada por todos os ensinamentos transmitidos e por me ajudar a trilhar meu caminho na UFLA.

RESUMO

A conscientização ambiental atrelada às obrigações legais e a melhor imagem da empresa perante a um mercado que se torna cada vez mais competitivo, faz com que as instituições ampliem progressivamente sua atuação e responsabilidade frente à utilização de recursos naturais. Sob essa perspectiva, o tratamento de efluente industrial se tornou uma obrigação para as indústrias geradoras, em que se trata de uma ação básica para as empresas que buscam a certificação de qualidade ambiental em seus processos internos. Sendo assim, o presente trabalho objetiva a adequação do tratamento de efluente industrial e seu posterior reúso nos processos industriais da RHI Magnesita, cuja unidade é responsável pelo beneficiamento e tratamento de minério, rico em ferro e alumínio. A metodologia compreendeu a realização de inspeções gerenciais, relatórios fotográficos, análise do fluxograma de tratamento, pesquisas bibliográficas, e a realização de análises laboratoriais, a fim de realizar a caracterização da água captada no Córrego Ponte Alta, antes e após sua utilização no resfriamento de mancais do alto-forno. No cenário atual, o tratamento de efluente industrial é composto somente de tratamento preliminar e primário em que a água captada do Córrego Ponte Alta retorna para o curso d'água em forma de efluente industrial. Sendo assim, a partir da realização da metodologia foram indicadas ações de adequação da estação de tratamento de efluente industrial da unidade. De acordo com a normativa ambiental vigente, os valores apresentados referentes à água bruta, ou seja, antes da etapa de resfriamento dos mancais, apresenta valores de ferro dissolvido ($0,40 \text{ mg L}^{-1}$), alumínio dissolvido ($0,32 \text{ mg L}^{-1}$) e Demanda Bioquímica de Oxigênio ($9,5 \text{ mg L}^{-1}$) fora do padrão para classe 2, visto que as normativas estabelecem $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de Ferro, $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de Alumínio e 5 mg L^{-1} de Demanda Bioquímica de Oxigênio. Dessa forma, visando a alternativa do reúso do efluente industrial da unidade Ponte Alta é necessário a realização de adequações no atual sistema de tratamento de efluente da empresa. A utilização de um coagulante, deve ter o objetivo de promover a decantação dos sólidos dissolvidos e em suspensão e propiciar a remoção do lodo, cujo processo deve ser realizado por meio da instalação de uma descarga de fundo no decantador, o qual irá permitir a limpeza manual. O lodo gerado neste processo deve ser disposto em leitos de secagem, sendo realizada posteriormente sua destinação adequada. Outro aspecto de suma importância é o estabelecimento do regime em bateladas na estrutura do decantador, resultando em um Tempo de Detenção Hidráulica menor. De modo a garantir a eficiência do tratamento de efluentes e seu posterior reúso, recomenda – se o monitoramento constante das variáveis presentes do efluente.

Palavras-chave: Impactos Ambientais, Qualidade Ambiental, Qualidade de Água.

ABSTRACT

Environmental awareness linked to legal obligations and the best image of the company in a market that is becoming increasingly competitive, causes institutions to progressively expand their activities and responsibility regarding the use of natural resources. From this perspective, the treatment of industrial effluents has become an obligation for generating industries, in that it is a basic action for companies seeking environmental quality certification in their internal processes. Therefore, the present work aims at adapting the treatment of industrial effluent and its subsequent reuse in the industrial processes of RHI Magnesita, whose unit is responsible for the processing and treatment of ore, rich in iron and aluminum. The methodology included carrying out management inspections, photographic reports, analysis of the treatment flowchart, bibliographical research, and carrying out laboratory analyzes in order to characterize the water captured in the Ponte Alta stream, before and after its use in cooling blast furnace bearings. In the current scenario, the treatment of industrial effluent consists only of preliminary and primary treatment in which the water captured from the Ponte Alta stream returns to the watercourse in the form of industrial effluent. Therefore, after carrying out the methodology, actions were indicated to adapt the unit's industrial effluent treatment station. In accordance with current environmental regulations, the values shown refer to raw water, that is, before the bearing cooling stage, show values for dissolved iron (0.40 mg L⁻¹), dissolved aluminum (0.32 mg L⁻¹) and Biochemical Oxygen Demand (9.5 mg L⁻¹) outside the standard for class 2, since the regulations establish 0.3 mg L⁻¹ of Iron, 0.1 mg L⁻¹ of Aluminum and 5 mg L⁻¹ of Biochemical Oxygen Demand. Thus, in order to reuse the industrial effluent from the Ponte Alta unit, it is necessary to make adjustments to the company's current effluent treatment system. The use of a coagulant must have the objective of promoting the decantation of dissolved and suspended solids and to facilitate the removal of the sludge, which process must be carried out by installing a bottom discharge in the decanter, which will allow cleaning manual. The sludge generated in this process must be disposed of in drying beds, followed by its proper disposal. Another extremely important aspect is the establishment of a batch regime in the decanter structure, resulting in a shorter Hydraulic Detention Time. In order to guarantee the efficiency of the treatment of effluents and their subsequent reuse, constant monitoring of the variables present in the effluent is recommended.

Keywords: Environmental Impacts, Environmental Quality, Water Quality.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea da unidade Ponte Alta, localizada em Uberaba – MG.	24
Figura 2. Fluxograma ilustrando a geração de efluente industrial na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.	25
Figura 3. Unidade de gradeamento do tratamento de efluentes industriais da Unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.	26
Figura 4. Unidade de decantação do tratamento de efluentes industriais da unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.....	27
Figura 5. Fluxograma referente à localização dos pontos de amostragem do efluente líquido gerado na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.	28
Figura 6. Visualização das etapas de amostragem do efluente industrial da unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita: (a) ponto 1 – efluente industrial gerado no resfriamento dos mancais; (b) ponto 2 – efluente industrial afluente à estação de tratamento de efluentes.....	28

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Valores de vazão do efluente industrial monitorados entre os dias 27 de setembro e 27 de outubro de 2022, na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.	30
Tabela 2. Caracterização da água proveniente do Córrego ponte Alta monitorada no dia 11/07/2022 no tanque de alimentação do sistema de resfriamento dos mancais do forno na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.	31
Tabela 3. Caracterização do efluente industrial monitorado no dia 11/07/2022 na entrada da ETE da unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.	32
Tabela 4. Produtos químicos inorgânicos mais usados para coagulação em processos de tratamento de água e efluentes.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tipos de uso, tratamento recomendado e concentração esperada de alguns parâmetros.	19
Quadro 2. Frequência mínima de monitoramento para reúso da água em processos industriais.	22

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETE	Estaao de Tratamento de Efluentes
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVO	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Gestão dos Recursos Hídricos	15
3.2 Reúso de Efluentes	16
3.3 Reúso Industrial de Efluentes.....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.2 Caracterização da Geração de Efluente Industrial.....	24
4.3 Condições atuais do sistema de tratamento de efluente industrial	25
4.4 Análise quantitativa e qualitativa do efluente industrial	27
4.5 Proposição de melhorias no sistema de tratamento com vistas ao reúso do efluente tratado	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 Avaliação das características do efluente industrial gerado.....	29
5.3 Avaliação da possibilidade de reúso da água de resfriamento dos mancais	35
5.4 Adequações no Tratamento de Efluente Industrial.....	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental é um dos temas mais discutidos nas empresas atualmente, pois os resultados de seus processos produtivos afetam diretamente o meio ambiente. A gestão ambiental que antes era vista como um fator negativo dentro de uma empresa, abre a possibilidade para um retorno financeiro, uma adequação à economia circular e uma melhor imagem da empresa perante a sociedade.

Assim, toda atividade industrial é potencialmente causadora de contaminação. A poluição indica a ocorrência de alterações prejudiciais no meio, seja ele água, ar ou solo. O fato de uma alteração ser prejudicial ou não está, por sua vez, diretamente ligado ao uso que se faz do ambiente. No caso do meio hídrico, a poluição das águas pode ser conceituada como a ocorrência de fenômenos (adição de substâncias ou de formas de energia, modificações no meio) que direta ou indiretamente alteram a natureza de um corpo d'água e assim prejudicam os usos que dele são feitos. É importante destacar que o prejuízo se refere aqui não apenas ao ser humano, mas também à biota aquática, às atividades sociais e econômicas em geral, aos recursos naturais e aos acervos históricos, culturais e paisagísticos (BRASIL, 1981).

Os processos industriais são responsáveis pela produção de efluentes, pois a água captada passa por processos que interferem em suas propriedades, sendo que se esses efluentes não forem tratados adequadamente, causarão poluição ambiental, deterioração dos ambientes naturais e morte da fauna de rios e lagos. Tal fato também leva ao prejuízo econômico, com multas e sanções às indústrias.

O potencial impacto ambiental causado por efluentes líquidos industriais deve primeiro ser controlado pela redução das perdas no processo e, conseqüentemente, do consumo de água e da produção de efluentes. Além disso, é necessário monitorar a eficiência das unidades do sistema de tratamento de efluentes para obter melhor qualidade do efluente tratado. Ademais, a utilização de um sistema de tratamento não deve ter apenas o objetivo mínimo de tratar o esgoto, mas também outros pré-requisitos devem ser atendidos como não apresentar desconforto por ruído ou odor, nem impacto visual negativo.

Os processos de tratamento a serem adotados, bem como as unidades de tratamento a serem empregadas, devem considerar a legislação ambiental; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a mão de obra operacional disponível, a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de

tratamento; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de aproveitamento dos recursos do saneamento, incluindo o reúso dos efluentes tratados (METCALF; EDDY, 2016).

Para Mierzwa (2005), reúso é a utilização dos efluentes tratados nas respectivas estações de tratamento ou, também, o uso direto de efluentes em substituição à água normalmente explorada. Este procedimento contribui para a redução do volume de água captado e do efluente gerado pela indústria. Ainda, o autor afirma que, devido às técnicas de tratamento nas indústrias, um efluente tratado pode ter características físicas, químicas e biológicas equivalentes ou até melhores do que as da água bruta, diferente do que acontece com os efluentes tratados em estações convencionais de tratamento de esgotos domésticos.

A unidade Ponte Alta está localizada no município de Uberaba – MG e é responsável por receber a argila refratária proveniente da extração da Mina Bela Vista. A indústria realiza a preparação do minério por meio de processos de beneficiamento. A necessidade de realizar a prática do reúso na empresa é de suma importância, visto que a água é indispensável para o funcionamento da mesma e com o emprego dessa prática a unidade se torna cada vez mais independente.

A adoção de práticas de reúso já se faz presente nas políticas ambientais de diversas indústrias em função das questões ambientais, econômicas, técnicas ou legais. Portanto, assumir a responsabilidade de reúso de recursos hídricos é de suma importância para que a empresa possa, além de se preparar para a futura cobrança pelo uso da água, já implantado em algumas bacias hidrográficas, atuar com ética perante colaboradores, clientes e sociedade, e trazer uma nova imagem para a conquista de mercados mais exigentes (PINTO *et al.*, 2018).

Diante deste contexto, torna-se importante que o setor industrial avalie o sistema de tratamento de efluentes industrial com a perspectivas de propor soluções para a implantação do reúso de água no processo produtivo.

2 OBJETIVO

No presente trabalho teve-se como objetivo realizar a adequação do tratamento de efluente industrial da RHI Magnesita e propor o reúso do efluente nos processos internos da empresa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Gestão dos Recursos Hídricos

A escassez de água é um problema recorrente no cotidiano da sociedade, a qual vem sendo agravada em virtude da falta de manejo e usos sustentáveis dos recursos hídricos. A demanda por água é sempre progressiva, trazendo em pauta a exploração excessiva desses recursos. A mudança climática é outro fator que provoca variações no ciclo hidrológico, alterando o conceito de constante renovação local agregado à água (ABBAS *et al.*, 2022; EMILE *et al.*, 2022), visto que as alterações no clima podem ser responsáveis pela escassez de água em algumas áreas, pois com a diminuição das chuvas não ocorre a infiltração da água e conseqüentemente não há o abastecimento do lençol freático. Outro aspecto que é de suma importância ressaltar é que a reposição de água pode acontecer em outras áreas devido as mudanças climáticas o que reforça o conceito que a água não se renova constantemente.

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2018), a demanda global por água continuará a crescer significativamente nas próximas duas décadas, sendo que as demandas domésticas e pelo setor industrial provavelmente crescerão mais rapidamente que a demanda agrícola, que é elevada. O uso da água pela indústria, que atualmente representa cerca de 20% do consumo total, é dominado pela produção de energia, responsável por aproximadamente 75% da demanda industrial. A porcentagem restante, 25%, refere-se ao uso da água no setor industrial para fabricação.

Como explica José Graziano, diretor-geral da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), só é possível enfrentar as conseqüências danosas da renitente crise global indo além do crescimento da economia isoladamente, pois “o crescimento agora tem de ser realizado em três dimensões: econômica, social e também ambiental” (ONU, 2017a). Ou seja, tem de ser sustentável. E, nele, a água não pode ser mais coadjuvante, senão protagonista dessa luta intestina entre a vida e a morte de pessoas.

Neste contexto, o tratamento de efluentes torna ainda mais importante, pois é a partir dele que se pode evitar a degradação dos recursos hídricos, e fazer a sua reutilização. No âmbito geral, quanto à qualidade da água, prejudicada por fontes de poluição diversas, destaca-se a poluição causada pelos efluentes industriais, os quais, devido à grande variedade de atividades desenvolvidas pelas indústrias, podem apresentar

em sua composição os mais variados tipos de substâncias, das quais muitas são extremamente tóxicas e podem ter efeitos adversos sobre todos os seres vivos, caso as mesmas atinjam qualquer recurso hídrico (AHMEDA; THAKURA; GOYAL, 2021).

Devido a esse fato, o lançamento de efluentes *in natura* nos recursos hídricos não deve ocorrer, sendo necessário o tratamento adequadamente para que este não resulte em vários problemas socioambientais, e impactos significativos sobre a vida aquática e o meio ambiente como um todo, não existindo um sistema de tratamento padrão para ser utilizado, sendo que esse pode ser adotado observando vários fatores, tais como a disponibilidade de área, clima favorável, características do esgoto, qualidade desejada para o efluente e legislação referente ao local (SALGOT *et al.*, 2017).

O reúso de efluentes é uma alternativa que visa a reutilização da água em processos internos da empresa, de modo a suprir essa grande demanda por recursos hídricos. Além disso, a reutilização da água traz uma série de impactos positivos para as empresas, como economia, sustentabilidade e a menor dependência de recursos naturais além de não correr o risco de suspensão das atividades por escassez (FICO *et al.*, 2022).

Ressaltando a importância do reúso de água para a gestão ambiental, Bernardis (2002) faz o seguinte questionamento:

“Se a própria natureza faz da água um recurso renovável, quando esta é reciclada através de sistemas naturais por diversas vezes, por que o homem, que se beneficia deste recurso, não pode se dedicar ao seu melhor aproveitamento seja através da economia, limpeza ou do reúso planejado?”

3.2 Reúso de Efluentes

O reúso de água consiste no aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A utilização de água residuária tratada pode ocorrer de forma direta ou indireta, por ações planejadas ou não planejadas e para fins potáveis e não potáveis. A Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou em 1973 (WHO, 1973) um documento onde foram classificados os tipos de reúso em diferentes modalidades, de acordo com seus usos e finalidades, a saber:

reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Trata-

se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto in natura;

reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido;

reúso potável direto: ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao baixo custo de água nas cidades brasileiras, ao elevado custo do tratamento e ao alto risco sanitário associado;

reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. Compreende o fluxograma onde o tratamento do esgoto é empregado visando adequar a qualidade do efluente à estação aos padrões de emissão e lançamento nos corpos d'água (WHO, 1973).

Ademais, a técnica do reúso vem ganhando destaque na atualidade alinhando interesses sustentáveis, políticos e governamentais (ANGELAKIS *et al.*, 2018). Entretanto, embora esse assunto esteja sendo discutido cada vez mais entre as empresas, pouco é encontrado base técnica e científica para nortear os projetos neste ramo, por causa das características específicas de cada empreendimento.

Muitas instituições em países sem parâmetros regulamentados para o reúso racional da água proveniente de efluentes baseiam seus conceitos nas Diretrizes para Reúso de Água da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), justamente pela ampla gama de aplicações e critérios nelas dados (USEPA, 2012).

No Brasil, até recentemente, existiam diretrizes muito gerais estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos estimulando o reúso de efluentes tratados (BRASIL, 2005; 2010). Porém, a única orientação nacional vigente com parâmetros específicos para o reúso era a norma brasileira NBR 13.969, criada em 1997, que estabelece classes de reúso e aponta possíveis aplicações para cada classe, bem como recomenda limites para os parâmetros de qualidade considerados relevantes, de acordo

com o uso pretendido (ABNT, 1997). Entretanto, esta era aplicada ao reúso de esgotos domésticos ou para efluentes com características semelhantes a estes. Na prática, o requisito qualitativo é comumente orientado pela qualidade requerida na atividade que irá receber o efluente, pois na indústria cada setor possui suas próprias exigências, em razão da ampla diversidade de segmentos (SCHULZ; HENKES, 2013).

Em 2021, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução nº 503 que define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias (BRASIL, 2021). A normativa não faz menção ao reúso no processo produtivo industrial, mas pode ser considerada um avanço por definir critérios para a disposição de efluentes no solo para o cultivo agrícola com o aproveitamento de nutrientes.

Ainda, em Minas Gerais, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos publicou a Deliberação Normativa nº 65, que estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados (MINAS GERAIS, 2020). A normativa não estabelece diretrizes para o reúso de efluentes industriais, mas sim do uso de esgotos domésticos tratados para uso na indústria.

Segundo a norma, para utilização dos esgotos tratados em processos industriais, a especificação da qualidade da água deverá ser de responsabilidade do empreendedor, conforme os requisitos de qualidade do processo, mas sempre atendendo às normas ambientais e de segurança do trabalho. Não sendo permitida a utilização de água para reúso no processamento e beneficiamento de alimentos.

No Quadro 1 estão apresentadas as recomendações do tipo de tratamento e a concentração esperada de algumas variáveis de qualidade para os diferentes tipos de uso.

Quadro 1 - Tipos de uso, tratamento recomendado e concentração esperada de algumas variáveis de qualidade de água.

Usos	Tratamento recomendado	Valores esperados de algumas variáveis				
		SST	DBO	NH ₃	PO ₄ ³⁻	Coliformes Totais
		mg L ⁻¹				NMP 100 mL ⁻¹
Rega de forragens, sementes	Primário	80	120	NA	NA	NA
Rega de pastagem, jardim público, lagos ornamentais	Lodos ativados e desinfecção	20	20	NA	NA	<23
	Filtro biológico, lodos ativados e desinfecção.	10	10	NA	NA	<23
Aplicações que demandam remoção de nitrogênio	Aeração prolongada e desinfecção	10	10	5	NA	<23
Aplicação agrícola, parque e jardins e recreação de contato primário	Secundário e desinfecção	10	10	5	NA	<2,2
	Secundário, filtração e desinfecção	10	10	5	NA	<2,2
	Secundário, filtro Dynasand e desinfecção	10	10	5	NA	<2,2
Psicultura	Secundário, filtro Dynasand e remoção de fósforo e desinfecção	10	10	1	2	<2,2
Culturas alimentícias, parques, irrigação de pátios escolares e para lagos recreacionais de acesso irrestrito	Processo Bardenpho (remoção biológica de fósforo) e desinfecção	10	10	1	2	<2,2
Recarga de lençóis por injeção no solo e por meio de bacias de recarga	Secundário, filtro Dynasand, adsorção e desinfecção	<2	<2	1	2	<2,2
Torres de resfriamento, água de processo, caldeiras e geradores de vapor	Secundário, filtro Dynasand, adsorção, osmose reserva e desinfecção	<1	<1	<1	2	<2,2
	Secundário, recarbonatação, osmose reversa e desinfecção	<1	<1	<1	2	<2,2

Fonte: Adaptado de Mancuso e Santos (2003).

Conforme observado por Mancuso e Santos (2003), os sistemas de tratamento apresentados no Quadro 1 são apenas recomendações gerais, compilados a partir de diferentes autores, que podem apontar uma estratégia.

3.3 Reúso Industrial de Efluentes

Segundo dados da Organização das Nações Unidas, os setores industriais e de produção de energia combinados retiraram 19% da água doce do mundo, variando de 2% no Sudeste Asiático para 74% na Europa Ocidental em 2010 (UN, 2021). Outra perspectiva sugere que as empresas em sete setores (alimentício, têxtil, energia, indústria, produtos químicos, farmacêuticos e mineração) representam e exercem influência sobre 70% do uso e poluição de água doce do mundo (CDP, 2018).

A demanda global projetada de água entre 2000 e 2050 mostra um aumento de 400% para indústria e um aumento de 140% para geração de energia térmica. Outro estudo prevê quase a duplicação das retiradas de água industrial até 2030, atingindo um percentual de 22% globalmente (WHO, 2021). Além disso, nos últimos quatro anos, embora o número de empresas que relatam metas de redução de água para o Projeto CDP (*Carbon Disclosure Project*) tenha quase dobrado, há um aumento de quase 50% nas empresas que relatam maiores retiradas de água com a expansão da produção, particularmente na Ásia e na América Latina (CDP, 2018). Sendo assim, a possibilidade do reúso de uma parcela, ou mesmo da totalidade dos efluentes industriais é uma ação de suma importância para o correto gerenciamento das águas e efluentes.

A prática do reúso em sistemas industriais proporciona benefícios ambientais significativos, pois permite que um volume maior de água permaneça disponível para outros usos mais nobres. Em certas condições, pode reduzir a poluição hídrica por meio da minimização da descarga de efluentes (HESPANHOL *et al.*, 2006).

O reúso de água pode ser visto como uma ferramenta para alcançar uma economia circular no setor de saneamento, contribuindo assim para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas em 2015 (ONU, 2015). Dentre esses objetivos, o ODS 6 merece atenção especial, pois busca garantir a disponibilidade e gestão sustentável de água potável e saneamento para todos. É importante observar que a meta 6.3 se concentra na melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição e eliminando o desperdício, reduzindo a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura; por último, mas não menos importante, a meta 6.4 visa aumentar significativamente a eficiência do uso da água e reduzir o número de pessoas que sofrem com a escassez de água. Fontes alternativas de água, como o uso de água recuperada,

devem ser consideradas quando se busca uma gestão sustentável da água (VIEGAS *et al.*, 2015)

No setor industrial três categorias de uso de água são dominantes: água de resfriamento, água de alimentação de caldeiras e água de processo. As proporções de água usadas para cada uma dessas três finalidades variam muito de acordo com o setor industrial e o tipo de instalação. Por exemplo, a água usada para resfriamento pode representar até 90% do uso total de água em plantas petroquímicas ou apenas 25% em algumas plantas de processamento de alimentos (MEESE *et al.*, 2022). Os altos-fornos também respondem por uma parcela significativa da produção de águas residuárias, contribuindo com poluição térmica e sólidos suspensos abundantes, variando de 1.000 a 5.000 mg L⁻¹ (DAS *et al.*, 2018).

Segundo a Deliberação Normativa CERH – MG n°65, que estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) , para garantia do padrão de qualidade, o empreendimento deve monitorar a água para reúso por meio de análises laboratoriais que empreguem métodos de análises especificados em Normas Técnicas de Instituições Nacionais e Internacionais reconhecidas, conforme frequência mínima definida de acordo com a vazão estimada para reúso (quadro 2) (MINAS GERAIS, 2020).

Quadro 2 - Frequência mínima de monitoramento para reúso da água em processos industriais.

Parâmetros							
Classe de Vazão	Vazão de Reúso	pH	Coliformes termotolerantes ou <i>E coli.</i>	Ovos de Helmintos	Condutividade Elétrica	Razão de adsorção de sódio (RAS)	Sódio
I	0 a 10 L s ⁻¹	Semanal	Mensal	Bimestral	Semanal	Quadrimestral	Mensal
II	10 a 100 L s ⁻¹		Quinzenal	Mensal			
III	>100 L s ⁻¹		Semanal	Quinzenal			

Fonte: Minas Gerais (2020).

Neste contexto, a qualidade da água utilizada no processo produtivo industrial será de responsabilidade do empreendedor, conforme os requisitos de qualidade do processo e as normas de segurança do trabalho. Para outros fins, por exemplo, para irrigação das áreas verdes e jardins na indústria, a água deve apresentar as características destinadas ao aproveitamento agrossilvopastoril; e para lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; e descargas sanitárias, a qualidade deve ser a mesma para o reúso urbano.

Santos (2014) em sua dissertação sobre reúso de efluente no processo industrial de siderurgia, no qual a água é reutilizada nos trocadores de calor, processo semelhante ao reúso proposto no presente trabalho, o autor afirma “que os circuitos indiretos ou também conhecidos como resfriamento sem contato possuem um tratamento simples e não sofre grandes contaminações, porém deve-se ter conhecimento da qualidade de água local para a devida proteção dos equipamentos que entram em contato com essa água.”

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do local de estudos

A RHI Magnesita é uma multinacional dedicada à mineração, produção e comercialização de refratários. A empresa oferece uma ampla oferta de produtos para a indústria, sendo que sua linha de produtos engloba materiais monolíticos, tijolos convencionais e cerâmicas nobres, cuja função é revestir equipamentos que operam em altas temperaturas. Cerca de 80% de suas matérias primas provém de suas próprias minas, sendo a produção verticalizada.

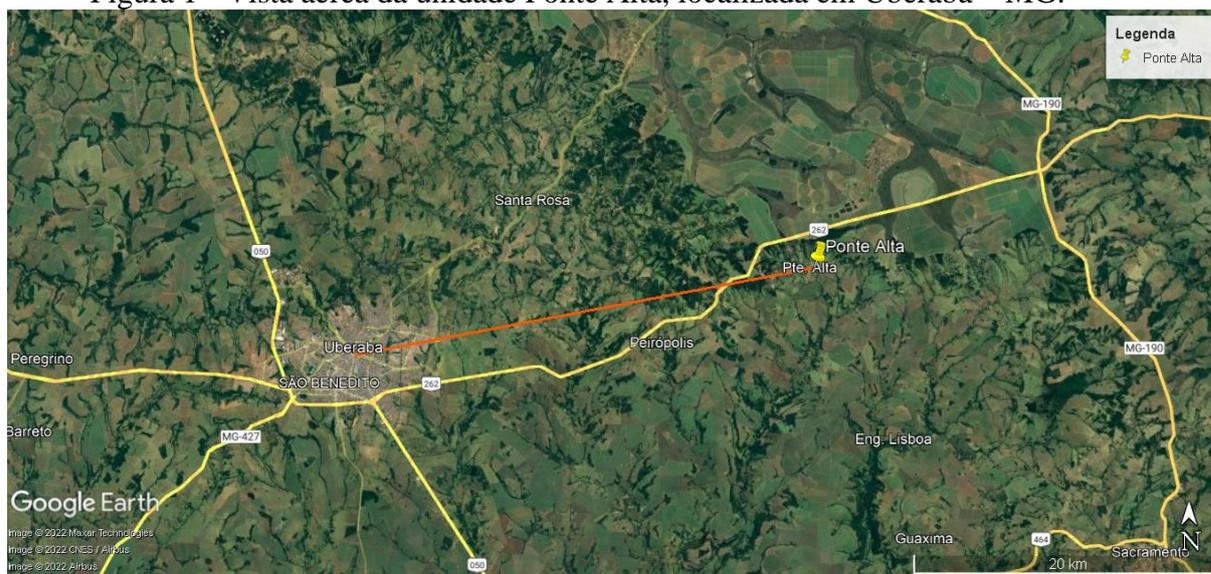
A Companhia tem linhas de produção na Bahia, Rio de Janeiro, Ceará e Minas Gerais. Ademais, a unidade de Ponte Alta, objeto de estudo do presente trabalho, está localizada na zona rural do município de Uberaba – MG, que diferente das outras unidades da RHI Magnesita, apresenta características mais industriais.

A unidade Ponte Alta é responsável por receber a argila proveniente da extração da Fazenda Bela Vista, a qual é armazenada em baias de classificação até ser encaminhada para os processos industriais como o destorroador, peneiramento e briquetador. Após esses processos, os briquetes são encaminhados para fornos, em que as temperaturas podem variar de 440°C até 1.200°C por cerca de oito horas até se transformar em “chamote”. O chamote é encaminhado para um resfriador, cuja temperatura é de 90°C até adquirir características próprias para estocagem e comercialização.

Após este processo, o “chamote” é encaminhado para a formação de lotes de acordo com a qualidade do material, e exportado para unidades internacionais e nacionais a fim de contribuir para a linha de produção de refratários.

Na Figura 1 está apresentada uma visualização aérea da unidade Ponte Alta da RHI Magnesita.

Figura 1 - Vista aérea da unidade Ponte Alta, localizada em Uberaba – MG.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

Atualmente, a RHI Magnesita tem investido na adoção e desenvolvimento de tecnologias que visam a redução dos impactos ambientais frente às suas atividades minerárias. Dentre as diversas políticas ambientais que a empresa preza, algo que vem sendo discutido é em relação ao Uso da Água. Por exemplo, em 2020, foi desenvolvido na unidade de Brumado – BA um programa de reaproveitamento da água, o qual permitiu a recirculação de 98,4% de água nos processos industriais.

4.2 Caracterização da Geração de Efluente Industrial

Para realizar a caracterização do sistema de tratamento do efluente industrial da unidade Ponte Alta, foi realizado visitas mensais a fim de identificar as unidades que compõe o sistema. Dessa forma, foi realizado relatório fotográfico de todas as etapas presentes na ETE, sendo também realizada uma descrição delas.

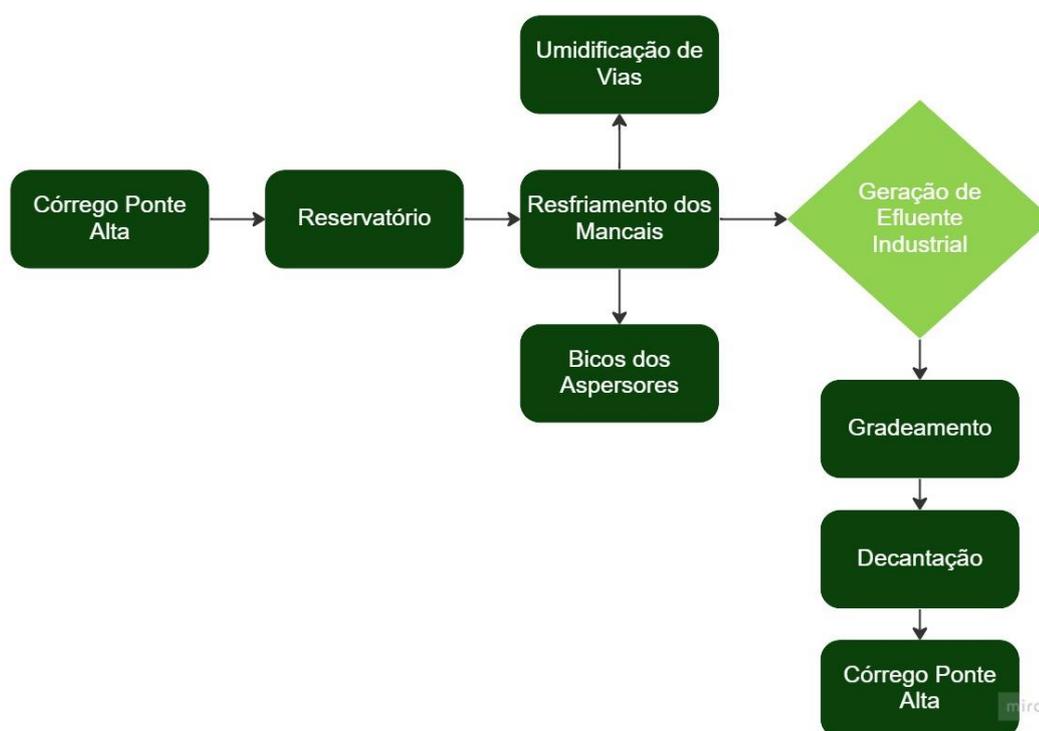
A água utilizada no processo produtivo é captada no Córrego Ponte Alta e armazenada em reservatório e, a partir de uma estação elevatória, a água é conduzida para os processos industriais da empresa. Essa água é utilizada para aspersão de vias (forma de controle de poluição do ar), limpeza de bicos de aspersores e o resfriamento dos

mancais do forno. No entanto, o efluente industrial é originado somente do resfriamento dos mancais.

Após o descarte da água utilizada no resfriamento dos mancais, esta é conduzida por tubulações de PVC de 200 mm até a estação de tratamento de efluentes industrial por gravidade, onde é submetida ao gradeamento e decantação.

Na Figura 2 está apresentado o um fluxograma que ilustra as etapas do tratamento de efluente industrial da unidade Ponte Alta, e a destinação final no Córrego Ponte Alta.

Figura 2. Fluxograma ilustrando a geração de efluente industrial na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.



Fonte: Do Autor (2023).

4.3 Condições atuais do sistema de tratamento de efluente industrial

Atualmente, são gerados em média de 5,13 m³ de efluente industrial por dias provenientes do resfriamento dos mancais. A água utilizada para a umidificação de vias e lavagem do bico dos aspersores é perdida no processo, sendo assim, não retorna para o tratamento de efluente industrial. A geração é contínua (24 h por dia) e o efluente industrial é conduzido para a unidade de tratamento de efluentes, o qual é submetido por processos de gradeamento (Figura 3) e decantação (Figura 4). O efluente é conduzido até o tratamento por uma tubulação de PVC com 200 mm de diâmetro. No canal de alvenaria

com dimensões 1,50 m de comprimento, 1,0 de largura e 0,80 m de profundidade, está instalado um gradeamento simples, tipo malha, confeccionado em ferro, com orifícios de 0,5 centímetros de diâmetro, e 90° de inclinação.

Um aspecto importante a ser ressaltado é que embora a quantidade de areia e solo presente no efluente seja elevada, a ETE não possui um desarenador. E, por vezes, ocorre sedimentação destes no gradeamento.

Figura 3 - Unidade de gradeamento do tratamento de efluentes industriais da Unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.



Fonte: Do autor (2023).

Após a etapa do gradeamento, o efluente segue para a segunda etapa de tratamento de efluente industrial que consiste em um sistema de decantação. Esta etapa realiza a separação sólido (lodo) – líquido (efluente bruto) por meio da sedimentação das partículas sólidas Figura 4).

Figura 4 - Unidade de decantação do tratamento de efluentes industriais da unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.



Fonte: Do autor (2023).

O sedimentador é confeccionado em alvenaria e possui as dimensões 9,70 m de comprimento, 7,00 m de largura e 4,65 m de profundidade. O que resulta em um TDH médio de 61,5 horas. No sedimentador há acúmulo de lodo primário bruto, e a ETE não possui sistema de remoção de lodo, apresentando problemas periódicos de manutenção e sobrecarga. Finalizada a etapa de decantação, o sobrenadante é extravasado para o córrego Ponte Alta.

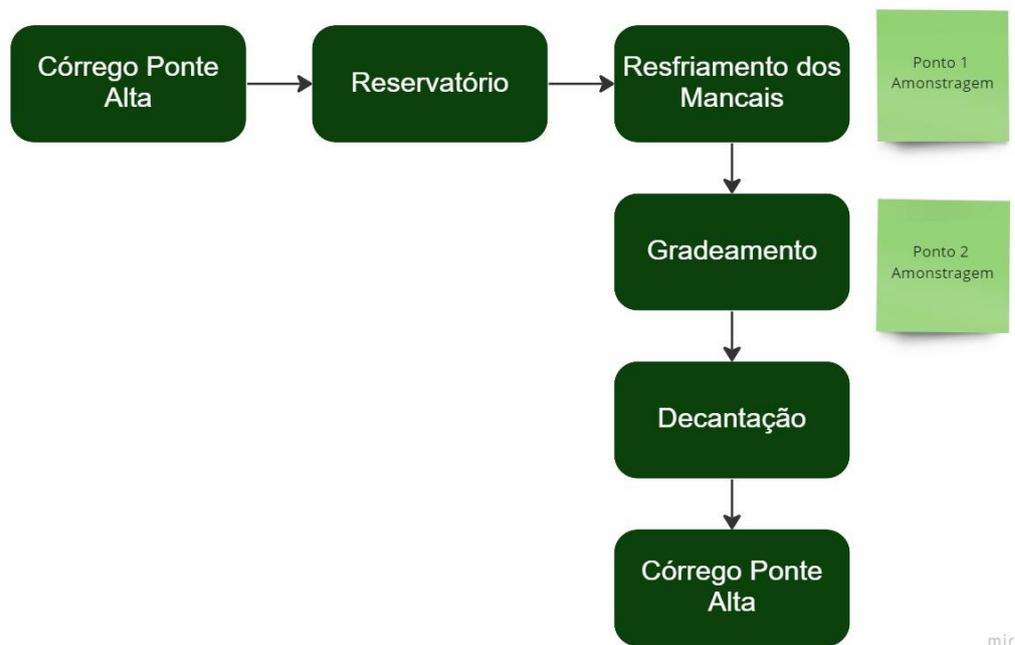
4.4 Análise quantitativa e qualitativa do efluente industrial

Os dados de vazão industrial afluyente à ETE são coletados diariamente pelo método direto, com um recipiente plástico com 10 litros de capacidade e um cronômetro. Para o presente trabalho, durante 30 dias (27 de setembro a 27 de outubro de 2022) e depois foi feita a média dos valores de vazão apresentados no dia.

Bimestralmente, há o acompanhamento da qualidade do efluente gerado a fim de atender suas condicionantes ambientais. No entanto, para se obter uma caracterização mais precisa do efluente industrial, foi realizada uma amostragem em diferentes horários e pontos do sistema de efluentes (Figura 5).

A amostragem foi feita em triplicata, ou seja, em três períodos do dia: às 12, 14 e 16 h, com o objetivo de verificar se haveria alteração da vazão ou qualquer outra mudança na composição do efluente industrial. As técnicas de amostragem e preservação utilizadas neste estudo levaram em consideração APHA, AWWA e WEF (2017).

Figura 5 - Fluxograma referente à localização dos pontos de amostragem do efluente líquido gerado na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.



Fonte: Do aurtor (2023).

O monitoramento in loco foi realizado com o auxílio de equipamentos previamente calibrados, sendo realizadas as análises das variáveis pH de campo, temperatura ambiente e temperatura da amostra in situ. Para a realização das demais análises, as amostras foram coletadas e acondicionadas em frasco adequado fornecido pelo laboratório, sendo posteriormente armazenadas em caixas térmicas com gelo, mantendo-se a temperatura média de 6°C até a sua chegada ao laboratório em um prazo máximo de 24 horas (Figura 6). As análises foram realizadas no Laboratório Bioética Ambiental, acreditado pelo INMETRO.

Para descrever as características do efluente industrial, foram avaliadas as seguintes variáveis: pH de campo, temperatura da amostra (in situ), cor aparente, turbidez, sólidos sedimentáveis (SD), sólidos suspensos totais (SST), óleos e graxas (O&G), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sulfato total (SO_4^{2-}) ferro total (Fe), manganês total (Mn), cobre total (Cu), alumínio total (Al), chumbo total (Pb), mercúrio total (Hg), e surfactantes.

Figura 6 - Visualização das etapas de amostragem do efluente industrial da unidade Ponte

Alta da empresa RHI Magnesita: (a) ponto 1 – efluente industrial gerado no resfriamento dos mancais; (b) ponto 2 – efluente industrial afluyente à estação de tratamento de efluentes



Fonte: Do autor (2023).

4.5 Proposição de melhorias no sistema de tratamento com vistas ao reúso do efluente tratado

A partir dos resultados das análises do efluente industrial foram levantadas propostas de adequação que visam obter uma melhor qualidade do efluente tratado e oferecer melhores condições de funcionamento da estação de modo a garantir a eficiência no processo de reúso do efluente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação das características do efluente industrial gerado

Na Tabela 1 estão apresentados os dados de vazão do efluente industrial proveniente do resfriamento dos mancais do forno tubular monitorados na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita, com valor médio de $5,13 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

Tabela 1 - Valores de vazão do efluente industrial monitorados entre os dias 27 de setembro e 27 de outubro de 2022, na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.

Dia	Vazão (m ³)	Dia	Vazão (m ³)	Dia	Vazão (m ³)
1	4,00	11	2,70	21	4,60
2	7,30	12	3,38	22	5,80
3	3,60	13	6,00	23	2,93
4	6,50	14	5,30	24	4,70
5	4,60	15	7,20	25	6,70
6	3,15	16	6,40	26	6,90
7	6,80	17	7,70	27	2,70
8	4,73	18	2,82	28	6,57
9	5,00	19	4,90	29	5,18
10	6,80	20	5,40	30	3,60

Fonte: Do autor (2023).

No que se refere aos dados de vazão apresentados na Tabela 1, pode se verificar uma variação de valores, tal fato se dá, pois, a captação de água do Córrego Ponte Alta não é realizada constantemente e sim de acordo com a necessidade de utilização e de abastecimento do reservatório que alimenta o sistema de resfriamento dos mancais. Sendo assim, pode-se observar que o efluente industrial gerado vai depender da quantidade de água que foi captada e da necessidade em realizar o resfriamento dos mancais.

De acordo com a Deliberação Normativa CERH n° 09, de 16 de junho de 2004, para as Circunscrições Hidrográficas-CHs SF6, SF7, SF8, SF9, SF10, JQ1, JQ2, JQ3, PA1, MU1, e nas bacias dos Rio Jucuruçu e Rio Itanhém, são consideradas como Usos Insignificantes, as captações e derivações de águas superficiais com vazão máxima de 0,5 litro/segundo e acumulações em volume máximo de 40.000 m³. Para o restante do estado, são consideradas como Usos Insignificantes, as captações e derivações de águas superficiais menores ou iguais a 1 litro/segundo e acumulações de volume máximo igual a 5.000 m³.

Sendo assim, a captação do Córrego Ponte Alta se caracteriza por apresentar dados menores que 10 m³ d⁻¹, ou seja, se caracteriza como uso insignificante. Podendo verificar-se que são dados pequenos de vazão que chegam até a estação de tratamento de efluente industrial. O maior valor apresentado na Tabela 3 é o de 7,30 m³ d⁻¹, o qual ainda se enquadra como uso insignificante de acordo com a Deliberação Normativa CERH n° 09 (MINAS GERAIS, 2004).

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os dados de caracterização da água captada no Córrego Ponte Alta para utilização no resfriamento dos mancais, e do efluente

industrial bruto proveniente processo do resfriamento dos mancais do forno tubular afluente à ETE, monitorados na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.

Tabela 2 - Caracterização da água proveniente do Córrego ponte Alta monitorada no dia 11/07/2022 no tanque de alimentação do sistema de resfriamento dos mancais do forno na unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.

Variáveis	12 h	14 h	16h	média	Classe 2*
Temperatura (°C)	21,4	20,9	20,5	20,9	-
pH	6,1	6,4	6,2	6,2	6 - 9
Cor (UC)	<3,0	5	10	6	<75
Turbidez (NTU)	9,1	22,7	41,9	24,6	<100
SD (mL L ⁻¹)	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	-
SST (mg L ⁻¹)	<10	<10	<10	10	<100
O&G (mg L ⁻¹)	<10	<10	15,2	11,7	VA **
DBO (mg L ⁻¹)	9,5	9,5	9,6	9,5	<5
DQO (mg L ⁻¹)	<20	<20	21	20	-
Surfactantes (mg L ⁻¹)	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,5
Al (mg L ⁻¹)	0,30	0,37	0,29	0,32	0,1
Pb (mg L ⁻¹)	<0,008	<0,008	<0,011	0,009	0,01
Cu (mg L ⁻¹)	<0,011	<0,008	<0,011	0,001	0,009
Fe (mg L ⁻¹)	0,44	0,36	0,41	0,40	0,3
Mn (mg L ⁻¹)	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,1
Hg (mg L ⁻¹)	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	<0,8	<0,8	<0,8	0,8	250

* Padrões de qualidade referentes à Classe 2 de qualidade de águas doces estabelecidos pela DN COPAM/CERH n°08/2022.** VA - virtualmente ausentes.

Fonte: Do autor (2023).

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005 e a DN COPAM/CERH 8/2022, os valores apresentados na Tabela 2 e que se referem à água bruta, ou seja, antes da etapa de resfriamento dos mancais, apresenta valores de ferro dissolvido, alumínio dissolvido e DBO fora do padrão para classe 2. As normativas estabelecem 0,3 mg L⁻¹ de Fe, 0,1 mg L⁻¹ de Al e 5 mg L⁻¹ de DBO, ao que se compara as amostragens realizadas, nota-se que os valores estão acima do padrão de qualidade de água.

A presença desses elementos na água bruta pode ser devido à contaminação do Córrego Ponte Alta por lançamento de efluente doméstico e industrial, à montante do ponto de captação, sem o devido tratamento ou até mesmo a carreamento desses metais e matéria orgânica para o curso d'água por meio do escoamento superficial de áreas

agricultáveis ou mesmo processo de lixiviação dos solos ricos em ferro e alumínio, tendo em vista que o ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, tendo a sua origem na dissolução de compostos de rochas e solos (LIBÂNIO, 2010).

O Triângulo Mineiro, além de possuir relevo aplainado (chapadões), tem predominância de solos muito intemperizados e lixiviados (Latosolos), ácidos (pH entre 4,5 - 5,5), com baixa fertilidade natural, alta capacidade de drenagem e alta concentração de alumínio (geralmente álicos, com ocorrência de caráter ácido). Solos de menor ocorrência que os Latossolos, porém com abrangência na região, são os Cambissolos e Argissolos (FEAM, 2010).

Os Latossolos apresentam textura variando de média a muito argilosa, quando originados de arenitos e basaltos, respectivamente, sendo a mineralogia da fração argila composta basicamente por óxidos de Fe e Al e caulinita, além de quartzo na fração grosseira (FEAM, 2010).

Tabela 3 - Caracterização do efluente industrial monitorado no dia 11/07/2022 na entrada da ETE da unidade Ponte Alta da empresa RHI Magnesita.

Variáveis	12 h	14 h	16h	Média	Padrão*
Temperatura (°C)	20,8	21,6	21,6	21,3	≤ 40
pH	6,1	6,2	6,3	6,2	5 - 9
Cor (UC)	700	400	700	600	-
Turbidez (NTU)	566	36,9	484	362	-
SD (mL L ⁻¹)	<5,0	5,5	5,5	5,3	≤ 1,0
SST (mg L ⁻¹)	1.372	1.646	2.196	2.199	≤ 100
O&G (mg L ⁻¹)	<10	<10	<10	10	≤ 20
DBO (mg L ⁻¹)	79	29	28	46	≤ 60
DQO (mg L ⁻¹)	201	67	66	112	≤ 180
Surfactantes (mg L ⁻¹)	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	≤ 2,0
Al (mg L ⁻¹)	347	268	445	353	-
Pb (mg L ⁻¹)	<0,90	<0,97	<0,92	0,93	≤ 0,1
Cu (mg L ⁻¹)	<0,07	<0,07	<0,09	0,08	≤ 1,0
Fe (mg L ⁻¹)	14,8	10,6	12,5	12,7	≤ 15,0
Mn (mg L ⁻¹)	0,24	0,18	0,20	0,21	≤ 1,0
Hg (mg L ⁻¹)	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	≤ 0,01
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	<0,8	5,1	<0,8	2,2	-

Padrões de lançamento de efluentes tratados em cursos d'água estabelecidos pela DN COPAM/CERH n°08/2022.

Fonte: Do autor (2023).

Verifica-se na Tabela 3 que após ser utilizada no resfriamento dos mancais, a água agrega uma grande quantidade de impurezas, quando comparado a outros processos

produtivos com operações de resfriamento (POHL; LENZ, 2017; COSTAMAGNA *et al.*, 2021), ou mesmo ao esgoto doméstico (VON SPERLING, 2014). Nota-se, em média, valores expressivos de cor, turbidez, sólidos suspensos e matéria orgânica, quando comparado a um efluente de produção industrial (POHL; LENZ, 2017). Em relação aos metais, destacam-se o aumento nos valores de Al, Fe e Mn, entretanto sem alcançar, em média, os limites para o lançamento de efluentes tratados em curso d'água, segundo a DN COPAM/CERH n°8/2022.

Os valores das variáveis analisadas e apresentados pelo efluente após o processo de resfriamento dos mancais não permitem que este seja disposto diretamente em cursos d'água, por ultrapassar os padrões de lançamento quando à concentração de sólidos sedimentáveis (SD) e suspensos totais (SST), bem como a concentração de chumbo.

Apesar de não haver padrão para cor, quanto ao lançamento de efluentes tratados em cursos d'água, o valor elevado dessa variável indica a expressiva presença de sólidos dissolvidos no efluente, sendo que os sólidos dissolvidos contribuem para a dureza. Em relação ao uso industrial de água “dura”, o problema está relacionado à formação de depósitos minerais. Quando a água contendo íons cálcio e bicarbonato é aquecida, forma-se o carbonato de cálcio (CaCO_3) insolúvel e este produto forma incrustações em sistemas de água quente, entupindo tubulações e reduzindo sua eficiência térmica (TANG *et al.*, 2021). Dessa maneira, estabelecer um monitoramento eficiente da qualidade do efluente a ser reutilizado é de extrema importância para o bom funcionamento do sistema de reúso.

De acordo com as análises realizadas para o efluente industrial proveniente do resfriamento dos mancais, notou-se que a turbidez se encontra fora do padrão para qualidade de água para classe 2, que é de 100 UNT, valor da classe de qualidade de referência utilizada na captação para a utilização industrial do córrego Ponte Alta. A turbidez é ocasionada pela quantidade de sólidos, o que explica a alta concentração de sólidos suspensos totais que precisam ser removidos para valores inferiores a 1.000 mg L^{-1} para favorecer o reúso da água (AHMED; AL-JESHI; AL-YOUSEF, 2022)

Os efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas, visto que devido as atividades de mineração, há o aumento excessivos de turbidez provocando alterações no ecossistema aquático (EWUSI; AHENKORAH; AIKINS, 2021). Desta forma, a própria água captada na região pode apresentar, em determinadas épocas do ano, elevada quantidade de sólidos necessitando de tratamento para o uso industrial.

Ademais, é apresentado na DN COPAM/CERH 8/2022 o limite de padrão de lançamento de efluentes tratados em curso d'água de até 100 mg L^{-1} de SST, sendo assim o efluente industrial não poderia ser disposto no ambiente sem tratamento prévio.

Em relação aos valores de Fe e Al, a água captada no manancial já apresentava valores fora do padrão de qualidade para a classe 2 segundo a DN COPAM/CERH 8/2022 ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de alumínio dissolvido e $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro dissolvido). Ao passar pelo resfriamento dos mancais a água agregou ainda mais desses metais, entretanto, não alcançou o padrão de lançamento de Fe (15 mg L^{-1}). Apesar do aumento de cerca de 1.000 vezes em relação ao Al, não há padrão de lançamento segundo a DN COPAM/CERH 8/2022. Houve ainda aumento das concentrações de manganês, da ordem de 7 vezes, entretanto estes não alcançaram o limite de lançamento que é de 1 mg L^{-1} (MINAS GERAIS, 2022).

Analisando as variáveis em desacordo com os padrões de lançamento de efluentes tratados em curso d'água em desacordo com a DN COPAM/CERH 8/2022 e o atual tratamento de efluentes da empresa (gradeamento e decantador), infere-se que ele não seja capaz de tratar o efluente de modo a garantir a qualidade de água necessária para disposição no ambiente, nem para a prática do reúso no resfriamento dos mancais.

Considerando o fato da água residuária apresentar aspectos visuais semelhantes na entrada e saída do tratamento de efluente industrial, além de ser recorrente a problemática do acúmulo de sólidos/lodo na etapa de decantação, supõe – se que o tratamento atual da Estação de Tratamento de Efluente industrial não esteja sendo capaz de reduzir os contaminantes citados acima.

Outro aspecto de suma importância que deve ser trazido em discussão, é que o efluente possui características muito específicas (alto teor de ferro e alumínio), devido à matéria prima que é utilizada na empresa, sendo uma problemática para a questão de reúso da água industrial devido à formação de incrustações e corrosão. Durante as visitas técnicas e inspeções gerenciais na área, foi verificado a possibilidade de o efluente do resfriamento do mancal não ser transportado por meio de tubulação e sim, canaletas. Esse fato justifica a contaminação do mesmo pelas próprias matérias primas utilizadas no processo produtivo.

Objetivando a utilização desse efluente para reúso nos processos internos da empresa, faz-se necessário propor adequações ao tratamento de efluente atual, a fim de se obter uma melhor qualidade da água tratada e evitar problemas no bombeamento e tubulações.

5.3 Avaliação da possibilidade de reúso da água de resfriamento dos mancais

Os resultados do efluente do processo industrial de resfriamento de mancais foram caracterizados por apresentar uma variedade de contaminantes em concentrações variadas, como cor, turbidez, sólidos suspensos totais, DBO, DQO, ferro, alumínio e chumbo, como apresentados na Tabela 5. Se não forem devidamente tratados, esses poluentes podem afetar o descarte de efluentes no meio ambiente ou interferir nas práticas de reúso. A fim de alcançar uma qualidade superior do efluente, sabe-se que há processos passíveis de serem empregados que removem ou reduzem esses contaminantes residuais presentes no efluente final.

Dentre os diversos parâmetros de qualidade que podem ser utilizados para a identificação de aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de sólidos dissolvidos, pode ser o mais adequado. Isto se justifica em razão da concentração de sólidos dissolvidos ser utilizada como um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, comumente utilizados, apresentam para remover este tipo de contaminante (MIERZWA, 2002).

Com base nas diretrizes da ISSO 22449-1 - *Use of reclaimed water in industrial cooling systems - Part 1: Technical guidelines* (ISO - International Organization for Standardization, 2020), a partir dos resultados apresentados na Tabela 5, atenção especial deve ser dada às variáveis DBO e DQO. A matéria orgânica, avaliada sob estas formas, deve estar em valores inferiores a 10 e 30 mg L⁻¹, respectivamente, pois refletem o conteúdo orgânico e a possibilidade de bioincrustação com crescimento de biomassa, e indicam a necessidade de utilização de biocidas oxidantes. A presença dos sólidos também deve ser mais bem avaliada, apesar de não terem sido medidos os sólidos dissolvidos, pelo valor observado para a cor, acredita-se que estes estejam elevados, e se superiores a 5.000 mg L⁻¹, em conjunto com valores superiores a 10 mg L⁻¹ de SST e 3 dS m⁻¹ de condutividade elétrica, podem causar corrosão, incrustação, descamação das estruturas metálicas. Ainda em relação às incrustações, a concentração de Fe deve ser inferior a 0,3 mg L⁻¹.

Além das variáveis descritas anteriormente, deve-se ter o controle, segundo a ISO (2020) sobre os valores de dureza (<250 mg L⁻¹) e alcalinidade (100-500 mg L⁻¹) para minimizar os riscos de incrustação. Ainda como controle de corrosão é importante que a concentração de cloretos seja inferior a 300 mg L⁻¹. Para instalações de aço inoxidável

este valor deve ser inferior a 300 mg L^{-1} . Quanto à proteção sanitária, a quantidade de coliformes fecais deve ser menor que $200 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$.

A concentração de nitrogênio amoniacal deve ser monitorada nas águas utilizadas em sistemas de resfriamento, para minimizar os efeitos de combinação com outros elementos químicos no meio, como o cloreto ($\leq 5 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NH_3), e para não se tornar corrosivo para as ligas de cobre ($\leq 1 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NH_3). Neste contexto, concentrações de fosfato devem ser inferiores a 3 mg L^{-1} para minimizar o potencial de incrustação de fosfato de cálcio em trocadores de calor.

Assim, para implementação de um sistema de reúso, com vistas à minimização dos riscos e impactos negativos no processo industrial, recomenda-se a inserção das variáveis descritas anteriormente que ainda não são avaliadas no rol de análises de rotina do sistema de tratamento e reúso de efluentes para o resfriamento dos mancais.

5.4 Adequações no Tratamento de Efluente Industrial

Visando o reúso do efluente industrial da unidade Ponte Alta é necessário a realização de adequações no atual sistema de tratamento de efluente da empresa.

Partindo do princípio que a seleção de uma determinada operação unitária para a remoção de contaminantes residuais, ou a combinação entre duas ou mais, depende do uso que será feito do efluente tratado; dos contaminantes de interesse; da compatibilidade entre as várias operações unitárias; dos meios disponíveis para o gerenciamento de qualquer subproduto gerado; e da viabilidade econômica e ambiental das operações unitárias com potencial de utilização (METCALF; EDDY, 2016), visa-se aqui estabelecer as melhores unidades de tratamento para o atendimento das necessidades da empresa quanto ao reúso da água.

Pelo fato de o tratamento da água de resfriamento poder ser feito com o emprego de várias técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos (TROVATI, 2004), a escolha do melhor método baseou-se na eficiência, no custo fixo e operacional, nos efeitos ambientais e na mão de obra disponível. Sendo assim, neste tópico serão discutidas e analisadas as adequações que devem ser realizadas no tratamento de efluente industrial da unidade Ponte Alta de forma a reutilizar esse efluente tratado em seus processos industriais de resfriamento.

De acordo com a vazão de efluente apresentada (Tabela 3) ser relativamente reduzida para o tamanho do decantador (aproximadamente 315 m^3 , e TDH de 61,5 h), nota-se que a problemática do sistema de tratamento com o transbordamento constante

do efluente, observado *in loco*, se dá devido à falta de manutenção das unidades, em que o lodo se acumula no fundo da unidade de tratamento diminuindo consideravelmente o tempo de detenção hidráulica. O atual sistema de decantação não possui sistema de remoção de lodo de fundo, por isso, faz-se necessária a instalação de uma descarga de fundo no decantador, de modo a garantir a limpeza manual. A descarga do decantador deve situar-se preferencialmente na zona de maior acumulação do lodo, sendo que o fundo deve ter declividade mínima de 5% no sentido do ponto de descarga. *In loco*, não foi possível observar a ocorrência ou não da declividade de fundo, sendo essencial a sua implantação, se não houver, para melhor manutenção do sistema de tratamento.

Aliada a implementação da descarga de fundo, as limpezas e manutenções no sistema de tratamento de efluente industrial devem ser acompanhadas por meio de uma planilha, de forma a garantir constância nas ações. Em relação a limpeza do gradeamento, elas devem ser realizadas periodicamente por meio da retirada de folhas, galhos e qualquer material que possam obstruir a passagem do efluente para as etapas seguintes de tratamento.

Ademais, com o objetivo de medir a vazão de entrada da estação de tratamento de efluente industrial recomenda – se a instalação de um medidor de vazão.

Após a retirada do lodo, é indicado que este passe por um processo de desidratação antes de ser encaminhado para sua destinação final. Esse processo tem como objetivo reduzir a umidade de forma natural, através de drenagem e evaporação do líquido. O leito de secagem é uma opção adequada e de menor custo ao que se refere ao porte da indústria, a vazão do afluente, estimativa de lodo gerado, além de se ter baixo custo de implantação (CERQUEIRA; AISSE, 2021). Analisando o cenário da unidade Ponte Alta, verifica – se que a mesma dispõe de espaço para a implantação desse sistema, o qual é responsável por tornar o material mais “leve”. Esse processo reduz os custos, uma vez que seu peso influencia no valor cobrado para sua destinação.

A caracterização do lodo deve ser feita de forma a avaliar a melhor alternativa de disposição final.

Ademais, por meio da caracterização do efluente, notou- se a elevada quantidade de sólidos suspensos e a possibilidade de elevada contração de sólidos dissolvidos, percebida pela cor. De modo a remover esses contaminantes propõe- se a utilização de um coagulante no próprio decantador, com o objetivo de promover a coagulação dos sólidos e a sedimentação dos mesmos, constituindo-se o lodo.

Existem vários tipos de coagulantes disponíveis no mercado, porém os mais conhecidos e utilizados estão divididos em quatro grandes categorias: cal; sais de alumínio, tal como sulfato de alumínio, aluminato de sódio, cloreto de alumínio; sais de ferro como sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato ferroso e polímeros.

Tabela 4 - Produtos químicos inorgânicos mais usados para coagulação em processos de tratamento de água e efluentes.

Substância Química	Fórmula	Forma Disponível	pH	Dosagem (mg L ⁻¹)	pH de atuação
Sulfato de alumínio	Al ₂ (SO ₄) ₂	Líquido e massa sólida	3,5	20 a 60	5,5 a 7,0
Cloreto de alumínio	AlCl ₃	Líquido	-	-	-
Hidróxido de cálcio (cal)	Ca(OH) ₂	Pó e pasta	-	-	-
Cloreto férrico	FeCl ₃	Líquido e massa sólida	3 a 4	30 a 80	8,0 a 9,4
Sulfato férrico	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Granular	3 a 4	30 a 80	8,0 a 9,4
Sulfato ferroso	Fe ₂ SO ₄ .7H ₂ O	Granular	-	-	8,0 a 9,4
Aluminato de sódio	Na ₂ AlO ₄	Líquido e Floco	11 a 12	10 a 30	5,5 a 7,0

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto *et al.* (1979), Degani (1981) e Metcalf e Eddy (2003).

Na Tabela 4 estão apresentadas algumas características, apenas orientativas, de alguns tipos de coagulantes utilizados no tratamento de águas e efluentes.

Com a utilização de um coagulante ocorre a formação de flocos e posteriormente a sedimentação. A sedimentação ou decantação é o fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade. (DI BERNARDO, 2005). Os objetivos e aplicações da sedimentação são a retirada de partículas finas como areia, SST e flocos formados por coagulação química de materiais e organismos de difícil sedimentação. A sedimentação também é usada para criar um lodo mais concentrado de sólidos com possibilidade de ser manuseado e tratado mais facilmente (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1979; METCALF; EDDY, 2003). Além disso, acredita-se na redução dos valores de metais que serão removidos por decantação juntamente com os sólidos (AGUIAR; NOVAES; GUARINO, 2022).

Em relação ao tipo de coagulante e a sua dosagem ótima, faz-se necessário a realização de ensaios Jar-Test. Este procedimento, o qual é realizado em laboratórios, simula por meio de aparelhos os processos de coagulação/floculação com diferentes doses químicas, em que as várias concentrações de coagulantes são adicionados ao efluente industrial e as amostras são agitadas, após as sedimentações dos sólidos é observada a menor dose de produtos químicos que proporciona uma sedimentação satisfatória. Tal como o ensaio realizado por Alves *et al.* (2022). Essa etapa do trabalho será desenvolvida em estudos posteriores.

Segundo Vaz *et al.* (2010), ao avaliarem a eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia, verificaram que entre os agentes coagulantes/floculantes testados para a remoção de cor e turbidez do efluente, a quitosana com baixas concentrações, obteve elevadas eficiências, mostrando-se um agente coagulante/floculante mais promissor para o tratamento deste tipo de efluente.

Ao que se refere a utilização de um coagulante químico com o objetivo de sedimentar os sólidos, ele deve ser utilizado na etapa de decantação e sob a influência de um agitador/misturador (DI BERNARDO, 2005). Além de promover melhor homogeneização do efluente, um agitador instalado propiciaria a inibição de deposição de sólidos e matéria orgânica no fundo do tanque e auxiliaria na oxigenação do efluente.

Outro aspecto de suma importância é que se deve realizar a adequação do tratamento de efluente para o regime em bateladas. No qual não há fluxo entrando ou saindo do reator, portanto, com fluxo descontínuo (METCALF; EDDY, 2016). Algumas características como a pequena vazão afluente à ETE, e elevado TDH apresentado faz com que a alternativa de tratamento de efluente por regime em batelada apresente melhor eficiência.

Atualmente, o ETE industrial da unidade Ponte Alta trabalha em regime contínuo e visando sua adequação para o fluxo em batelada, propõe-se a divisão do decantador. Essa separação pode ser realizada por meio de uma parede de alvenaria, em que a mesma será responsável por dividir o tanque existente em outras duas unidades de mesmo volume, para operarem de forma intermitente ou individual, a depender do aumento da geração de efluentes.

Ademais, vale ressaltar sobre a elevada quantidade de ferro e alumínio no efluente industrial, cenário que pode estar sendo resultado da contaminação da própria matéria prima da empresa. Visando a diminuição desses contaminantes, recomenda-se a

realização do mapeamento das tubulações que chegam até a ETE, a fim de diagnosticar possíveis focos de contaminação. O mapeamento de tubulações pode ser realizado a partir de vídeos inspeção, o qual tem por objetivo realizar uma filmagem no interior da tubulação a fim de diagnosticar possíveis problemas e junções.

Por fim, faz – se necessário a instalação de equipamento medidor de consumo energético na bomba da estação de tratamento de efluentes industriais, descentralizando a medição de consumo do restante da planta industrial. Tal ação possui o intuito de controlar custos e analisar irregularidades no consumo energético, facilitando a gestão da ETE.

As adequações propostas no presente trabalho de conclusão de curso, foram estabelecidas de modo a preservar as estruturas já existentes na empresa e solucionar a problemática do tratamento de efluente industrial de forma mais rápida e com custos reduzidos. Foram levantadas propostas de melhorias estruturais no decantador, ideias de gestão e até mesmo a utilização de coagulantes no processo de decantação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado da análise comparativa entre a água bruta responsável pelo resfriamento dos mancais e o efluente gerado do processo, indica a presença de diversos contaminantes no efluente industrial, tais como sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, DQO, DBO, ferro e alumínio. Para utilizar a técnica do reúso, faz-se necessária a realização de adequações e implementações da estação de tratamento de efluente industrial.

A utilização de um coagulante no processo de decantação se mostra como uma alternativa eficiente e sustentável para aumentar a quantidade de sólidos retidos nessa etapa do processo, tendo como resultado uma melhor qualidade do efluente gerado. As adequações estruturais para a instalação da descarga de fundo no decantador são de suma importância de modo a propiciar a limpeza da estrutura e remoção do lodo, em que o mesmo deve ser encaminhado para um leito de secagem.

Outro aspecto relevante é a realização de monitoramentos do sistema de resfriamento tanto físico, químico ou biológico, para evitar problemas como incrustação, corrosão e formação de biofilmes. Por isso, recomenda-se o acompanhamento desses monitoramentos por meio de uma planilha de gestão do processo.

Tendo em vista a qualidade do efluente industrial gerado, recomenda-se a avaliação da utilização do efluente tratado em processos de aspersão de vias e

resfriamento de mancais. Essas atividades que requerem a utilização de água, são desenvolvidas atualmente por meio da captação hídrica do Córrego Ponte Alta. Com a utilização da técnica do reúso nesses processos, haverá diminuição na captação de água e redução de custos referentes à técnica de bombeamento.

De modo a garantir todos os benefícios relacionados ao reúso e mencionados neste trabalho, deve-se estar sempre atento aos monitoramentos realizados no efluente tratado, de modo a garantir que ele não ocasione problemas em tubulações e equipamentos. Além de, ampliar e efetivar a utilização de indicadores de gestão e desempenho dos processos de tratamento de efluentes industrial da Unidade Ponte Alta, os quais são os norteadores de diretrizes para tomadas de decisão e melhorias na unidade.

Do ponto de vista da conclusão do trabalho, as adequações propostas no tratamento de efluente industrial é um trabalho coletivo que requer esforços conjuntos e apoio de todos os níveis da indústria para ser alcançado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASS, K. *et al.* A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 42539-42559, 2022.
- AGUIAR, M. R. M. P. *et al.* Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, v. 25, p. 1145-1154, 2002.
- AHMED, J. *et al.* Industrial Wastewater and Its Toxic Effects. *In*: SHAH, M. P. **Biological Treatment of Industrial Wastewater**, London: Royal Society of Chemistry, 2021.
- ALVES, A. G. T. *et al.* Investigation of new natural coagulant-cationic hemicellulose associated with cationic tannin-for coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) in the treatment of industrial effluent. **Revista Ambiente & Água**, v. 17, 2022.
- ANGELAKIS, A. N. *et al.* Water reuse: from ancient to modern times and the future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, p. 1-17, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 13.969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water and Wastewater Rate Survey**. Denver: Raftelis Finan., 2021.
- BERNARDIS, R. **Novos Conceitos em Tratamento e Reuso de Água**. London: Latin Chemical, 2002.
- BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 31 ago. 1981. p. 16509.
- _____. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de Reuso de Água. *In*: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.
- BUCHWEISHAIJA, J. Phytochemicals as green corrosion inhibitors in various corrosive media: a review. **Tanzania Journal of Science**, v.35, 2009.
- CARLSON, K.H.; KNOCKE W.R.; GERTIG, K.R. Optimizing treatment through Fe and Mn fractionation. **Journal AWWA**, n. 4, v. 89, p.162-171, 1997.
- CARVALHO, D. D. DE; MACHADO, B. J. F. Water reuse for cooling towers – conceptual study: Rio de Janeiro International Airport. **Acta Scientiarum. Technology**, n. 3, v. 32, p. 295-302, 2010.
- CERQUEIRA, P. L. W.; AISSE, M. M. Custos de processamento de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto com reatores anaeróbios de manto de lodo e pós-tratamento aeróbio: subsídios para Estudos de Concepção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 251-262, 2021.

CODAU – Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba – **Plano de Manejo APA do rio Uberaba**. Prefeitura Municipal de Uberaba. Uberaba-MG, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo: Relatório de Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 503/2021**, 2021.

DAS, P. *et al.* Effluent Treatment Technologies in the Iron and Steel Industry-A State of the Art Review: Das et al. **Water Environment Research**, n. 5, v. 90, p. 395-408, 2018.

DISPOSAL INSIGHT ACTION. **Treading Water Corporate Responses to Rising Water Challenges**. London: CDP Worldwide, 2018.

EMILE, R. *et al.* Addressing water scarcity in developing country contexts: a socio-cultural approach. **Humanities and Social Sciences Communications**, n. 1, v. 9, p. 1-10, 2022.

ESLAMIAN, S.; ESLAMIAN, F. A. **Handbook of drought and water scarcity: environmental impacts and analysis of drought and water scarcity**. Flórida: CRC Press, 2017.

EWUSI, A. *et al.* Modelling of total dissolved solids in water supply systems using regression and supervised machine learning approaches. **Applied Water Science**, n. 2, v. 11, p. 1-16, 2021.

FICO, G. C. *et al.* Water reuse in industries: analysis of opportunities in the Paraíba do Sul river basin, a case study in Presidente Vargas Plant, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, n. 29, v. 44, p. 1-15, 2022.

FOFANO, S. **Avaliação de técnicas eletroquímicas na monitoração de corrosão por sulfetos em sistemas de água de resfriamento industrial**. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS – COTEQ, n. 12, Curitiba. Anais... Curitiba, 1999. p.1-5.

HESPANHOL, I. *et al.* **Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

_____, I. Wastewater as a Resource. In: HELMER, R.; HESPANHOL, I. **Water Pollution Control - A Guide to the Use of Water Quality Management**. London: WHO/UNEP, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO-22449-1-2020: Use of reclaimed water in industrial cooling systems – Parte 1: Technical guidelines**, Geneva: ISO, 2020.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010.

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

MEESE, A. F. *et al.* Opportunities and Challenges for Industrial Water Treatment and Reuse. **ACS ES&T Engineering**, n. 3, v. 2, p. 465-488, 2021.

- MELLO, E. J. R. **Tratamento de Esgoto Sanitário**. 2007. p. 99. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) – UNUMINAS, Minas Gerais, Uberlândia, 2007.
- METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBROUTSKY, G. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I. **Água na indústria** – Uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa CERH-MG nº 09, de 16 de junho de 2004. Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**: Belo Horizonte, MG, 16 jun. 2004.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Escassez de água, desafio à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: UNIC, 2017.
- PIMENTA, H. C. D. *et al.* O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas. XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, n. 458, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABREPRO, 2002. p. 1-8.
- PINTO, G. M. C. *et al.* Environmental management practices in industries of Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) from 2011 to 2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 1251-1261, 2018.
- POHL, S. C.; LENZ, D. M. Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. 22, p. 551-562, 2017.
- SALGOT, M. *et al.* Criteria for wastewater treatment and reuse under water scarcity. In: **Handbook of Drought and Water Scarcity**. CRC Press, 2017. p. 263-282.
- SANTOS, A. B. **Reúso de Efluentes no processo industrial de siderurgia**. 2014. p. 91. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.
- SAUTCHÚK, C. A. *et al.* Manual de reúso da Água para as Industriais. In: Federação e centro das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e Reúso de Água**: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo, 2009.
- SCHULZ, C. T.; HENKES, J. A. Reaproveitamento de água da estação de tratamento de efluentes: empresa Intelbras -São José (SC). **Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, n. 2, v. 2, p. 338-384, 2013.
- SOUZA, A. K. R. *et al.* Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **ACTA Biomedica Brasileira. Mato Grosso do Sul**, n. 3, v. 9, 2018.
- TANG, H. *et al.* Reuse solution of hardness industrial circulating cooling water: Targeted ion-selective electro-adsorption by functionalized electrode. **Chemosphere**, v. 280, p. 130748, 2021.
- TOLEDO, R. A. S., **Tecnologia da Reciclagem**. São Paulo: Futura, 2004.
- TOMAZONI, J. C. *et al.* Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas 70 bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v.57, p. 49-56, 2005.
- TROVATI, J. **Tratamento de água de resfriamento**. Araraquara: Corona, 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021**: o valor da água; fatos e dados. p. 11. Brasília, 2021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION. Manual ground-water and leachate treatment systems. *In*: USEPA/R-94/005. **Tratamento anaeróbio de esgotos – Um manual para regiões de clima quente**, Washington, 1995.

_____. Diretrizes para Reuso de Água ; **Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos**. p. 643, Washington, 2012.

VAZ, L. G. L. *et al.* Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, p. 45-54, 2010.

VIEGAS, RMC; Mesquita, E.; Campinas, M.; Inocêncio, P.; Paula Teixeira, A.; Martins, J.; Rosa, MJ **Recuperação de água com microfiltração híbrida de coagulação-cerâmica: Primeira parte de um estudo piloto de longo prazo em Portugal**. **J. Desalinizador de Reuso de Água**. 2015, 5 , 550–556.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1995.

_____, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

_____, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Princípios básicos do tratamento de esgotos, Belo Horizonte: Segrac, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Policy and regulatory aspects**. Geneva: WHO Library Cataloguing-in Publication Data, v.1, 2006.

_____. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva: Technical Report Series, No. 776, 1989.

_____. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva: World Health Organization Technical Report Series, n. 517, 1973.

_____. **UN World Water Development Report**. Geneva: UNESCO, 2021.