

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM**  
**ENGENHARIA HÍDRICA**

**Proposição de Diretrizes para o estabelecimento de um modelo de negócio para  
Reúso de Água de Estação de Tratamento de Esgoto Aplicado à Mineração**

**David Veiga Soares**

**Itajubá (MG)**

**2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROFISSIONAL**  
**EM ENGENHARIA HÍDRICA**

**David Veiga Soares**

**Proposição de Diretrizes para o estabelecimento de um modelo de negócio para  
Reúso de Água de Estação de Tratamento de Esgoto Aplicado à Mineração**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Hídrica.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Hídricos  
Orientadora: Prof.a Dra. Marcia Viana Lisboa Martins  
Coorientador: Prof. Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa

**Itajubá (MG)**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por minha vida, pela minha família e pelo meu trabalho. Aos meus pais pelo amor, ensinamentos, pelas palavras de incentivo, orações, paciência e compreensão.

A minha esposa Rossana por seu amor, por sua positividade e por tornar nossa vida mais alegre.

Aos meus filhos Ian e Luca pelo amor e por entenderem os momentos que precisei me ausentar.

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá UNIFEI pelo curso ofertado que contribuiu com o aprimoramento da minha formação e pelos preciosos professores que essa instituição possui.

Um agradecimento especial à minha orientadora professora doutora Marcia Viana Lisboa Martins e ao meu coorientador professor doutor Valmir de Albuquerque Pedrosa. Tivemos excelentes momentos de discussão, compartilhamento de conhecimento, agradeço também pela paciência e apoio que foram fundamentais para a elaboração desta dissertação.

Ao professor doutor Carlos Barreira Martinez e a professora doutora Marília Carvalho de Melo como avaliadores pela disponibilidade, interesse e contribuição a este trabalho.

Aos profissionais do SAAE de Itabira, em especial a Mayara Divino e ao Hamilton Belchior Duarte Garcia Neto por me receber e apresentar os processos da ETE Laboreaux bem como disponibilizar os dados para esta pesquisa.

A disponibilidade dos amigos e colegas de trabalho, Antônio Mousinho, Breno Brant e Filipe Silveira, que apoiaram e contribuíram com informações para o estudo de caso.

A VALE e minha liderança por apoiar-me no programa do mestrado.

Agradeço aos novos amigos e colegas que fiz na UNIFEI pelos debates e opiniões diversas que ocorreram durante o curso.

Sinceramente o Programa de Pós-Graduação Profissional de Engenharia Hídrica da UNIFEI é diferenciado, deixa saudades e incentiva ao desenvolvimento contínuo do profissional! Muito Obrigado!

## RESUMO

O equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda hídrica tem sido um desafio global. O crescimento populacional e econômico; os eventos de escassez hídrica; a carência de saneamento básico e ambiental; e a governança inadequada têm aumentado a pressão sobre os recursos hídricos, resultando em crises hídricas. No setor da mineração a água é fundamental, seja para o processo produtivo ou para as atividades secundárias. Assim, buscar fontes alternativas e de menor conflito com os demais usuários é requisito para a segurança hídrica do setor produtivo. Uma das oportunidades é fomentar a água de reúso proveniente de efluentes sanitários como fonte alternativa para suprimento dos empreendimentos minerários. A atualização do marco legal do saneamento (Lei 14.026/2020) abre uma oportunidade para a melhoria do saneamento básico e também inclui, como meta, o reúso dos efluentes sanitários. Com isso, nesta dissertação, o objetivo foi propor as principais diretrizes para estabelecer o modelo de negócio do reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto para uso não potável no setor de mineração. Para este propósito, foi feita a revisão bibliográfica e bibliométrica a fim de traçar o panorama atual do reúso de água. As diretrizes para o estabelecimento do modelo de negócio foram elaboradas por meio de adaptação a metodologia Front End Loading (FEL), recomendada para concepção, desenvolvimento, execução e operação de projetos complexos e de grande porte. Como resultado, foram definidas 12 diretrizes principais. Para verificação da aplicabilidade prática destas diretrizes, foi apresentado como estudo de caso a ETE Laboreaux, localizada na cidade de Itabira, Minas Gerais - como produtora e fornecedora da água para reúso - e o Complexo Minerário de Itabira de propriedade da Vale S.A- como usuário desta água. O estudo de concepção do projeto de reúso de água não potável foi elaborado com base nas informações públicas disponibilizadas pela Vale S.A e pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Itabira. As informações foram complementadas com visitas realizadas à campo. Foram analisadas a viabilidade técnica, econômica e ambiental de 5 alternativas, com diferentes arranjos de traçado da adutora e de reservação. A alternativa 2, considerando barramento do Pontal como reservatório da água de reúso, se mostrou a mais viável. O custo estimado considerando o sistema de bombeamento e adutora foi na ordem de 10 milhões. Espera-se que investimentos públicos e privados sejam direcionados para o saneamento de modo a viabilizar a implantação de sistemas de reúso de água.

**Palavras-chave:** economia circular, análise de risco, reúso não potável.

## ABSTRACT

The balancing water availability and demand has been a global challenge. Population and economic growth; water scarcity events; lack of basic and environmental sanitation; and inadequate governance have increased the pressure on water resources, resulting in water crises. In the mining sector, water is essential, whether for the production process or for secondary activities. Thus, seeking alternative sources and less conflict with other users is a requirement for productive safety. One of the opportunities is to promote water reuse from sanitary effluents as an alternative source for supplying mining enterprises. The new law of sanitation (Law 14.026/2020) opens an opportunity for the improvement of basic sanitation, and it includes, as a goal, the reuse of sanitary effluents. So, in this dissertation, the objective was to propose the main guidelines to establish the business model for the reuse of water from wastewater treatment plants for non-potable use in the mining sector. For this purpose, a bibliographic and bibliometric review was conducted to outline the current landscape of water reuse. The guidelines for establishing the business model were elaborated by adapting the Front End Loading (FEL) methodology, recommended for the conception, development, execution, and operation of complex, large-scale projects. As a result, 12 main guidelines were defined. To verify the practical applicability of these guidelines, the Laboreaux WWTP, located in the city of Itabira, Minas Gerais - as producer and supplier of water for reuse - and the Itabira Mining Complex owned by Vale S.A. - as user of this water - were presented as case studies. The conception study for the non-potable water reuse project was based on public information made available by Vale S.A and by the Water and Sewage Service of Itabira (SAAE). The information was complemented with field visits. The technical, economic, and environmental feasibility of 5 alternatives was analyzed, with different layouts of the pipeline and reservoir. Alternative 2, considering the Pontal dam as the reuse water reservoir, proved to be the most feasible. The estimated cost considering the pumping system and adductor was around 10 million. It is expected that public and private investments will be directed to sanitation to make the implementation of water reuse systems feasible.

**Keywords:** water supply, non-potable reuse in mining.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos usos setoriais da água no Brasil (m <sup>3</sup> /s).....	16
Figura 2 - Participação da demanda de água por grupo da mineração (%).....	16
Figura 3- Possíveis fontes, usos e perdas de água na mineração.....	17
Figura 4 - Água e qualidade em função dos tratamentos.....	18
Figura 5 - Reúso de Água no Mundo.....	22
Figura 6 - Desenho esquemático de suprimento de água sem e com reúso.....	27
Figura 7 - Número de artigos publicados.....	44
Figura 8 - Autores mais relevantes.....	45
Figura 9 - Países mais citados.....	45
Figura 10 - Palavras-chave mais citadas.....	46
Figura 11 - Mapa citação de autores.....	47
Figura 12 - Mapa citação de países.....	48
Figura 13 - Mapa cocitação de autores.....	49
Figura 14 - Etapas do estudo.....	56
Figura 15 - Etapas da metodologia FEL.....	57
Figura 16 – Fluxograma das diretrizes para definição do modelo de negócio.....	65
Figura 17 - Hidrografia da área de estudo.....	68
Figura 18 - Sistema de Abastecimento de Água e Tratamento de Esgoto.....	70
Figura 19 – Arranjo geral do Complexo Itabira.....	72
Figura 20 – Espessador.....	74
Figura 21 - Tanque de processo.....	74
Figura 22 - Umectação do minério.....	74
Figura 23 - Umectação do minério.....	74
Figura 24 - Aspersão em vias.....	74
Figura 25 - Lavagem de veículos.....	74
Figura 26 - Fluxograma das captações, manejo e saídas do Complexo Itabira.....	76
Figura 27 - Fontes de suprimento de água da usina Cauê.....	77
Figura 28 - Vista de jusante para montante do Dique 6.....	78
Figura 29 – Gráfico das Médias das Vazões do Esgoto.....	80
Figura 30 - Layout da concepção da ETE Laboreaux.....	81
Figura 31 - Etapas do processo de tratamento da ETE Laboreaux.....	82
Figura 32 - Ponto de lançamento da ETE Laboreaux no rio do Peixe.....	83

Figura 33 - Barragem do Pontal.....	89
Figura 34 - Dique Minervino.....	89
Figura 35 - Dique Cordão Nova Vista.....	89
Figura 36 - Dique 02.....	89
Figura 37 - Dique 03.....	89
Figura 38 - Dique 04.....	89
Figura 39 - Dique 05.....	89
Figura 40 - Dique 06.....	89
Figura 41 - Sistema Pontal.....	92
Figura 42 - Vista da cava Cauê.....	93
Figura 43 - Canal da Usina (entrada de água da cava Cauê).....	93
Figura 44 - Canal da usina (vista geral).....	93
Figura 45 - Fluxograma dos usos não potáveis da usina Cauê do Complexo Itabira...	94
Figura 46 – Localização das principais estruturas.....	95
Figura 47 - Perfis longitudinais dos traçados das adutoras entre a ETE Laboreaux e respectivos destinos.....	96
Figura 48 – Alternativas de Água para Reúso.....	105

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Resultados do Brasil (ODS 6) .....	13
Quadro 2 - Níveis de Tratamento e Aplicação .....	25
Quadro 3 - Evolução histórica dos critérios de reúso de água.....	32
Quadro 4 - Documentos sobre o Reúso de Água no Brasil .....	35
Quadro 5 - Fatores inovadores para o modelo de negócio do reúso de água .....	53
Quadro 6 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 01).....	100
Quadro 7 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 02).....	101
Quadro 8 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 03).....	102
Quadro 9 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 04).....	103
Quadro 10 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 05).....	104



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Retirada dos usos setoriais em 2020 (%).....	15
Tabela 2 - Volume de reúso e população.....	23
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade exigidos pelo polo petroquímico - água de reúso	31
Tabela 4 - Fontes mais relevantes.....	46
Tabela 5 - Autor x Citação.....	47
Tabela 6 - Padrões de qualidade da água para usos não potáveis.....	52
Tabela 7 - Qualidade da Água da Barragem Pontal.....	78
Tabela 8 - Análise comparativa da qualidade da água.....	79
Tabela 9- Média dos resultados do efluente tratado (ano 2017).....	83
Tabela 10 - Síntese dos resultados do efluente tratado ETE Laboreaux (2016-2022) .	86
Tabela 11 - Análise comparativa entre as fontes de água.....	87
Tabela 12 - Principais características do Sistema Pontal.....	91
Tabela 13 - Quantitativos preliminares.....	94
Tabela 14 - Parâmetros e resultados .....	109
Tabela 15 - Dimensionamento da adutora e sistema de bombeamento.....	110
Tabela 16 - Custos preliminares .....	111

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>10</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Crise hídrica.....	11
3.2 Água e mineração.....	14
3.3 Reúso de água .....	19
3.3.1 Conceituação do reúso de água.....	19
3.3.1 Fatores impulsionadores ou impeditivos do reúso de água .....	23
3.3.2 Reúso de água na mineração .....	26
3.4 Documentos direcionadores ao reúso de água.....	32
3.4.1 Documentos internacionais .....	32
3.4.1 Documentos no Brasil.....	35
<b>4. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....</b>	<b>42</b>
4.1 Desenvolvimento da revisão bibliométrica.....	42
4.2 Padrões de Qualidade da água de reúso.....	50
4.3 Modelo de negócio da água para reúso.....	53
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
6.1 Proposição de Diretrizes do modelo de negócio.....	62
6.2 Estudo de concepção do sistema de reúso .....	66
6.2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	66
6.2.2 Complexo Itabira .....	70
6.2.3 ETE Laboreaux.....	79
6.2.4 Análise quali-quantitativa do reúso de água.....	87
6.2.5 Caracterização das principais estruturas hídricas .....	88
6.2.6 Alternativas para o reúso de água .....	99
6.2.7 Seleção da melhor alternativa para o reúso de água .....	107
6.2.8 Pré-dimensionamento e custos da alternativa selecionada .....	108
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>112</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO A – Matriz de Riscos .....</b>	<b>125</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A mineração é um dos segmentos da economia mais importantes e evidentes para o desenvolvimento da sociedade. Seus produtos promovem melhor qualidade de vida, seja na saúde, no transporte, na comunicação, no trabalho, na música e até mesmo na alimentação. Isto porque o minério está presente nos equipamentos cirúrgicos, nos automóveis, nos celulares, nos computadores, nos instrumentos de música, entre outros. Quando não há minério no produto em si, é bem provável que para sua fabricação, em algum momento do processo, um equipamento utilizado possua ferro em sua composição.

Segundo IBRAM (2020), nos últimos anos houve um aumento da demanda pelos produtos de mineração, principalmente pelos países asiáticos, o que coloca o Brasil em evidência por ser um dos maiores produtores de minério do mundo, setor pilar de sustentação da econômica brasileira. Com o aumento da demanda por produtos da mineração há também aumento da demanda hídrica, pois os recursos hídricos são essenciais para suas atividades, desde a implantação de um projeto até seu uso futuro, seja na etapa do licenciamento, seja na operação ou no plano de fechamento (VALE, 2020a). A exemplo, tem-se os usos de água nas atividades de beneficiamento do minério, lavagem de máquinas, de peças e de veículos, umectação de vias e controle de poeira, dentre outras atividades.

Entretanto, o cenário de estresse hídrico tem se tornado cada vez mais recorrente, em consequência do aumento da demanda de água associado ao crescimento populacional e econômico, do comprometimento da qualidade dos mananciais de abastecimento, devido a poluição dos corpos d'água, entre outros. Soma-se a isto, os eventos cíclicos de baixos índices pluviométricos agravados pelas mudanças climáticas, desencadeando um cenário de competição pelo recurso hídrico de abrangência local, regional e até mesmo mundial.

Além do mais, a mineração tem sido muito criticada pela sociedade a respeito dos usos dos recursos hídricos em suas atividades. Segundo Giffoni, Coelho e Maia (2019), a mineração é uma atividade de consumo intensivo de água concorrendo com outros usuários da bacia hidrográfica onde está presente. Os autores atribuem que o responsável pelo aumento dos conflitos pelo uso da água no Brasil é a mineração e não correlacionam com o crescimento populacional, desenvolvimento econômico e demais atividades. Dessa forma, é preciso buscar alternativas sustentáveis, considerando os processos internos e fontes alternativas externas a fim de reduzir o consumo de água, potável e não potável, e conseqüentemente os conflitos pelo uso da água com a sociedade. Uma das alternativas é a água de reúso para atividades que não

requerem uso potável, como por exemplo na umectação de vias, aspersão e beneficiamento do minério, nas torres de resfriamento, lavagem de equipamentos e limpeza industrial.

Segundo VALE (2022a), sua taxa de reutilização de água proveniente dos processos internos da mineração foi de 81,2% para o ano 2021. Este resultado indica que o setor busca soluções internas para a otimização dos usos de água e essa taxa pode variar pelo tipo de minério, tecnologia de beneficiamento, condições climáticas e produto. Para reduzir ainda mais o uso de água no setor da mineração, uma opção pode ser a água para reúso de estação de tratamento de esgoto municipal.

O reúso de água proveniente do esgoto tratado, seja para atividades menos nobres, agricultura ou até mesmo aquelas que demandam padrões de potabilidade, já é comum em outros países, principalmente naqueles onde a escassez de água é acentuada, por exemplo: Israel e África. Porém, no Brasil não há uma prática generalizada de reúso de água proveniente de efluentes sanitários, pois é pouco difundido no país; é privilegiado na maior parte do seu território pela oferta de água e ainda enfrenta muitos desafios regulatórios e culturais que dificultam sua implementação.

Um dos obstáculos para ampliar o uso de água proveniente das estações de tratamento de esgoto no Brasil é a carência de legislação, normas e diretrizes. Outro obstáculo é a carência de modelo técnico-econômico-jurídico que viabilize o reúso da água de estação de tratamento de esgoto no setor da mineração com segurança. Mas há avanços. A Deliberação Normativa nº 65 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, publicada em 2020, regulamenta o reúso de água não potável proveniente de estações de tratamento de efluentes sanitários pode ser utilizada nas atividades agrossilvipastoris, usos urbanos, usos para fins ambientais e usos industriais, incluindo a mineração.

No nível federal, o marco legal do saneamento foi atualizado em 2020 e, portanto, espera-se um crescimento dos serviços de saneamento no Brasil nos próximos anos. Contém neste novo marco metas para expandir a água para reúso proveniente dos efluentes sanitários tratados como fonte alternativa de suprimento de água (BRASIL, 2020). Além disso, em 20 de outubro de 2022, o Ministério de Desenvolvimento Regional, por meio de consulta pública a contribuição da sociedade para construção de proposta de Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH para estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (MDR, 2022).

Neste cenário, Minas Gerais pode ser protagonista no fomento de água de reúso proveniente das estações de efluentes sanitários para uso não potável na mineração, pois já possui uma deliberação normativa, como supracitado, e em seu território há vários

empreendimentos minerários próximos aos centros urbanos. Para tanto, é preciso verificar a viabilidade técnica e econômica e estabelecer diretrizes para o estabelecimento de um modelo de negócio que viabilize projetos de reúso para fins não potáveis.

O modelo de negócio de um empreendimento de fornecimento de água de um produtor para um usuário envolve temáticas multidisciplinares. Segundo CAGECE (2022), a matriz de risco deste modelo deve conter as questões relativas aos riscos financeiros, econômicos, políticos, institucionais, ambientais, sociais, técnicos, jurídicos, fiscais e comerciais. Tendo estes riscos mapeados, é possível estabelecer um modelo de negócio que assegure o sucesso do empreendimento entre as partes envolvidas – produtor, fornecedor e usuário. Em complemento, o referido modelo de negócio deve abordar, dentre outros, os parâmetros mínimos de qualidade dos efluentes tratados para o reúso, a taxa mínima de eficiência para a disponibilidade do efluente tratado, custos e penalidades envolvidas. A exemplo, tem-se o empreendimento Aquapolo, que a partir do esgoto tratado na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE ABC em São Paulo, e associado a um tratamento complementar, tem capacidade de produção de 1.000 L/s de água para atender o Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da região do ABC Paulista, totalizando 14 plantas industriais (AQUAPOLO, 2022). Desta forma, pode-se dizer que a água para reúso proveniente de estações de tratamento de esgoto direcionado ao setor industrial assegura a continuidade da produção, principalmente em regiões que há escassez ou conflitos pela água. De fato, no Brasil não foi encontrado registros ou publicações de reúso de água proveniente de efluentes sanitários na mineração. Sendo assim, propõe-se nesta dissertação diretrizes para estabelecer o modelo de negócio do reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto aplicado na mineração podendo ser estendido a outros setores produtivos ou demandas por água não potável.

A busca por fontes alternativas, no caso reúso de água de efluentes sanitários, pode promover uma vantagem competitiva, pois cada vez mais as empresas precisam aderir às mudanças organizacionais e às demandas ambientais (HUESKE, 2015).

## **2. OBJETIVO**

O objetivo desta pesquisa é propor diretrizes para estabelecer um modelo de negócio do reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto para uso não potável na mineração a partir de um estudo de caso.

Os objetivos específicos são:

- Identificar modelos de negócio de água para reúso vigentes no Brasil;
- Identificar as regulações internacionais e nacionais vigentes;
- Verificar quais padrões de qualidade são indicados para o reúso de água não potável;
- Propor um modelo conceitual do sistema de produção, distribuição e água para reúso ETE Laboreaux, localizada na cidade de Itabira, Minas Gerais - como produtora e fornecedora da água para reúso - e o Complexo Minerário de Itabira de propriedade da Vale S.A- como usuário desta água.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Crise hídrica

A água é um recurso natural e essencial para a vida na Terra, tanto que o desenvolvimento da humanidade, historicamente, tem sido nas proximidades de nascentes e rios (MANCUSO, 2003). Entretanto, a água é um recurso finito, a distribuição da precipitação no planeta é desigual - variando no tempo e no espaço – e, associado ao mau uso, potencializa o estresse hídrico. A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu um indicador que mede o nível de estresse hídrico de uma determinada região. Este faz parte dos indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Pode ser consultado no ODS 6, Água Limpa e Saneamento, e seu cálculo é a razão entre as captações de água doce e a disponibilidade da água doce num determinado território.

Segundo a WRI (2022), o uso da água tem crescido globalmente num ritmo que supera a oferta disponível, até em locais com abundância de água. Outra preocupação que diversos pesquisadores destacam são as previsões futuras de estresse hídrico. Segundo Avelar *et al.*, (2021), as principais causas para sua ocorrência são o crescimento populacional, a poluição dos corpos hídricos, os períodos de escassez e as mudanças climáticas globais.

Neste cenário de aumento do número de regiões com conflitos de usos de água, movidos pela escassez dos recursos hídricos, uma série de medidas a nível mundial estão sendo tomadas.

UN (2003) publicou um documento sobre água para as pessoas e para a vida contextualizando os grandes desafios e afirma que a crise hídrica é uma questão de governança que prevalece até hoje.

Em 2015, ocorreu um chamado global no âmbito da Agenda 2030 com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas para os próximos 15 anos. O objetivo de desenvolvimento sustentável 6 (ODS-6) é Água Potável e Saneamento e suas metas devem ser cumpridas até 2030:

Meta 6.1: alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos;

Meta 6.2: alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade;

Meta 6.3: melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;

Meta 6.4: aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;

Meta 6.5: implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado;

Meta 6.6: proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.

Meta 6a: ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso;

Meta 6b: Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.

Na interpretação das metas da ODS 6, pode-se dizer que todas têm vínculo direto ou indireto com o reúso de água proveniente dos efluentes sanitários. Com o alcance das metas 6.1 e 6.2, a universalização do saneamento aumentará a oferta de efluentes sanitários e consequentemente aumento de volumes passíveis ao reúso de água. Uma das formas de melhorar a qualidade da água, otimizar os usos e conservar os ambientes é pelo reúso de água e estes colaboram para o alcance das metas 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6. E por fim, as metas 6a e 6b ampliam a participação, seja pela cooperação internacional ou pela participação das comunidades locais, que podem influenciar a ampliação do reúso de água em suas escalas.

No Brasil, foi fundado o Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030 (GTSC A2030) em 2014 com objetivo de difundir, promover e monitorar a Agenda 2030 por meio da sociedade civil, do governo brasileiro e do sistema das Nações Unidas. Desde 2017 o GTSC A2030 publica o Relatório Luz para divulgar os avanços e perspectivas da Agenda de 2030. Neste contexto já foram publicados 6 documentos, sendo que em seu último documento, há uma preocupação com os avanços do Brasil frente as metas da Agenda 2030.

Dentre as 169 metas da Agenda 2030, 161 são aplicáveis ao Brasil. Destas, apenas 1 meta está com progresso satisfatório, para 8 metas não há dados, 11 metas estão estagnadas, 14 metas estão ameaçadas, 24 metas estão em progresso insuficiente, 110 metas estão em retrocesso e 8 metas não se aplicam ao Brasil (GTSC A2030, 2022).

O diagnóstico da ODS 6, que está sendo chamado de “semi-universalização” até 2033, é de que as metas estão em ameaça ou retrocesso conforme apresentado no Quadro 1 (GTSC A2030, 2022). No passado, já tinha sido indicado que no Brasil a velocidade das práticas de sustentabilidade adotadas no mundo ocorre lentamente (TELLES; COSTA, 2012).



Quadro 1 - Resultados do Brasil (ODS 6)

Meta	Cenário Atual	Problemas
Meta 6.1	Retrocesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- desigualdade dos serviços prestados;</li> <li>- iniciativas de infraestruturas e tecnologias pontuais;</li> <li>- dados sobre o acesso a água potável divergentes;</li> <li>- 36,6 milhões de pessoas sem acesso à quantidade de água;</li> <li>- rios e reservatórios nacionais com índices de qualidade inadequados;</li> <li>- 50,8% do esgoto sanitário produzido é tratado.</li> </ul>
Meta 6.2	Retrocesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pobreza menstrual e a pobreza sanitária;</li> <li>- 8% da população moram em favelas e não há acesso a saneamento de qualidade;</li> <li>- persistência das áreas vulneráveis as enchentes, inundações e alagamentos isolando o acesso à água potável por falta de medidas de emergência e contingência.</li> </ul>
Meta 6.3	Retrocesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perda de qualidade dos corpos hídricos.</li> </ul>
Meta 6.4	Retrocesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aumento da perda de água na distribuição;</li> <li>- aumento das retiradas de água;</li> <li>- 304 conflitos por água;</li> <li>- descartes de efluentes inadequados contaminando os mananciais, principalmente pelas atividades de garimpo.</li> </ul>
Meta 6.5	Ameaçada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ausência de recursos financeiros e humanos em alguns estados;</li> <li>- instabilidade na governança dos recursos hídricos pela alternância dos órgãos responsáveis;</li> <li>- ligeiro incremento de mais 5 comitês de bacias perfazendo 228 comitês.</li> </ul>
Meta 6.6	Ameaçada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- política de liberação de agrotóxicos e de devastação da Amazônia e do Cerrado em prol do agronegócio, assim como a desregulação do mercado de plásticos, são ameaças à essa meta e à vida.</li> </ul>
Meta 6.a	Retrocesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- redução dos investimentos no saneamento básico.</li> </ul>
Meta 6.b	Retrocesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- iniciativas de parcerias público-privadas com a sociedade civil não são prioritárias para o novo Marco Legal do Saneamento;</li> <li>- instituição de conselhos e instrumentos de participação social não avançam.</li> </ul>

Uma preocupação é que a demanda por uso de água no Brasil está em crescimento, impulsionada pelo desenvolvimento econômico e o processo de urbanização do país. Nas duas últimas décadas houve aumento da ordem de 80% da retirada total de água e até 2030 estima-se um incremento de mais 26% (ANA, 2020). Isso é agravado, ainda mais, pelo aumento da frequência das secas e estiagens. Segundo a ANA (2020), 51% dos municípios brasileiros já decretaram “Situação de Emergência (SE)” ou “Estado de Calamidade Pública (ECP)”, entre os anos de 2003 e 2018, devido à escassez hídrica.

No Brasil, os principais fatores que contribuem para a diminuição da disponibilidade hídrica são a expansão das áreas irrigadas, concentração populacional, períodos de baixos índices pluviométricos, baixos índices de coleta e tratamento de esgoto, ocasionando a poluição das águas e, conseqüentemente redução dos mananciais de abastecimento, elevados índices de perdas nos sistemas de distribuição de água e baixo investimento no setor de saneamento (SANTOS *et al.*, 2021).

Desta forma, a busca por soluções para atender a demanda global, frente a escassez de recursos hídricos, não é ação isolada de um setor, logo, é importante que usuários de água, governo e sociedade engajem no objetivo de reduzir a pressão e os conflitos pelo uso da água.

### **3.2 Água e mineração**

A água na mineração é insumo essencial para o processo industrial e requer avaliação de sua disponibilidade em quantidade e qualidade para viabilizar o empreendimento minerário. Com isso, a viabilidade técnica e econômica do empreendimento minerário depende das soluções de suprimento de água.

O minério possui rigidez locacional, devido sua natureza, e isso implica em buscar as melhores alternativas de suprimento de água e locação das estruturas do empreendimento minerário: usina, barragem, sistemas de controle, prédios administrativos, oficinas, entre outras.

Por outro lado, a água é um desafio às atividades de mineração e por isso são necessárias estruturas hidráulicas e sistemas de controle de forma a evitar a alteração da qualidade ambiental. As interferências da água nas atividades de mineração podem ser observadas nos trabalhos de lavra, nos controles de cheias e na geração de efluentes. Assim, os estudos e planejamento sobre a água na mineração iniciam desde a fase de pesquisa até o uso futuro do empreendimento minerário.

Segundo a ANA (2021), o total dos usos setoriais de água no Brasil no ano 2020 foi de 1.947,55 m<sup>3</sup>/s, sendo 2% deste total a parcela do setor da mineração. Na Tabela 1 estão apresentadas as distribuições das retiradas dos usos setoriais. Pode-se observar, nesta tabela, que a maior parcela das retiradas é destinada à irrigação, seguida pelo abastecimento urbano.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 1, pode-se afirmar que a mineração não é a maior usuária de água no Brasil em relação aos demais setores. Entretanto, os 2% de retirada de água pela mineração são concentrados devido a rigidez locacional do minério. Outro fator, é a diferença entre a velocidade do desenvolvimento de um empreendimento minerário e a infraestrutura e saneamento das cidades adjacentes. Onde a mineração está presente, há o aumento populacional fixo e flutuante. No primeiro momento esse aumento deve-se a implantação do empreendimento que necessita de um efetivo para a execução das obras. Após implementado, as cidades do entorno recebem profissionais para a operação do empreendimento e nesta fase é comum observar flutuações no efetivo devido as obras de manutenção, melhorias ou expansão. Como ordem de grandeza o efetivo num empreendimento de mineração pode variar de 3.000 profissionais a 20.000 profissionais. A maioria das cidades brasileiras não estão preparadas para este aumento populacional gerando conflitos entre o setor

e a população, incluindo o de uso de água. Logo, a percepção da sociedade é que a presença da mineração, principalmente nos períodos de escassez hídrica, pressiona os usos de água.

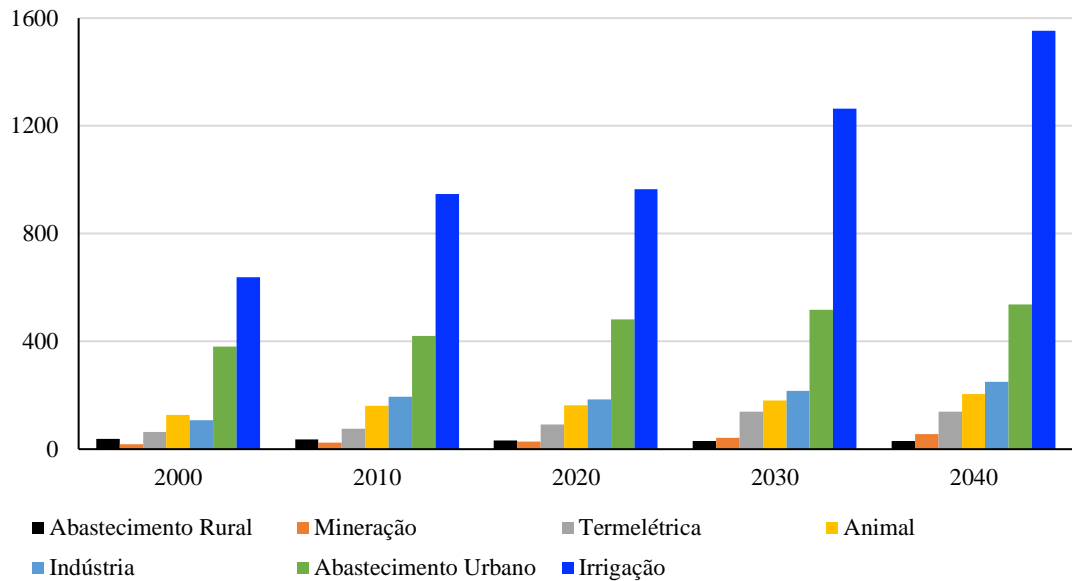
Tabela 1 - Retirada dos usos setoriais em 2020 (%)

Setor	Usos (%)
Irrigação	50
Abastecimento Urbano	25
Indústria	9
Animal	8
Termelétrica	5
Mineração	2
Abastecimento rural	2

Fonte: ANA (2021), adaptado pelo autor.

Segundo a ANA (2021), as demandas por água no Brasil têm crescido de forma contínua. Na Figura 1 são apresentados os usos de água por setor e a projeção para os próximos 20 anos. Nesta figura, observa-se que para todos os setores há uma projeção de aumento da demanda por água, exceto para o abastecimento rural. Isso pode estar vinculado a migração das pessoas do meio rural para as cidades. Outro destaque é que para os próximos 20 anos, há uma projeção de aumento de 93% referente a demanda de água ao setor da mineração. Com este fato o que esperar do futuro? Maiores conflitos pelo uso de água? Ou, os conflitos serão minimizados pelo melhor planejamento, aumento da capacidade de reservação e aumento de projetos de reúso de água no país? Estas questões precisam estar na pauta dos órgãos gestores de água, dos setores produtivos e da sociedade para que em conjunto definam as melhores soluções.

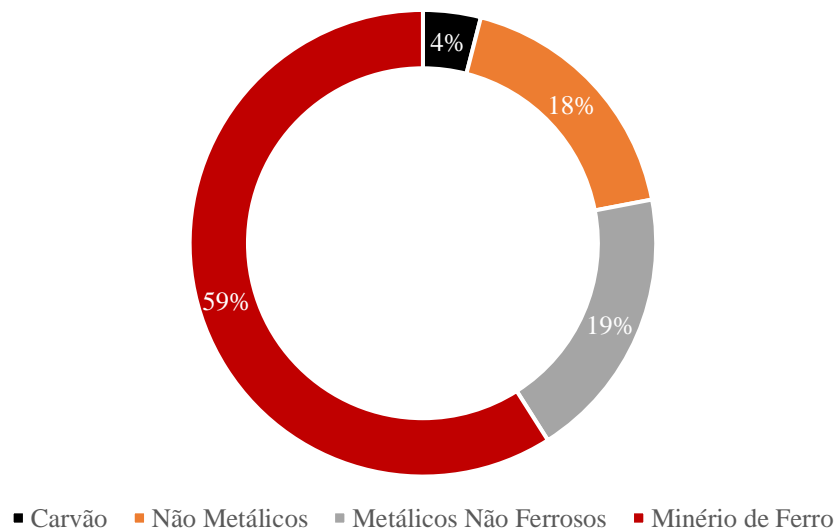
Figura 1 - Evolução dos usos setoriais da água no Brasil (m³/s)



Fonte: ANA (2021), adaptado pelo autor.

Na Figura 2, pode-se observar a distribuição da demanda de água por grupo da mineração, com destaque para o minério de ferro, que é responsável por 59% da demanda.

Figura 2 - Participação da demanda de água por grupo da mineração (%)



Fonte: ANA (2021), adaptado pelo autor.

Dentre todos os outros setores usuários de água, a mineração destaca-se devido sua interação com os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As interações sobre o primeiro, ocorrem nas captações de rios e barramentos, descarte de efluentes aos corpos d'água e no controle de carreamento de sedimentos devido as áreas expostas em solo descoberto. Para o

segundo, as interações ocorrem tanto no rebaixamento do nível d'água propiciando a lavra do minério quanto nas captações por poços tubulares para suprimento das atividades.

As principais atividades que dependem de água na mineração são: desmonte hidráulico; aspersão de vias para controle de emissão de particulados, lavagem de equipamentos e transporte de materiais, processo de flotação, lavagem do minério, concentração gravítica, processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos, preparação de reagente.

Figura 3- Possíveis fontes, usos e perdas de água na mineração

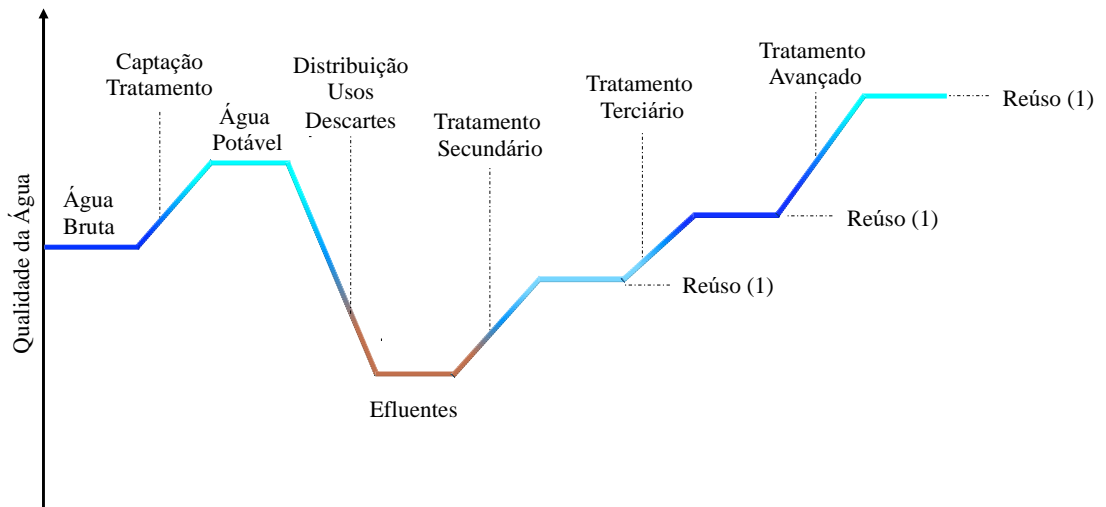


Fonte: Freitas (2012)

Dentre as etapas do beneficiamento identificadas acima, o uso da água para a preparação de reagentes, processo de flotação e transporte nos minerodutos são aquelas que requerem um cuidado especial quanto à qualidade da água. Para os demais usos existe maior flexibilização da qualidade da água utilizada, e maior possibilidade de aplicação da água tratada dos efluentes sanitários. Ressalta-se, porém, que a qualidade da água requerida em cada uma das atividades pode variar pelo tipo de processamento, tipo de produto ou tipo do modal de transporte no final do processo minerário. Entretanto, promover uma melhor qualidade de água não é impeditivo, pois há técnicas que possuem capacidade de adequar a qualidade dos efluentes sanitários até mesmo para o reúso potável.

Segundo US EPA (2012), a água de reúso proveniente de tratamento terciário pode alcançar qualidade superior a água potável, pois os avanços dos processos de filtração por membranas já possuem capacidade para tratar até traços de produtos químicos orgânicos (Figura 4).

Figura 4 - Água e qualidade em função dos tratamentos



(1) Nível de tratamento depende da aplicação do reúso.

Fonte: US EPA (2012), adaptado pelo autor.

Diferente da irrigação agrícola e paisagística, em que a demanda por água ocorre sazonalmente devido ao desenvolvimento de cada cultura, de forma geral, a indústria necessita de uma taxa relativamente constante ao longo do ano (ASANO et al., 2007).

Já na mineração, a sazonalidade climática determina as variações dos volumes da demanda de água. No período seco há aumento dos volumes de água para as atividades de umectação de vias e aspersão dos pátios de estocagem – controle de poeira. Nesta atividade, para minimizar os volumes de água necessários, comumente são aplicados polímeros para aumentar o tempo em que as pilhas de minério e vias de acesso permaneçam úmidas. Já no período chuvoso, observa-se a redução da demanda por água, pois não há necessidade de umectação das vias de acesso e aspersão das pilhas de minério.

Nas paradas para manutenção da usina de beneficiamento de minério o circuito hídrico não pode parar de forma instantânea. São quilômetros de adutoras e estruturas hidráulicas onde são transportados e armazenados a mistura de água e sólidos (polpa). Desta forma, é preciso manter o fluxo de água e sólidos para evitar sedimentação e obstrução nas adutoras e nas estruturas hidráulicas.

Dado a dependência da mineração pela água; as críticas da sociedade que considera este setor como usuário intensivo dos recursos hídricos e; associado os períodos de escassez vivenciados, é necessário buscar fontes alternativas de abastecimento de água para o setor. O reúso de água é uma alternativa sustentável que vem sendo empregada para atender as demandas de água não potável, contribuindo para aumento da disponibilidade de recursos

hídricos. Com reúso, os efluentes terão outras funções e a saúde pública e o meio ambiente serão protegidos (CUNHA, 2011). Entretanto, é preciso conhecer, dentre os usos da água na mineração, quais podem receber água de reúso e em quais quantidade e qualidade, e sua viabilidade econômica.

### **3.3 Reúso de água**

#### **3.3.1 Conceituação do reúso de água**

Uma das alternativas para equilibrar a relação demanda/oferta é o reúso de água. Com o crescimento populacional aumenta-se a produção de efluentes sanitários propiciando uma oferta perene de água para reúso, que, por meio de tecnologias consagradas, pode-se adequar a qualidade aos parâmetros requeridos do uso pretendido (MANCUSO, 2003).

O reúso de água aumenta o potencial de conservação dos recursos hídricos, pois contribui para preservação da qualidade dos mananciais devido a redução dos descartes de efluentes, que por muitas vezes possuem elementos prejudiciais a água, fauna e flora. Também é uma fonte alternativa mais confiável, pois é menos sensível aos eventos de seca (IWA, 2015). Além disso, o reúso de água reduz a demanda de água potável das concessionárias dos serviços de saneamento, preservando os mananciais de abastecimento.

Os conceitos sobre reúso de água são extensos e, por vezes, não há um consenso entre os pesquisadores, como por exemplo da denominação do reúso de água de chuva ou aproveitamento de água de chuva.

Como o foco desta pesquisa é o reúso de água não potável aplicados a mineração, apresenta-se a seguir os conceitos relevantes ao tema e constantes em referências nacionais, a saber:

- I - Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II - Reúso de água: utilização de água residuária;
- III - Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- V - Produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;
- VI - Distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso; e
- VII - Usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso (BRASIL, 2005).

Para complementar os conceitos do reúso de água para fins industriais foram consultadas outras bibliografias, a saber:

- Água para Reúso (ApR): Água produzida por uma EPAR com o objetivo de reinserção nos ciclos urbano ou rural da água. Sua qualidade deve ser compatível com o uso e oferecer os menores riscos possíveis à saúde humana e ao meio ambiente. No contexto internacional, os termos mais utilizados são “água reciclada” (*recycled water*) e “água recuperada” (*reclaimed water*). Conforme já mencionado, não se consideram adequados os termos “reúso de efluente” ou “reúso de efluente tratado” (CEBDS, 2022);
- Estação de Tratamento Avançado ou Estação Produtora de Água para Reúso (EPAR): Uma “Estação de Tratamento Avançado” produz efluente tratado com qualidade superior ao tratamento a nível secundário. Caso a água tratada seja destinada ao reúso, a estação passa a ser considerada como uma “Estação Produtora de Água para Reúso (EPAR)”. Ressalta-se ainda que seu nível de tratamento é definido a partir da qualidade de água almejada para o uso pré-determinado, sendo inseridas as tecnologias no seu fluxograma, para se atingir a eficiência necessária (CEBDS, 2022);
- Estação de Tratamento de Esgoto (ETE): É uma instalação com um conjunto de diferentes operações e processos unitários para remoção de poluentes específicos presentes no esgoto. O nível de tratamento é condizente com o tipo de tecnologia adotada e a qualidade do efluente desejada. O tratamento a nível secundário reduz as concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos, além de matéria orgânica. No entanto, não remove de maneira eficiente nutrientes e microrganismos patogênicos. A remoção de ambos está condicionada à modalidade de reúso (CEBDS, 2022);
- Fontes Alternativas de Água para Aproveitamento ou Reúso: consideram-se fontes alternativas de água aquelas que não estão sob concessão de órgãos públicos ou que não sofrem cobrança pelo uso ou, ainda, que fornecem água com composição diferente da água potável fornecida pelas concessionárias (FIESP, 2005, p. 58);
- 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 (MANCUSO, 2003);
- Reúso indireto não planejado da água: é quando o esgoto, após ser tratado ou não, é lançado em um corpo hídrico (lago, reservatório ou aquífero subterrâneo)



onde ocorre sua diluição, e após um tempo de detenção, este mesmo corpo hídrico é utilizado como manancial, sendo efetuada a captação, seguida de tratamento adequado e posterior distribuição da água (TELLES; COSTA, 2012);

- Reúso indireto planejado da água: ocorre quando o efluente tratado é descarregado de forma planejada nos corpos de água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento a algum benefício (TELLES; COSTA, 2012);
- Reúso direto planejado das águas: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente (TELLES; COSTA, 2012).
- Reúso macro externo: reúso de esgoto sanitário ou industrial tratado, proveniente de estações de tratamento administradas por concessionárias ou outra indústria (FIESP, 2005, p. 15);
- Reúso macro interno: uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria (FIESP, 2005, p. 15);
- Reúso não potável para fins industriais: abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras etc (MANCUSO, 2003, p. 27).

O reúso das águas residuárias municipais não é um conceito novo e já é praticado há muitos anos em todo mundo. A primeira evidência histórica de reúso de água foi na idade do bronze em Creta na Grécia, pela civilização Minoica para irrigação (Angelakis et al., 2005).

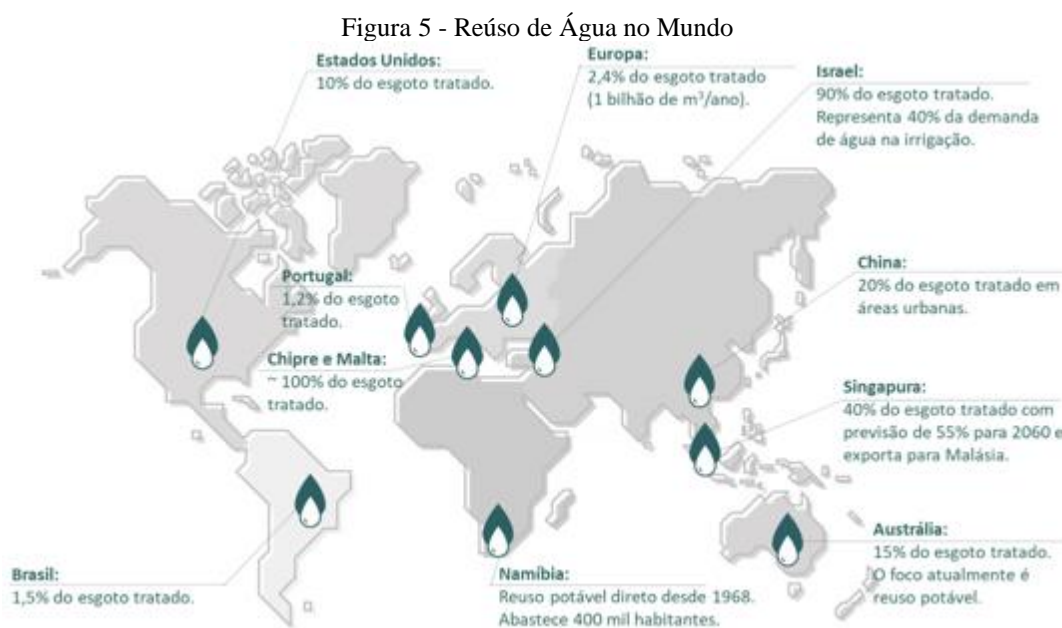
Já as práticas de tratamento de água para o consumo humano surgiram em meados do século XIX. Em meados do século XX surgem as políticas com objetivo de conservar os ambientes naturais e fomentar a implantação de sistemas de tratamento de efluentes, independente dos custos associados (JEWELL, 1979). Chegando ao século XXI, com o desafio de buscar soluções para enfrentar a escassez hídrica, devido principalmente ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, associados ao mau uso da água, a poluição dos mananciais e aos eventos de seca, intensificados pelas mudanças climáticas (WHATELY, 2016).

É difícil estabelecer quais são os principais países que praticam o reúso da água devido os critérios de como são medidos, publicados ou até mesmo pela omissão dos valores reutilizados (JIMÉNEZ; ASANO, 2008). Em 2008, os autores apresentaram as principais

instalações de água para reúso de efluentes municipais tratados em 47 países. Os países que ocupavam as três primeiras posições em relação ao *ranking* de maiores volumes de água para reúso são: China (14,8 milhões m<sup>3</sup>/dia), México (14,4 milhões m<sup>3</sup>/dia) e Estados Unidos (7,6 milhões m<sup>3</sup>/dia). O Brasil aparece na quadragésima posição com um volume de 23,3 m<sup>3</sup>/dia.

Já numa pesquisa mais recente, 2022, observa-se um crescimento dos volumes de água para reúso. China e Estados Unidos são os maiores usuários de água de reúso no mundo, 19,5 milhões de m<sup>3</sup>/dia e 18,0 milhões de m<sup>3</sup>/dia respectivamente Figura 5, (REUSODEAGUA.ORG, 2022).

Ainda na Figura 5, pode-se observar que a taxa de reúso em relação ao esgoto tratado no Brasil ainda é muito baixa, 1,5%. Segundo a ANA (2021), considerando dados estimados, o reúso de efluentes sanitários tratados no Brasil é da ordem de 138 mil m<sup>3</sup>/dia. Entretanto, houve um aumento expressivo de 23,3 m<sup>3</sup>/dia (2008) para 138 mil m<sup>3</sup>/dia (2022).



Fonte: reusodeagua.org 2022.

O potencial estimado de reúso no curto-médio prazo, cenário B conforme metodologia desenvolvida pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), é de 1,1 milhões m<sup>3</sup>/dia (CH2M, 2017).

As populações da China, Estados Unidos e Brasil são: 1,45 bilhões de pessoas (COUNTRYMETERS, 2022a), 336 milhões de pessoas (COUNTRYMETERS, 2022b) e 215 milhões de pessoas (IBGE, 2022a), respectivamente. Se compararmos a razão dos volumes de reúso pela população dos países China, Estados Unidos e Brasil, pode-se dizer que o Estados Unidos tem uma melhor performance em relação aos demais. Já a performance do Brasil ainda

é tímida, o que pode ser uma oportunidade para desenvolvimentos de novos projetos de reúso no país (Tabela 2).

Tabela 2 - Volume de reúso e população

País	Volume reúso (milhões m <sup>3</sup> /dia)	População (milhões)	Volume reúso/População (m <sup>3</sup> /pop. x dia)
China	19,5	1.456	0,013
Estados Unidos	18	336	0,054
Brasil	1,1	215	0,005

### 3.3.1 Fatores impulsionadores ou impeditivos do reúso de água

Na era moderna, a explosão populacional, desenvolvimento industrial, urbanização sem precedentes, aliado à seca e ao aquecimento global, resultam em conflitos pelo uso da água (SAATSAZ, 2020). Sendo a água de reúso uma fonte alternativa de suprimento e com potencial de minimizar os conflitos de uso, é importante entender quais são os fatores que podem impulsionar ou impedir esta prática, além dos apresentados anteriormente.

Fatores políticos, econômicos, sociais, técnicos e ambientais podem impulsionar ou impedir o aumento das práticas de reúso. Lee (2020) reconhece que o estresse hídrico pode acelerar práticas de reutilização, mas os fatores político, econômico e regulatório são preponderantes para a mudança sistêmica.

Quanto aos fatores políticos, nos Estados Unidos a importância da conservação da água em termos de diretrizes federais foi anunciada pelo presidente Jimmy Carter. Por meio da política de iniciativas de água, em junho de 1978, em mensagem durante a reforma do congresso (HEATON, 1981). Nesta política foram estabelecidos 4 objetivos: projetos economicamente e ambientalmente seguros evitando desperdícios, conservação da água, a cooperação federal-estadual para melhoria do planejamento estadual dos recursos hídricos e, por último, o foco na qualidade ambiental.

Na China, o governo já impõe limites da demanda de água para as novas centrais elétricas considerando suas tecnologias e limitações de produção (ZHANG, 2016).

Hespanhol (2002), há 20 anos atrás, indicou a necessidade de o Brasil definir uma política criteriosa para as práticas de reúso, pois isso propicia a redução da poluição dos cursos de água pelos esgotos e o promovia como recurso econômico e ambientalmente seguro. Por fim, regras ou leis que determinem o uso de água para reúso obrigatório, é um mecanismo que deve ser utilizado pelos órgãos competentes (ASANO et al., 2007).

Morris (2021) indica que para promover as práticas de reutilização é necessário regulamentos sólidos e inclusão dos desafios ambientais e sociais.

Referente aos fatores sociais, Lee (2020) observa o quão é importante investir na comunicação e informação com o público em geral para obter sucesso nos programas de reutilização, pois o conhecimento dessa questão fomentará percepções positivas.




Já os fatores técnicos, Mantovani (2001) ratifica que a reutilização de água não potável é viável e os maiores obstáculos estão na gestão. Mancuso (2013) reforça que é inconcebível descartar os esgotos tratados, principalmente aqueles que se beneficiam por tecnologias avançadas, sem aventar a possibilidade de destiná-los para o reúso.

Há aumento do interesse das pessoas pelo reúso, devido ao aumento da demanda por água. Porém, é prioritário repensar nas adequações das estações de tratamento de esgoto existentes e incluir os critérios para reúso nas novas estações (MARYAM, 2019). Também, importante atentar quanto ao envelhecimento da infraestrutura hídrica e ao crescimento populacional, questões que são características das megacidades, pois são prováveis causas de agravamento dos déficits de abastecimento de água em Londres (GOODWIN, 2017).

Cunha (2011) recomenda diferenciar saneamento básico (serviços de água e esgoto), saneamento (água, esgoto, lixo e drenagem urbanos) e saneamento ambiental, pois este último ultrapassa os limites dos dois primeiros. No saneamento ambiental as tecnologias aplicadas são para reduzir e evitar impactos ambientais - incluem o reúso, reciclagem, uso racional e outras questões da sociedade moderna.

A depender da finalidade, os níveis de tratamento da água para reúso proveniente dos efluentes sanitários pode variar do secundário ao avançado (Quadro 2). A escolha do tipo de tratamento dos efluentes para as práticas de reúso depende de fatores socioeconômicos, tipo de aplicação, localização, terreno, disponibilidade dos recursos hídricos, cultura, crenças religiosas.

Quadro 2 - Níveis de Tratamento e Aplicação

Variáveis Níveis de Tratamento	Aumento do nível de tratamento 			
	Primário	Secundário	Filtração e Desinfecção	Avançado
Processos	Sedimentação	Oxidação e desinfecção biológica	Coagulação química, remoção de nutrientes químicos ou biológicos, filtração e desinfecção	Carbono ativado, osmose reversa, processos de oxidação avançado, tratamento do solo e aquífero etc.
Uso Final	Sem recomendação de uso	Irrigação de pomares e vinhedos	Irrigação paisagística e campos de golfe	Reutilização indireta de usos potáveis incluindo recarga de aquíferos e aumento dos níveis de reservatórios superficiais e reúso potável.
		Irrigação de culturas não alimentares	Descarga em sanitários	
		Reservatórios para paisagismo e restritos	Lavagem de veículos	
		Recarga de águas subterrâneas de aquífero não-potável	Irrigação de culturas alimentícias	
		Alagados ( <i>wetlands</i> ), habitat da vida selvagem, aumento do fluxo	Reservatórios para práticas de lazer	
		Processos de refrigeração industrial	Sistemas industriais	
Exposição humana	Aumentar até os níveis aceitáveis de exposição humana 			
Custo	Aumento dos custos 			

Fonte: US EPA, 2012

Quanto aos fatores ambientais, o reúso de água não é exclusivo das regiões áridas e semiáridas, pois são observadas restrições de consumo e conflitos em outras regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para as demandas, o que afeta o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (HESPANHOL, 2008).

Segundo Bischel (2011), é preciso considerar as experiências pretéritas e atuais devido as questões das mudanças climáticas, e indica, que a água de reúso é uma promessa para aumentar a oferta de abastecimento.

A água para reúso de um empreendimento deve ter consequência na redução dos volumes captados da fonte primária, aumento da disponibilidade de água para a bacia hidrográfica, seja para outros usuários ou meio ambiente, para dar um caráter de sustentabilidade (SOUZA, 2016).

Por fim, a respeito dos fatores econômicos, Bischel (2011) aponta a limitação dos estudos relacionados aos cenários de custos e economia.

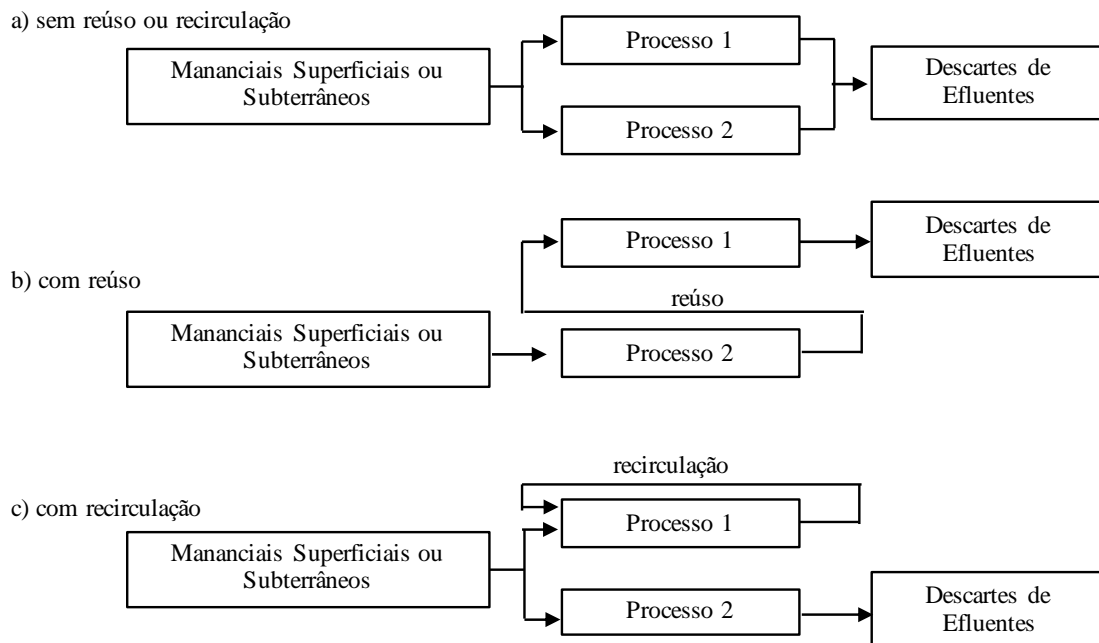
Os investimentos para promover a reutilização de água são elevados, quando comparados aos investimentos para captação de água doce. Para viabilizar o reúso é importante considerar a economia de longo prazo (MORRIS, 2021).

### **3.3.2 Reúso de água na mineração**

Segundo Jegatheesan (2021), na mineração é possível utilizar água de qualidade inferior à desejável ao consumo humano, visto que há diversas atividades que toleram água de qualidade inferior, como também sua demanda ocorre numa taxa relativamente constante durante todo o ano, exceto nos períodos de estiagem quando há aumento da demanda de água para controles ambientais, por exemplo: umectação de vias e pilhas de minério.

O reúso de água no setor de mineração já é realizado por diversas mineradoras. Em 2021 a Vale possuía na sua carteira de negócios o minério de ferro, metais básicos e carvão, sendo que naquele ano alcançou a taxa de 81,2% de reúso de água, correspondendo a um volume de 489,8 milhões de m<sup>3</sup>/ano (VALE, 2022a). O reúso macro interno na mineração ocorre pela recirculação da água ou efluente líquido, proveniente de um processo, tratado ou não, e é reutilizado no mesmo processo ou pelo reúso em processo diferente do gerador. Para melhor entendimento deste conceito, apresenta-se de forma esquemática processos sem e com reutilização de água, distinguindo o reúso e a recirculação (Figura 6).

Figura 6 - Desenho esquemático de suprimento de água sem e com reúso



Fonte: Asano et al. (2007), adaptado pelo autor.

Além da recirculação dos processos internos de uma usina de beneficiamento do minério (torre de resfriamento, espessador, selagem de bombas etc.), a principal estrutura que promove o reúso de água numa mineração de minério de ferro, considerando a rota de beneficiamento com uso de água, é a barragem de rejeitos. Essa recebe os rejeitos da usina de beneficiamento, que por meio de sedimentação, parte da água fica aprisionada nos interstícios do rejeito, parte é liberada e recuperada por meio de sistema de bombeamento como água de reúso à usina de beneficiamento e parte se perde (evaporação, infiltração, percolação).

Os processos industriais são diversos e específicos de cada indústria e os padrões de qualidade da água utilizada, seja na fabricação ou como fluido auxiliar, requerem estudo minucioso e detalhado, pois interferem na qualidade do produto. Entretanto, há diversas atividades que são comuns a diversas indústrias e não estão ligadas diretamente na fabricação do produto, em que os parâmetros de qualidade de água para reúso já estão estabelecidos nas normas e legislação, como as águas de utilidades. Estas podem ser definidas como aquelas águas utilizadas em atividades auxiliares aos processos industriais, sem serem parte ou entrarem em contato direto com os produtos (CNI, 2017). A exemplo tem-se a água utilizada como fluido de resfriamento e para sistemas de geração de vapor, consideradas atividades comuns à maioria das indústrias, além de serem as atividades maiores consumidoras de água cujas características de qualidade da água independe do tipo de indústria (CNI, 2017).

As atividades passíveis para a demanda de água de reúso não potável, são:

- Sistema de Refrigeração;
- Sistema de Aquecimento;
- Descargas sanitárias;
- Construção: lavagem de agregados; preparação de concreto; compactação do solo; controle de poeira pela umidificação de vias e outros processos no âmbito de construções que sejam realizados em área de acesso restrito<sup>1</sup> de forma que os funcionários não tenham contato direto com a água de reúso;
- Uso industrial: lavagem de peças, equipamentos, e veículos, lavagem de pisos e calçadas, sistema de combate a incêndio, lavagem de gases de chaminés, e outros processos que sejam realizados em área de acesso restrito de forma que os funcionários não tenham contato direto com a água de reúso;
- Irrigação: áreas verdes, áreas em processo de recuperação e cultivo de mudas.

A mineração apresenta muitos destes usos como desmonte hidráulico, aspersão de vias para controle de emissão de particulados, lavagem de equipamentos e transporte de materiais, lavagem do minério, podendo, portanto, fazer uso dos padrões de qualidade já estabelecidos.

Sobre o reúso macro externo na mineração, há pouco material publicado e de fácil acesso. Foram identificadas ao longo desta pesquisa dois casos, sendo um no Peru e outro na África do Sul.

Na região de Arequipa no sul do Peru, na bacia do rio Chili no deserto do Atacama, está instalado o empreendimento minerário Cerro Verde, empresa do grupo Freeport-McMoRan Inc, que opera uma mina de cobre. Nesta região, os índices pluviométricos anuais são da ordem de 50 mm o que torna o tema da água um desafio (WEATHER SPARK, 2022).

O rio Chili é a principal fonte de água da região de Arequipa e recebia descartes de efluentes industriais, domésticos e agrícolas, caracterizando um grave problema para a saúde da população (FRASER, 2017).

Neste cenário, e com a expansão do empreendimento Cerro Verde, por meio de um acordo entre as partes interessadas, nasceu o sistema de tratamento de efluentes La Enlozada (FRASER, 2017).

A construção, operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto foi de responsabilidade da mineradora. A La Enlozada, cuja capacidade de tratamento é de

---

<sup>1</sup> área de acesso restrito: área limitada à circulação de funcionários autorizados e com os equipamentos de proteção individuais adequados.



1,8 m<sup>3</sup>/s, teve um CAPEX<sup>2</sup> de US\$ 550 milhões e um OPEX<sup>3</sup> anual US\$ 5,6 milhões. Parte do efluente tratado é usado pela mineradora e a diferença volta ao rio para atender irrigantes que ficam a jusante (CERRO VERDE, 2019, 2020; FRASER, 2017). Com isso, o lançamento que era *in natura* dos efluentes sanitários no rio Chili pelo efluente gerado em Arequipa passou a ser tratado na ETE La Enlozada (CERRO VERDE, 2019, 2020; FRASER, 2017).

Cabe destacar que, a Cerro Verde também construiu uma outra estação para tratamento de água Miguel de La Cuba Ibarra, que auxilia no abastecimento de água de 300.000 habitantes de Arequipa como medida compensatória ao município (CERRO VERDE, 2019, 2020).

Uma outra iniciativa, localizada na cidade de Emalahleni, pertencente a província de Mpumalanga na África do Sul, está contida na bacia hidrográfica do rio Olifantes. Suas águas drenam para o Oceano Índico pelo interior do território de Moçambique. A região é marcada pela escassez hídrica e pela presença de atividades de mineração, cujos efluentes tem potencial para causar danos aos recursos hídricos locais (ANGLO AMERICAN, 2017).

A Anglo American, como forma de minimizar risco de contaminação das águas do rio Olifantes e ainda atender à demanda hídrica do município, construiu a estação de tratamento de esgoto Emalahleni (*Emalahleni Water Reclamation Plant*). A tecnologia utilizada por esta estação é a osmose reversa e a água utilizada no processo minerário é tratada e adequada ao nível de água potável. Assim, a cidade Emalahleni recebe uma vazão de 16 mil m<sup>3</sup>/dia de água potável, o que representa 12% da demanda hídrica do município. Trata-se aqui de reúso potável de água de estação de tratamento de esgoto (ANGLO AMERICAN, 2017).

Adicionalmente, a mineradora South32 mantém contrato com a Anglo American para o tratamento de seus efluentes para na estação Emalahleni. A venda da água ao município e o serviço prestado à South32 geram uma receita que corresponde a 60% dos custos operacionais da estação (ANGLO AMERICAN, 2017).

Em exemplo distinto, ao apresentado para o setor da mineração, foi identificado uma aplicação de água para reúso numa usina de energia na Austrália. Segundo Bütler (1995), a usina de carvão *Eraring Power Station* utiliza água de reúso proveniente da estação de tratamento de esgoto de Dora Creek. Este empreendimento está localizado na cidade do Lago Macquarie em New South Wales (NSW), Austrália.

O propósito inicial, da estação de tratamento de esgoto Dora Creek, foi tratar o esgoto de uma população de aproximadamente 24 mil habitantes (WATER TECHNOLOGY, 2022).

---

2 CApital EXpenditure: Investimentos em bens de capitais

3 OPerational EXpenditure. Despesas e dispêndios operacionais e investimento em manutenção de equipamentos

Também foi identificada a oportunidade de transferir o efluente tratado na ETE Dora Ckeek, que era descartado no Oceano Pacífico, para uso no empreendimento. Isso promoveria a redução de 53% do uso de água doce, que equivale a 4,2 milhões de L/dia. Assim, foram executadas as obras do emissário conduzindo a água para a usina de carvão e no suprimento das demandas das caldeiras de alta pressão. Para tanto, antes de ser reutilizada, a água passa por processo de filtração e purificação combinada com microfiltração e osmose reversa. O modelo desta iniciativa inclui um contrato entre a *Eraring Power Station* como usuária e a *Hunter Water Corporation* (HWC) sendo a fornecedora de água tratada num volume de 5,2 milhões de L/dia (POLLUTION PREVENTION SERVICES, 1996).

No Brasil foram inventariados, de forma preliminar, 20 projetos de água de reúso proveniente de efluentes sanitários, mas nenhum referente a mineração. O primeiro projeto iniciou suas operações no ano de 1998, denominado Projeto de reúso da ETE Jesus Netto, localizado em São Paulo, capital. O objetivo deste projeto foi o reúso não potável para fins urbanos, industriais, prefeituras e para serviços internos da própria SABESP (CH2M, 2016).

Como projeto de grande porte em operação foi identificado o Aquapolo, situado no bairro de Heliópolis, em São Paulo, que a partir do esgoto tratado na ETE ABC e associado a um tratamento complementar, tem capacidade de produção de 1.000 L/s de água para reúso atendendo a demanda de água não potável ao Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da região do ABC Paulista, totalizando 14 plantas industriais. Este empreendimento foi fruto de uma parceria pública privada e sua operação iniciou em 2012. O contrato do Aquapolo tem duração de 41 anos, no formato de locação de ativos (CH2M, 2016).

Por meio de biorreatores de membrana (*Membrane Bio Reactor* - MBR) e osmose reversa, tratamento de nível terciário, o Aquapolo produz água que atende os parâmetros de qualidade das demandas das torres de resfriamento do Polo Petroquímico de Capuava (CH2M, 2016).

O maior cliente entre as empresas usuárias é a Braskem, a qual tem obrigação de comprar no mínimo 381 L/s (40% da capacidade de produção do Aquapolo) e a Sociedade de Propósito Específico (SPE) tem obrigação de fornecer até 650 L/s de água (CH2M, 2016).

No Aquapolo os preços são fixos, podendo reduzir-se à medida que o volume demandado alcance o volume máximo contratual. Com isso as receitas são estáveis e previsíveis, desde que a SPE cumpra com seus requisitos de quantidade e qualidade. Quanto ao risco da SPE não cumprir com o fornecimento em quantidade a probabilidade é muito baixa, pois são coletados volumes entre 1.400 L/s e 1500 L/s, mais que o dobro do volume máximo de contrato (650L/s) (CH2M, 2016). Mas, é preciso assegurar a operação dos sistemas de

bombeamento e condução da água de reúso ao cliente final para garantir a vazão conforme contrato. Para garantir os requisitos de qualidade da água para reúso, foram definidos limites máximos de entrada e saída no Aquapolo (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade exigidos pelo polo petroquímico - água de reúso

Parâmetros	Efluente Secundário da ETE ABC (Entrada)	Efluente EPAI Aquapolo (Saída)	Valores Médios Água para reúso Aquapolo
Alumínio (mg/L)	0,2	0,2	0,03
Cobre (mg/L)	0,1	0,1	0,008
Ferro (mg/L)	1,5	0,3	0,14
Manganês (mg/L)	0,2	0,2	0,02
DBO (mg/L)	30	10	< 3
DQO (mg/L)	100	20	10,3
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	20	1	< 0,11
Fósforo (mg/L)	5	0,5	0,2
Sólidos em Suspensão (mg/L)	40	< 5	< 5
Fenóis (mg/L)	0,13	0,13	0,002
Surfactantes (mg/L)	5,1	1	0,22
Óleos e Graxas (mg/L)	10	< 5	< 5
Dureza (mg/L)	100	100	76,5
Sílica (mg/L)	20	20	5,2
Sulfetos (mg/L)	0,9	0,1	< 0,05
Turbidez (NTU)	15	1	0,16
Condutividade (us/cm)	650	600	600
pH	05/set	6,5 - 7,5	6,66
Dióxido de cloro residual (mg/L)	-	> 0,2	0,5

Fonte: CH2M, 2016

Ainda sobre os padrões de qualidade, o Aquapolo tem que garantir que a soma das concentrações dos parâmetros alumínio, cobre e manganês não excedam o valor de 0,4 mg/L (CH2M, 2016).

Para atender o parâmetro de condutividade igual a 600  $\mu\text{s/cm}$  exigido no contrato, parte do efluente que sai no reator de MBR passa pela planta de osmose reversa para redução da quantidade de sais, e, posteriormente, se junta ao efluente do reator de MBR a fim de diluir e adequar a concentração conforme acordado (CH2M, 2016).

Para verificar se os padrões de qualidade estão sendo cumpridos a qualidade da água para reúso é monitorada de forma contínua ou amostral, a depender do parâmetro, e por meio dos resultados analíticos faz-se a caracterização.

Segundo CH2M (2016), as penalidades contratuais são:

- redução da tarifa paga pelos efluentes, caso a SABESP entregue o efluente após tratamento ao Aquapolo abaixo da qualidade definida em contrato.
- Em caso de inadimplência pela Braskem num período superior a 30 dias, o Aquapolo pode suspender o fornecimento de água para reúso.

### 3.4 Documentos direcionadores ao reúso de água

#### 3.4.1 Documentos internacionais

Foi na Califórnia, Estados Unidos, que surgiu a primeira regulação sobre o reúso de água para fins de irrigação. Apresenta-se no Quadro 3 a evolução histórica dos critérios de reúso de água elaborado por Paranychianakis et al. (2015), percebe-se que são regulações e diretrizes das práticas de reúso na implementação, operação, instrução aos processos de licenciamento, definição dos padrões de qualidade a ser cumpridos, mapeamento e controle dos riscos dentre outros.

Quadro 3 - Evolução histórica dos critérios de reúso de água

Ano	Descrição
1918	Anterior a 1918, as águas residuárias eram aplicadas para fins de irrigação em várias regiões desde a idade do bronze. Não identificado nenhum índice para qualquer critério. Como medida de proteção o critério era o bom senso. <i>California State Board of Public Health</i> estabelece os primeiros regulamentos de reutilização de água para a irrigação de culturas consumidas cozidas.
1973	World Health Organization (WHO) divulga diretrizes de reutilização de água destinadas principalmente a países em desenvolvimento, incluindo limites de qualidade (100 FC/100 ml) e requisitos de tratamento (WHO, 1973).
1977	Itália regula a água para reúso na irrigação considerando processos de tratamento (CITAI, 1977).
1978	Califórnia define a regulação (Title 22) da água para reúso irrestrito na irrigação (2.2 TC/100 ml; State of California, 1978).
1978	Israel emite regulamentos para reutilização de água na irrigação definindo requisitos de tratamento, limites de qualidade (irrigação irrestrita: 12 FC/100 ml em 80% das amostras; 2,2 FC/100 ml em 50% das amostras), culturas e barreiras adicionais.
1980	United States Environmental Protection Agency (US EPA) publica o primeiro guia de água para reúso (US EPA, 1980).

Continua...

...continuação

Ano	Descrição
1983	Florida: define ausência de E. coli detectável/100 ml para culturas consumidas cruas (US EPA, 2004).
1983	Publicação sobre as questões do saneamento e saúde pública. Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management (Feachem et al., 1983).
1984	Arizona: Padrões para vírus (1 vírus/40 L) e Giardia (1 cyst/40 L; U.S. EPA, 2004).
1985	International Water and Sanitation (IRC) publica documento sobre os problemas relacionados do uso de efluentes sanitários na agricultura e aquicultura. Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Relatório Engelberg (IRCWD, 1985).
1986	Relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Banco Mundial apresenta modelo epidemiológico teórico para avaliação quantitativa do risco (Shuval et al., 1986).
1989	World Health Organization (WHO) publica a primeira revisão das diretrizes de reutilização de água (irrigação irrestrita: 1000 FC/100 ml; <1 ovo de nematoide/l) com base nas conclusões dos relatórios anteriores (WHO, 1989).
1991	Recomendações francesas para reutilização de água com base nas diretrizes da OMS (Circular no. 51 of July 22, 1991, of the Ministry of Health).
1992	United States Environmental Protection Agency (US EPA) atualizou suas diretrizes de reúso de água orientando os estados a estabelecerem seus próprios critérios (U.S. EPA, 1992).
1999	Revisão da regulamentação de Israel: irrigação irrestrita <1 FC/100 mL e uma abordagem multibarreira (Fine et al., 2007).
2000	Diretrizes australianas foram publicadas definindo quatro qualidades microbiológicas de água reciclada correspondentes aos usos pretendidos (NHMRC, 1999).
2000	Regulamentos da Califórnia revisados para incluir aplicações adicionais de água reciclada (State of California, 2000).
2003	World Health Organization (WHO). "State of the Art Report on Artificial Recharge of Groundwater with Recycled Water" (Aertgeerts and Angelakis, 2003).
2003	Itália emite regulamentos para reutilização de água (Ministry Decree no. 185/2003).
2004	United States Environmental Protection Agency (US EPA) revisa suas diretrizes de reúso de água para incluir o uso potável indireto (U.S. EPA, 2004).
2005	Chipre emite critérios para reutilização de água na agricultura (Decree no. 296/03.06.05).
2006	World Health Organization (WHO) publica sua segunda revisão das diretrizes de reúso de água 'Treated Wastewater in Agriculture: Risk analysis and management' which adopt a quantitative risk assessment methodology (WHO, 2006).

Continua...

...continuação

Ano	Descrição
2006	“Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks” (EPHC-NRMMC-AHMC, 2006).
2006	World Health Organization (WHO) publica sua segunda revisão das diretrizes de reúso de água ‘Treated Wastewater in Agriculture: Risk analysis and management’ which adopt a quantitative risk assessment methodology (WHO, 2006).
2006	“Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks” (EPHC-NRMMC-AHMC, 2006).
2006	Portugal libera regulamentação para reutilização de água (Portuguese Standard NP 4434).
2007	Espanha emite regulamentos de reutilização de água (Royal Decree 1620/2007).
2010	França define critérios de reutilização de água (Journal Officiel de la Republique Francaise, 2010).
2011	Grécia emite regulamentos de reutilização de água (Common Ministerial Decision 2011).
2012	United States Environmental Protection Agency (US EPA) atualiza suas diretrizes para reúso de água (U. S. EPA, 2011).
2013	Comissão da União Européia (EU) atribui ao grupo de trabalho o desenvolvimento de uma estratégia para a maximização da reutilização da água na EU denominado “ <i>Program of Measures</i> ”. Esta ação pode iniciar o desenvolvimento de critérios baseados na EU.
2014	<i>California Department of Public Health</i> emite regulamentação para reúso de água potável por meio de recarga de aquíferos (CDPH, 2014).
2019	Guia para a Reutilização de Água - Usos Não Potáveis (Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal, 2019).
2021	Victorian guideline for water recycling (Environment Protection Authority Victoria, Austrália, 2021).

Fonte: Paranychianakis et al. (2015), adaptada pelo autor.

### 3.4.1 Documentos no Brasil

Em nível federal, ainda não há no Brasil instrumento legal mandatório, a exceção da resolução 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, que especifica as diferentes modalidades e seus respectivos padrões de qualidade de água de reúso (SANTOS et al, 2021). Mas o reúso já é uma realidade no país, estados e municípios e seus respectivos órgãos e conselhos já apresentam diversas legislações, deliberações, entre outros sobre o tema. Há também legislações federais que já fazem menção ao reúso de água e a necessidade de regulamentação. Além disto, tem-se as normas, diretrizes e manuais entre outros que tratam do tema água de reúso.

Os principais documentos referentes à água para reúso não potável estão apresentados no Quadro 4 em ordem cronológica. O Brasil está seguindo o mesmo formato de evolução da regulação que ocorreu no mundo. Primeiro são estabelecidas as regulações e posteriormente são lançados os guias para orientar as práticas de reúso de forma segura.

Quadro 4 - Documentos sobre o Reúso de Água no Brasil

Ano	Descrição
1997	<b>Norma NBR 13.969/1997.</b> Estabelece procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico, dentro do sistema de tanque séptico para o tratamento local de esgotos. Inclui o reúso de água como uma alternativa para redução dos volumes a serem descartados no meio ambiente. (Brasil)
2005	<b>Resolução 54/2005.</b> Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. (Brasil)
2006	<b>Decreto 47.731/2006.</b> Regulamenta o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reúso em Edificações, Instituído Pela Lei Nº 14.018, de 28 de junho de 2005. (São Paulo)
2007	<b>Lei Federal 11.445/2007.</b> Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). (Brasil)
2009	<b>Lei 14.934/2009.</b> Autoriza o Poder Executivo a celebrar contratos, convênios ou quaisquer outros tipos de ajustes necessários, inclusive convênio de cooperação e contrato de programa, com o Estado de São Paulo, a Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo – ARSESP e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, para as finalidades e nas condições que especifica; cria o Fundo Municipal de Saneamento Ambiental e Infraestrutura; e dá outras providências. (São Paulo)
2010	<b>Resolução 121/2010</b> Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005.

Continua...

...continuação

Ano	Descrição
2013	<b>Deliberação 156/2013.</b> (revogada, pela Deliberação CRH nº 204/2017) Estabelece diretrizes para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de sistemas públicos para fins urbanos e dá outras providências, no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH. (Brasil)
2014	<b>Resolução Conjunta SVDS/SMS 09/2014.</b> Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável de água, proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETES) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. (Campinas, São Paulo)
2015	<b>Lei 16.174/2015.</b> Estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático e revoga a Lei Municipal nº 13.309/2002, no âmbito do Município de São Paulo e dá outras providências. (São Paulo)
2015	<b>Lei 16.172/2015.</b> Proíbe a lavagem de calçadas com água tratada ou potável e fornecida por meio da rede da Sabesp que abastece o Município de São Paulo, e dá outras providências. (São Paulo)
2016	<b>Lei 16.033/2016.</b> Dispõe Sobre a Política de Reúso de Água Não Potável no Âmbito do Estado do Ceará. (Ceará)
2016	<b>Lei 16.103/2016.</b> Cria a tarifa de contingência pelo uso dos recursos hídricos em período de situação crítica de escassez hídrica. (Ceará)
2016	<b>Projeto de Lei 58/2016.</b> (Tramitação encerrada, arquivado) Disciplina o abastecimento de água por fontes alternativas e altera as Leis nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana; nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. (Brasil)
2016	<b>Lei 10.487/2016.</b> Dispõe sobre a prática do reúso de efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs para fins industriais. (Espírito Santo)
2016	<b>Lei 7.424/2016.</b> Fica obrigada a utilização de água de reúso pelos órgãos integrantes da administração pública estadual direta, das autarquias, das fundações instituídas ou mantidas pelo poder público, das empresas em cujo capital do Estado do Rio de Janeiro tenha participação, bem como pelas demais entidades por ele controladas direta ou indiretamente (Rio de Janeiro)
2016	<b>Lei 6.616/2016.</b> Institui, no município de Caxias do Sul, o programa municipal de conservação, reúso e uso racional da água. (Caxias do Sul, Rio Grande do Sul)
2017	<b>Resolução COEMA Nº 2 DE 02/02/2017.</b> Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. (Ceará)
2017	<b>Resolução conjunta SES/SMA/SSRH 1/2017.</b> Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas". (São Paulo)

Continua...



...continuação

Ano	Descrição
2017	<b>Instrução Técnica DPO (DAEE) 13/2017.</b> Esta Instrução Técnica DPO (IT-DPO) tem por objetivo regulamentar a Deliberação nº 156, de 11/12/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH e indicar as exigências do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, para obtenção da Declaração sobre Viabilidade de Implantação (DVI) de empreendimentos e da outorga de direito de uso de recursos hídricos pelo produtor de água de reúso direto, não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário de Sistemas Públicos – ETEs.
2017	<b>Projeto de Lei 8.277/2017. (em tramitação)</b> Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, e dá outras providências.
2017	<b>Lei 7.599/2017 (Rio de Janeiro).</b> Dispõe Sobre a Obrigatoriedade de Indústrias Situadas no Estado do Rio de Janeiro Instalarem Equipamentos de Tratamento e Reutilização de Água.
2017	<b>FIESP e CNI, 2017.</b> Manual de Reúso de Água Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e (CNI). O uso racional da água no setor industrial.
2017	<b>CNI, 2017</b> Reúso de efluentes: metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial.
2017	<b>Programa de Desenvolvimento do Setor Água - Interáguas (ANA 2018, Brasil)</b> Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil.
2018	<b>Projeto de Lei 10.108-A/2018. (em tramitação)</b> Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei do Saneamento Básico), a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), e a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas), para instituir normas sobre o abastecimento de água por fontes alternativas; tendo parecer da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, pela aprovação deste, do de nº 10455/18, apensado, e da emenda apresentada Comissão, com substitutivo (relator: DEP. SARNEY FILHO).
2018	<b>Projeto de Lei 10.108-A/2018. (em tramitação)</b> Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei do Saneamento Básico), a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), e a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas), para instituir normas sobre o abastecimento de água por fontes alternativas; tendo parecer da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, pela aprovação deste, do de nº 10455/18, apensado, e da emenda apresentada Comissão, com substitutivo (relator: DEP. SARNEY FILHO).
2019	<b>Norma NBR 16.783/2019.</b> Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações.
2019	<b>CNI, 2019.</b> Reúso de Efluentes para Abastecimento Industrial: Avaliação da Oferta e da Demanda no Estado Da Paraíba.
2020	<b>Projeto de Lei 2451/2020. (em tramitação)</b> Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, e dá outras providências.
2020	<b>Lei 14.026/2020. (Brasil)</b> Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento...
2020	<b>DN CERH-MG 65/2020</b> 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 e dá outras providências. (Minas Gerais)

Continua...

...continuação

Ano	Descrição
2021	<b>Lei 17.383/2021.</b> Dispõe sobre a criação de unidades regionais de saneamento básico, com fundamento nos artigos 2º, inciso XIV, e 3º, inciso VI, alínea "b", da Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e dá providências correlatas.
2022	<b>Relatório. Governo do Estado do Rio de Janeiro et al. 2022. (Rio de Janeiro).</b> Panorama geral das oportunidades de reúso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos
2022	<b>Proposta Resolução S/N/2022.</b> Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.
2022	<b>CEBDS, 2022.</b> Água de Reúso: Oportunidades e Riscos para o Setor Empresarial.

Dos documentos apresentados no Quadro 4, destaca-se de forma cronológica aqueles vigentes e que podem contribuir para a evolução do aproveitamento da água para reúso não potável provenientes de estações de tratamento de efluentes sanitários. São eles:

- 1) NBR 13969 (ABNT, 1997) foi a primeira norma que considerou o reúso de água não potável proveniente de efluentes sanitários, no caso de tanques sépticos, como solução para otimizar os usos ao aumento da demanda pelo crescimento demográfico. Foram definidas 4 classes e respectivos padrões de qualidade da água para reúso não potável, bem como orientação sobre o nível de tratamento necessário.
- 2) Diversas leis estaduais e municipais sobre água para reúso foram publicadas, incluindo leis de caráter restritivo. São Paulo (2015) proibiu o uso de água tratada ou potável fornecida pela SABESP para lavagem de calçadas. Ceará (2016) instituiu a tarifa de contingência pelo uso dos recursos hídricos em períodos de escassez hídrica. Rio de Janeiro (2017) determina que as indústrias são obrigadas a instalarem sistemas de tratamento e reutilização de água.

Quanto a definição de parâmetros de qualidade para o reúso não potável, em 2017 ainda foram publicadas duas resoluções:

- 1) Resolução conjunta SES/SMA/SSRH 1/2017 que disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas (SÃO PAULO, 2017)
- 2) Resolução COEMA Nº 2 DE 02/02/2017 que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (CEARÁ, 2017).

Ainda em 2017 são publicados dois documentos específicos para o reúso de água na indústria:

- 1) O uso racional de água no setor industrial elaborado pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - FIESP e pela Confederação Nacional da Indústria - CNI. Este documento aborda um conjunto de informações direcionando o uso eficiente e as boas práticas da água de reúso nas indústrias (CNI; FIESP, 2017).
- 2) Reúso de efluentes: metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial elaborado pela Confederação Nacional da Indústria - CNI. Neste documento apresenta uma metodologia para análise do potencial da água de reúso de efluentes sanitários. O objetivo é indicar o reúso de efluentes sanitários como fonte alternativa e solução de suprimento para as demandas de água do setor industrial, principalmente em zonas de estresse hídrico (CNI, 2017).

O Programa de Desenvolvimento do Setor Água (Interáguas) nasceu em 2012 por meio de acordo entre o governo brasileiro e o Banco Mundial. O objetivo principal do programa foi propor planos de ações para a instituição da água de reúso de estações de tratamento de efluentes sanitários. Seu legado foi a elaboração de documentos que trataram das experiências nacional e internacional do reúso, da definição de padrões de qualidade e da avaliação do potencial do reúso no Brasil. Também são apresentados possíveis modelos de financiamento, e por fim, do plano de ação para criação de uma política da água para reúso proveniente de estações de tratamento de efluentes sanitários no Brasil. O Interáguas produziu 6 documentos sendo o primeiro publicado em 2016 e o último em 2018.

Em 2019, foi publicada a norma 16783 (ABNT, 2019) que orienta sobre a caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações. Também foram definidos o rol de parâmetros e respectivos limites a serem atendidos para aplicações de usos não potáveis (ABNT NBR 16783, 2019).

Em 2020, foi atualizada a lei federal do marco legal do saneamento, Lei 14.026 (BRASIL, 2020). Nesta lei foi determinada que a água para reúso de estações de tratamento de efluentes sanitários seja incorporada ao esgotamento sanitário. Nas metas foi incluído o reúso na expansão dos serviços de saneamento, bem como na geração de receitas entre o contratante e contratado.

Ainda, em 2020, foi publicada a Deliberação Normativa (DN) nº 65 do Conselho Estadual de Recursos de Hídricos de Minas Gerais, que estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável proveniente de ETE (MINAS GERAIS, 2020). Como pontos positivos a DN 65 instrui o processo de cadastro e autorização do reúso

no Estado de Minas Gerais, determina os padrões de qualidade mínimo a serem obedecidos, dar autonomia e responsabilidade a indústria para definir o padrão de qualidade da água para reúso a ser utilizada nos seus processos internos, desde que atenda as normas de segurança do trabalho. Ela representa um avanço da legislação de reúso de água proveniente da estação de tratamento de esgoto e um incentivo do governo do Estado para que a prática de reúso torne realidade em Minas Gerais.

Segundo Melo (2021), em Minas Gerais há um potencial instalado para produzir água de reúso a partir de estações de efluentes sanitários numa vazão da ordem de 13 m<sup>3</sup>/s. Melo (2021), indica um cenário promissor para o futuro, podendo alcançar uma produção de água de reúso na ordem de 12% da demanda de água do Estado. Para tanto, é preciso que as metas estabelecidas do novo marco legal do saneamento (Lei 14.026/2020) sejam cumpridas (MELO, 2021). Porém, recomenda-se que, para viabilizar empreendimento produtores de água de reúso, melhorias nas estações de tratamento de efluentes sanitários devam ser implementadas para a remoção de patógenos - parâmetro adotado em Minas Gerais (MELO, 2021).

Em 2022, o estudo sobre “Água de Reúso de Estação de Tratamento de Efluentes: Oportunidades e Riscos para o Setor Empresarial” foi publicado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). Tal estudo foi elaborado por consultoria especializada e pelos membros da Câmara Temática Água. Essa câmara é representada por profissionais das principais empresas instaladas no Brasil. O objetivo desse estudo foi ampliar o conhecimento sobre o tema e fomentar a prática do reúso de água das estações de tratamento de efluentes sanitários no Brasil.

Diante deste contexto, verifica-se que algumas etapas sobre as práticas de água para reúso não potável proveniente de estações de tratamento de efluentes sanitários foram cumpridas. Entretanto, é fundamental avançar nas políticas públicas para institucionalizar e fomentar tais práticas. É responsabilidade do poder público ser protagonista junto ao setor industrial e demonstrar que tal prática é segura e confiável principalmente em eventos de crise hídrica, permitindo a manutenção da atividade produtiva e até mesmo sua ampliação (RIO DE JANEIRO *et al.*, 2022).

Conforme supracitado, no Brasil não há instrumento legal mandatário a nível federal aprovado que especifica os padrões de qualidade da água para reúso não potável. Porém, foi aberta consulta pública em 20 de outubro de 2022, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), para contribuição de toda a sociedade, referente a minuta que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, em atendimento às diretrizes, ações e metas do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040.

O prazo para contribuição foi até o dia 8 de novembro de 2022 e até a data de 19 de novembro de 2022 a mesma não foi instituída como resolução. Assim, as definições estabelecidas nesta minuta não foram consideradas neste documento.

## 4. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

### 4.1 Desenvolvimento da revisão bibliométrica

Buscou-se nesta revisão compreender sobre as questões relacionadas ao reúso de água, considerando: Quais são os conceitos? Quais práticas que estão em operação no Brasil e em outros países? Quais legislações, diretrizes e normas específicas suficientes? Quais são os parâmetros e quais qualidades requeridas? Quais são os tratamentos empregados? Quais os casos de sucesso? Quais são as barreiras? Onde estão acontecendo os maiores estudos de reúso aplicados na mineração? Quem está pesquisando? Quais são as fontes mais relevantes? Quais palavras-chave são mais utilizadas? Se há modelo de negócio definido?

Para a revisão bibliográfica, a pesquisa foi por meio da busca de documentos relativos à crise hídrica; sobre a relação entre a água e a mineração; aos conceitos de reúso de água; aos fatores impulsionadores ou impeditivos do reúso de água; ao reúso de água na mineração; ao contexto legal; aos padrões de qualidade requeridos aos usos pretendidos; e aos modelos de negócio existentes. Os resultados da pesquisa bibliográfica estão apresentados no item 3 deste documento.

Já para a pesquisa bibliométrica, considerou-se entender onde estão sendo estudados a água proveniente de estações de tratamento de efluentes sanitários com aplicação do reúso na mineração.

Segundo Guedes (2005), a bibliometria é constituída por um conjunto de leis e princípios empíricos. Estes contribuem com o estabelecimento dos fundamentos teóricos da Ciência da Informação.

A metodologia adotada foi a revisão sistemática considerando 6 etapas: i) definir o tema de pesquisa e objetivo; ii) definir a base de dados a ser consultada; iii) definir as palavras-chave; iv) definir as *strings* e selecionar a mais adequada para o aprofundamento da pesquisa; v) organizar o material encontrado; e vi) analisar os dados por meio dos softwares Rstudio™ e VOSviewer.

O tema de pesquisa foi o reúso de água provenientes de estação de tratamento de esgotos municipais aplicado às empresas de mineração. O objetivo foi conhecer o panorama e evolução do tema reúso de água e, especificamente, do uso de efluentes tratados de estação de tratamento de esgoto como fonte alternativa de água não potável para a mineração.

Os documentos de consulta considerados foram os artigos publicados na base de dados Scopus por possuir inúmeras publicações na área da engenharia.

Para definir as palavras-chave, foram verificadas quais são as palavras mais utilizadas considerando o reúso de água e efluentes no contexto da mineração. Nesta consulta foram identificadas 29 palavras, sendo 13 selecionadas para combinar e resultou em 29 *strings*. Tais palavras foram: *effluent*, *industry*, *mining*, *municipal wastewater*, *non-potable*, *reclaimed water*, *recycled water*, *reuse*, *sewage*, *treated sewage effluent* (TSE) e *water*. Para a construção das *strings* utilizou-se os conectivos “AND”, condição “OR” e o caractere “\*” e na base da Scopus aplicou-se o filtro “TITLE-ABS-KEY”.

Das 29 *strings* estabelecidas, como critério de seleção priorizou aquelas que continham a maior quantidade de artigos revisados por pares e a palavra *mining* na *string* para o avanço da pesquisa. Assim, selecionou-se a *string water\* AND reuse\* AND mining*, que inicialmente foram identificados 382 artigos, sendo 35 artigos de revisão. Esta pesquisa ocorreu no dia 26/10/2021 considerando todo o intervalo de tempo - anos 1970 e 2020.

Observou-se nesta pesquisa que incluir a palavra não potável nas *strings* não aumenta a quantidade de artigos. Entende-se que isso ocorreu porque o reúso de água direcionado para a mineração é para os processos, ou seja, não demandam água potável.

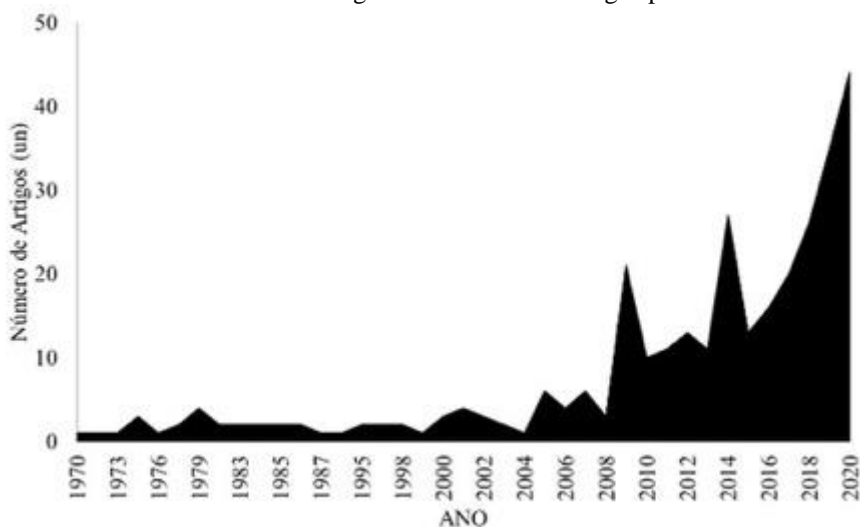
Após selecionada a *string*, utilizou-se o *software* Mendeley™ para organizar os artigos encontrados. Suas principais informações técnicas foram carregadas neste *software* por meio de arquivos no formato BibTex. Isso permitiu identificar de forma organizada os autores, títulos, resumo e referências. Dos 382 artigos identificados anteriormente na base do Scopus, após análise no Mendeley™ e avaliação dos títulos e resumos, 10 foram excluídos, pois não tinham identificação ou eram documentos duplicados, resultando em 372 artigos.

Para análise de dados e elaboração de mapas bibliográficos dos 372 artigos encontrados, utilizou-se os softwares Rstudio™ e VOSviewer, respectivamente. O primeiro foi aplicado para responder as seguintes questões: quantos artigos foram publicados e em quais anos; quais autores foram mais relevantes; quais foram os países que mais publicaram sobre o tema; quais foram as palavras-chave que tiveram maior ocorrência e; quais foram as fontes mais relevantes. Já o segundo *software* foi aplicado para compreender a correlação entre os autores, citações, cocitações e países.

A seguir são apresentados estes resultados considerando os 372 artigos selecionados da base de dados Scopus.

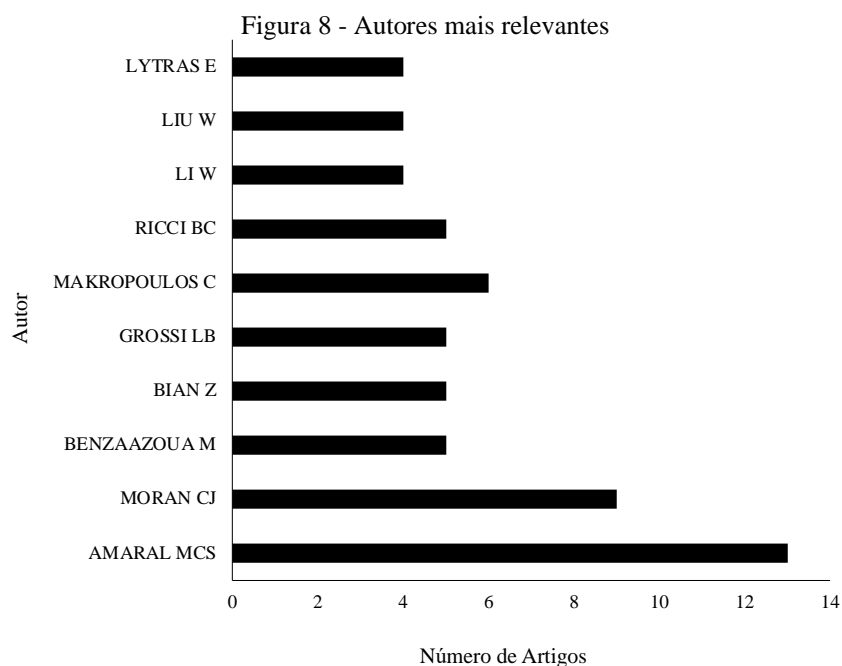
Na Figura 7, pode-se dizer que entre os anos 1970 até 2007 o número de publicações foi menor do que 10 publicações por ano. A partir de 2008, o tema teve maior relevância no ambiente científico devido o crescimento no número de publicações.

Figura 7 - Número de artigos publicados

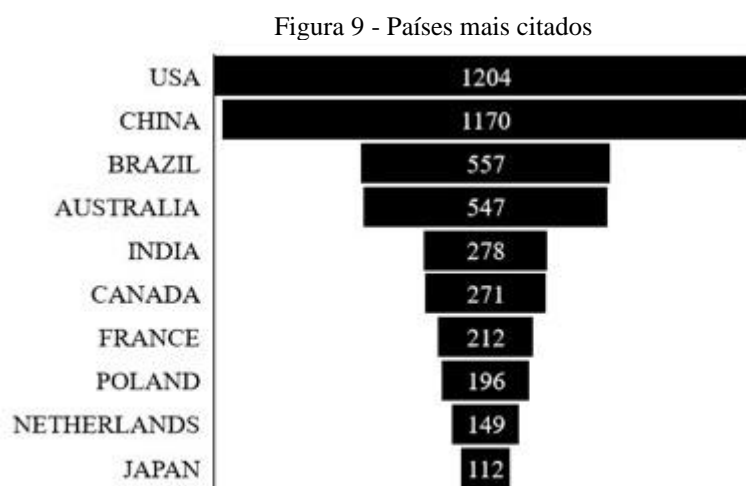


Referente aos autores mais relevantes destacou-se M. C. S Amaral (2015, 2016, 2017, 2018a, 2018b, 2018c, 2020a, 2020b, 2020c, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com 13 artigos publicados referentes a temas de tratamento de água e efluentes de processos de mineração, no período de 2015 a 2021 (Figura 8). Entretanto, suas publicações não foram referentes ao reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto aplicados a mineração. Suas publicações foram sobre o reúso dos efluentes de drenagem ácida da mineração e recuperação de metais e ácidos. Já C. Makropoulos (2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2021) do Departamento de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Técnica Nacional de Atenas, Grécia, apresentou 6 publicações, sendo 5 mais aderentes a linha de pesquisa desta dissertação.





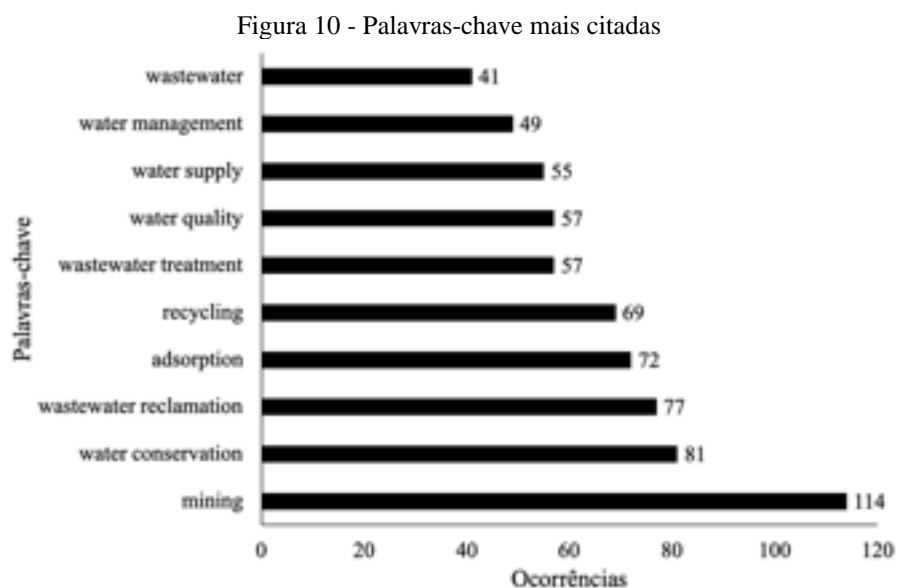
Dentre os países mais citados, o Brasil teve 557 citações ocupando o terceiro lugar, ficando atrás dos Estados Unidos e China indicando que estes são referências para o tema reúso (Figura 9).



Na verificação das palavras-chave mais relevantes, *mining* foi citada 114 vezes ocupando a primeira posição. Das 10 palavras-chave mais relevantes, a palavra “artigo” foi citada com 58 ocorrências. Para entender o porquê desta citação, os 372 artigos foram consultados para verificar a consistência deste resultado. Nesta consulta, confirmou-se que isso não ocorreu, então, a palavra “artigo” foi descartada e em seu lugar incluída a palavra que estava

na décima primeira posição, *wastewater*. As 10 (dez) palavras-chave mais citadas estão apresentadas na Figura 9.

Outra constatação foi que a palavra “*reuse*” não apareceu entre as 10 palavras que tiveram o maior número de ocorrências. *Water reuse*, *reuse* e *wastewater reuse* apareceram na trigésima, na nonagésima sétima e na trecentésima décima posições.



As fontes mais relevantes foram verificadas pelo número de publicações ao longo dos anos (Tabela 4). Observa-se que há um equilíbrio no número de publicações entre as 5 fontes que mais publicaram ao longo dos anos, com número de 10 a 14 publicações.

Tabela 4 - Fontes mais relevantes

Fonte	Número de Artigos
<i>Journal of cleaner production</i>	14
<i>Environmental science and pollution research</i>	11
<i>Separation and purification technology</i>	11
<i>Desalination</i>	10
<i>Desalination and water treatment</i>	10
<i>Water science and technology</i>	9
<i>Meitan xuebao/journal of the China coal Society</i>	8
<i>Minerals engineering</i>	7
<i>Journal of hazardous materials</i>	5
<i>Nongye gongcheng xuebao/ transactions of the chinese society of agricultural engineering</i>	5

Uma outra análise, a fim de complementar a pesquisa bibliométrica, foi verificar as conexões destes artigos. Para tanto, selecionou-se o *software VOSviewer* para elaborar e visualizar as redes bibliométricas dos 372 artigos selecionados.

Para obter estes resultados no *VOSviewer* foram determinadas condições de entrada as quais estão indicadas a seguir:

- Para a construção do mapa de citações entre os autores foram adotadas as seguintes condições de contorno: ignorado documentos com número de autores maior que 10, no mínimo 2 documentos por autor e no mínimo 10 citações por autor. Isso, resultou em relações de 108 autores dos 1.701 autores. Dos 108 autores identificados foi aplicado o filtro de 10 autores.

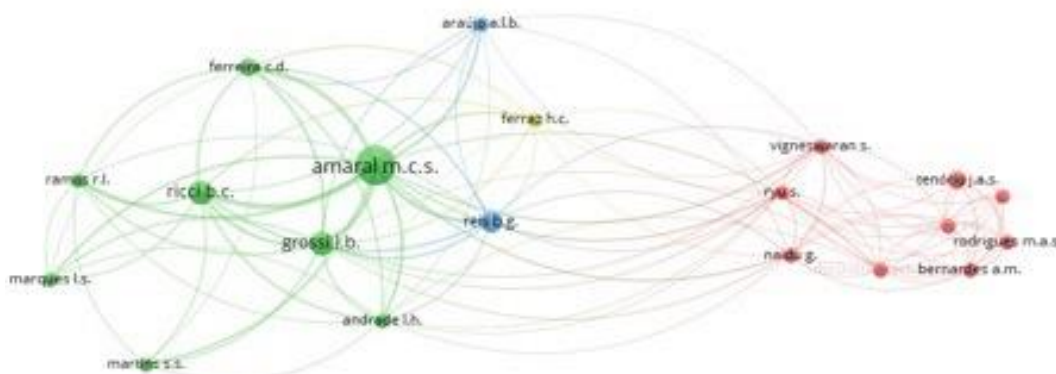
Na Tabela 5 estão apresentados os autores mais relevantes. Destaque para M. C. S. Amaral com 13 documentos e 174 citações.

Tabela 5 - Autor x Citação

Autor	Documentos	Citações
Bian Z.	5	419
Moran C.J.	10	327
Rubio J.	5	256
Amaral M.C.S.	13	174
Wang H.	3	161
Benzaazoua M.	6	145
Ricci B.C.	5	128
Bussière B.	3	108
Thiruvengkatchari R.	2	106
Ferreira C.D.	3	105

Sobre a correlação entre as citações dos autores e nas suas respectivas publicações, verifica-se 4 grupos nas cores verde, vermelho, azul e amarelo (Figura 10).

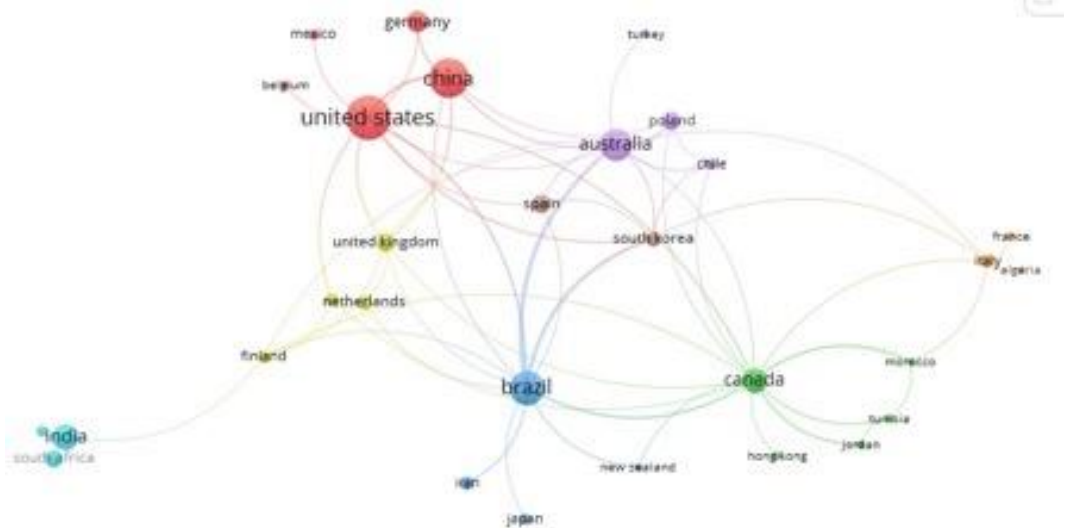
Figura 11 - Mapa citação de autores



Fonte: Análise de resultados - *VOSviewer*

Na Figura 12, pode-se observar a afinidade entre os países e as respectivas citações. Observa-se que, Brasil, Austrália e Canadá se correlacionam apesar de estarem em grupos distintos, e é bem provável que isso deve-se a presença da mineração nestes países.

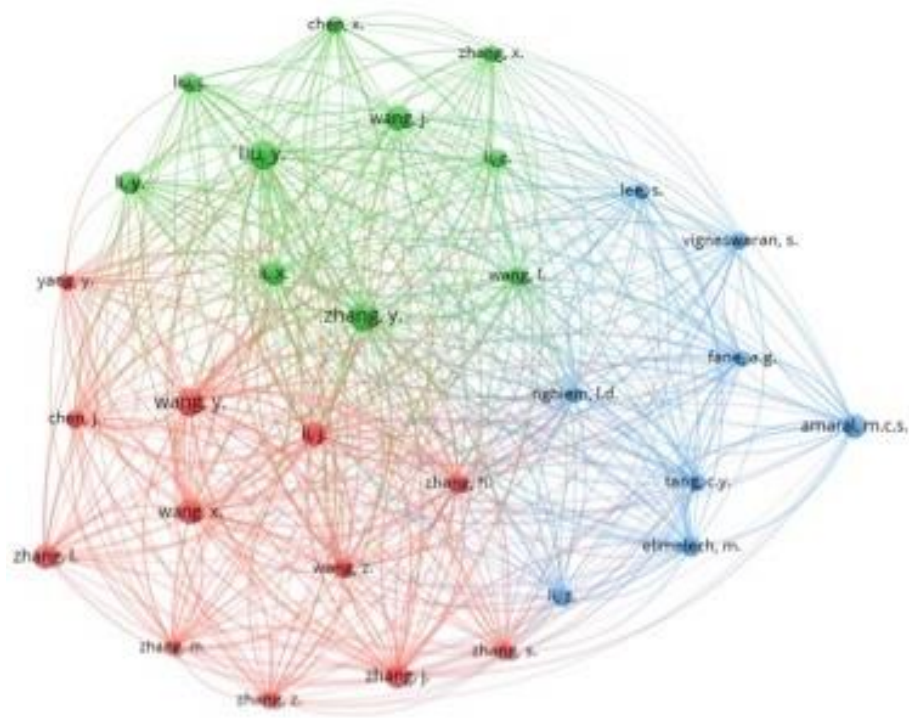
Figura 12 - Mapa citação de países



Fonte: Análise de resultados do software VOSviewer

Na Figura 13 está apresentado o mapa de cocitação entre autores, que é a correlação entre dois artigos que foram citados em conjunto em um terceiro artigo. Observa-se nesta figura a predominância de 03 (três) grupos nas cores verde, vermelho e azul como também uma correlação forte entre os autores asiáticos. Este tipo de análise apresenta a relevância do artigo ou do autor entre outros autores.

Figura 13 - Mapa cocitação de autores



Fonte: Análise de resultados do software VOSviewer

Os resultados desta pesquisa bibliométrica que contribuíram para a esta dissertação foram:

- Identificado o guia elaborado e publicado pela *Environment Protection Authority* Victoria (EPA Vitória, 2021) o qual determina as classes de água para reúso aos respectivos usos e orientações para flexibilizar a implementação destas práticas;
- Identificado apenas 1 artigo sobre reúso de água de estação de tratamento de esgoto para a mineração numa área desértica no México (GAINÉZ, et al., 2009). Porém, este artigo não estava disponível de forma gratuita;
- Verificado que há diversos artigos sobre reúso interno na mineração e confirmado há carência de pesquisas sobre o reúso de água proveniente de estações de tratamento de esgoto para os processos do setor;
- Como curiosidade a palavra *mining* quando consultada com *sewage* refere-se a exploração dos esgotos e não a atividade de mineração, ou seja, nos países onde as práticas de reúso estão mais avançadas já se enxerga o esgoto como recurso.

## 4.2 Padrões de Qualidade da água de reúso

Por meio de pesquisas bibliográfica e bibliométrica foram compilados valores padrão de qualidade da água para reúso não potável para atividades industriais com base em referências nacionais e internacionais, sendo estas últimas as seguintes:

- Organização Mundial de Saúde (OMS);
- Agência Ambiental dos Estados Unidos– *Environmental Protection Agency* (US EPA);
- Países que já praticam o reúso de forma consolidada, priorizando aqueles que tem a presença da mineração.

Além disso, foram observadas as seguintes premissas:

- Priorizadas referências brasileiras e considerada a comparabilidade com os valores padrão das demais referências consultadas;
- Priorizadas referências com maior quantidade e qualidade de informações;
- Considerado se os valores de referência existentes eram específicos para o uso em questão ou se atendiam também a outros usos, orientando a seleção do valor;
- Considerado tanto a saúde e segurança dos trabalhadores, quanto a integridade dos equipamentos específicos dos processos para ser aplicada a água para reúso;
- Considerado que os padrões de qualidade da água de reúso indicados nas referências consultadas são condizentes aos padrões requeridos sem prejuízo ao processo produtivo.

Assim, as referências consultadas para recomendação dos parâmetros de qualidade foram: CROOK, (1993); FIESP, (2005); GB/T 19923, 2005 apud LIU, (2014); US EPA, (2004), MANCUSO, (2001).

US EPA (2012) recomenda cuidados e proteção à saúde pública para as atividades supridas com água para reúso não potável, pois como não necessita alcançar padrões de qualidade para o uso potável oferece riscos aos usuários. Outros cuidados que devem ser atendidos são a limitação da exposição por contato, inalação ou ingestão, profissionais com treinamento e equipamentos de proteção individual adequados.

Além dos cuidados com a saúde, os requisitos de qualidade de água devem ser condizentes com a qualidade requerida ao uso pretendido de forma a não prejudicar a performance produtiva como também danificar ou reduzir a vida útil dos equipamentos (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Diante deste contexto, apresenta-se a seguir alguns parâmetros que precisam de atenção a fim de evitar rejeição e problemas associados:

- Alumínio: aumento da turbidez ou descoloração da água (SENGUPTA, 2017);
- Coliformes termotolerantes: Risco à saúde (OMS, 1973);
- Cor: Rejeição ou “*yuck factor*” que pode ser traduzido para “fator eca” – que é a repugnância ou a não aceitação de produtos produzidos com água de reúso (SANTOS; VIEIRA, 2020a);
- pH, condutividade, alcalinidade, cálcio, sólidos suspensos, turbidez, DQO e cloretos: incrustação, corrosão, deposição e contaminação microbiológica (FIESP, 2017);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): Efeitos esteticamente desagradáveis, como mau cheiro e cor, e servem de alimento para os microorganismos (FIESP, 2005; US EPA, 2012);
- Ferro, sílica, dureza: mancha em equipamentos, obstrução, incrustações, corrosão metálica e lama orgânica ou *slime* (FIESP, 2017; TELLES; COSTA, 2010, KOLLET, 2013);
- Nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e fósforo ocorrência de crescimento biológico que pode ocasionar depósitos de biofilmes indesejáveis, com isso pode interferir na transferência de calor e causar a corrosão induzida microbiologicamente. O biofilme pode também obstruir os bicos de distribuição de água/sprays. Presença de amônia ocasiona corrosão de ligas baseadas em cobre (US EPA, 2012).

Na análise para definição dos padrões de qualidade da água para reúso nas atividades industriais, verificou-se que não há uma homogeneidade quanto as quais atividades são consideradas uso industrial. Algumas referências não distinguem as atividades e tratam de forma agregada. Outras estratificaram as atividades e ainda incluíram restrição ou não de acesso aos locais que manejam a água para reúso. Outra observação foi sobre o intervalo dos limites ao parâmetro coliformes termotolerantes, que variou de não detectável a 10.000 mg/L. Aos demais parâmetros utilizados como indicadores de qualidade não se observou variações iguais a do parâmetro coliformes termotolerantes. Para o parâmetro turbidez, nos sistemas de controle de poeira deve-se atentar para sua capacidade de forma a evitar entupimentos.

Como resultado destas pesquisas, apresenta-se os parâmetros de qualidade requeridos da água para reúso por atividade na Tabela 6. Nesta tabela foi incluída uma coluna indicando os valores mais restritivos por cada parâmetro. Isto pode subsidiar as partes envolvidas - produtor, fornecedor e usuário – na tomada de decisão dos requisitos de contrato e do nível de tratamento a ser empregado para obter a qualidade requerida ao uso pretendido.

Tabela 6 - Padrões de qualidade da água para usos não potáveis

Parâmetro	Unidade	água industrial	sistemas de refrigeração	sistema de aquecimento	controle de poeira	descargas sanitárias	mais restritivo
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	-	≤350 <sup>1</sup>	BP: ≤350   AP: ≤40 <sup>1</sup>	-	-	≤350
Alumínio	mg/L	-	≤0,1 <sup>1</sup>	BP: ≤5   AP: ≤0,01 <sup>1</sup>	-	-	≤0,01
Amônia	mg/L	≤10 <sup>5</sup>	≤1,0 <sup>1</sup>	BP: ≤0,1   AP: ≤0,1 <sup>1</sup>	-	-	≤0,1
Bicarbonato	mg/L	-	≤24 <sup>1</sup>	-	-	-	≤24
Cálcio	mg/L	-	≤50 <sup>1</sup>	-	-	-	≤50
Cobre	mg/L	-	-	BP: ≤0,5   AP: ≤0,05 <sup>1</sup>	-	-	0,05
Cloreto	mg/L	-	≤500 <sup>1</sup>	-	-	-	≤500
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	≤2000 <sup>5</sup>	2,2 <sup>1</sup>	≤2000 <sup>5</sup>	≤3 <sup>5</sup>	≤1000 <sup>5</sup>	2,2
Cor	mg Pt/L	≤30 <sup>5</sup>	-	≤30	≤30 <sup>5</sup>	≤30 <sup>5</sup>	≤30
DBO	mg/L	≤10 <sup>5</sup>	≤25 <sup>3</sup>	≤10	≤15 <sup>5</sup>	≤10 <sup>5</sup>	≤10
DQO	mg/L	-	≤75 <sup>2</sup>	-	-	-	≤75
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	≤450 <sup>5</sup>	≤650 <sup>1</sup>	BP: ≤350   AP: ≤0,07 <sup>1</sup>	-	-	≤0,07
Ferro	mg/L	≤0,3 <sup>5</sup>	≤0,5 <sup>1</sup>	BP: ≤1   AP: ≤0,05 <sup>1</sup>	-	≤0,3 <sup>5</sup>	≤0,05
Fosfato	mg/L	-	≤18 <sup>4</sup>	≤1,0 <sup>5</sup>	-	-	≤1,0
Fósforo total	mg/L	-	≤1,0 <sup>2</sup>	-	-	-	≤1,0
Magnésio	mg/L	-	≤30 <sup>1</sup>	-	-	-	≤30
Manganês	mg/L	≤0,1 <sup>5</sup>	≤0,5 <sup>1</sup>	BP: ≤0,3   AP: ≤0,01 <sup>1</sup>	-	≤0,1 <sup>5</sup>	≤0,01
OD	mg/L	-	SR: Presente	BP: ≤2,5   AP: ≤0,007 <sup>1</sup>	≤1 <sup>5</sup>	≤1 <sup>5</sup>	≤0,007
Odor e aparência		Não desagradável	-	-	Sem odor <sup>5</sup>	Sem odor <sup>5</sup>	Sem odor
pH		6,5 a 8,5 <sup>5</sup>	5,0 <sup>2</sup> a 7,2 <sup>1</sup>	6,5 a 8,5 <sup>5</sup>	6,0 a 9,0 <sup>5</sup>	6,0 a 9,0 <sup>5</sup>	6,8 a 7,2
SDT	mg/L	≤1000 <sup>5</sup>	≤500 <sup>1</sup>	BP: ≤700   AP: ≤200 <sup>1</sup>	≤1500 <sup>5</sup>	≤1500 <sup>5</sup>	≤200
Sílica	mg/L	≤30 <sup>5</sup>	≤50 <sup>1</sup>	BP: ≤30   AP: ≤0,7 <sup>1</sup>	-	-	≤0,7
SST	mg/L	-	≤100 <sup>1</sup>	BP: ≤10   AP: ≤0,05 <sup>1</sup>	≤30 <sup>2</sup>	-	≤0,05
Sulfato	mg/L	≤250 <sup>5</sup>	≤200 <sup>1</sup>	-	SD	-	≤200
Turbidez	UNT	≤5 <sup>5</sup>	≤50 <sup>3</sup>	≤5 <sup>5</sup>	≤10 <sup>5</sup>	-	≤5

Legenda – (BP) baixa pressão e (AP) alta pressão

Fonte: (1) CROOK, 1993; (2) FIESP, 2005; (3) MANCUSO, 2001; (4) US EPA, 2004; (5) GB/T 19923 2005 apud LIU, 2014



### 4.3 Modelo de negócio da água para reúso

De forma geral, a água só passa a ter valor na sua ausência, pois isto representa o custo de não ter este recurso. Nas regiões onde a água é escassa, ou há pressão da demanda pelo crescimento populacional e desenvolvimento econômico, são observadas técnicas de otimização e de reúso mais avançadas.

Em contraponto, principalmente pela cultura na maior parte do Brasil que a água é abundante e cabe a natureza fornecê-la para os diversos usos, entende-se que a água não tem custo ou valor. Assim fica o dilema, qual valor deve ser pago para o recurso hídrico?

Se estas questões ainda não estão bem resolvidas para água fica mais difícil impor valores a água de reúso. Primeiro é preciso que o usuário entenda que água de reúso é recurso e, dependendo do seu tratamento, sua qualidade pode ser superior às águas captadas nos mananciais.

No Quadro 5 são apresentados 8 fatores inovadores para o modelo de negócio da água para reúso propostos por Mantovani (2001).

Quadro 5 - Fatores inovadores para o modelo de negócio do reúso de água

Fatores	Justificativa
Criar estrutura de agência de reúso	Órgão gestor responsável por determinar as diretrizes, normas e regulamentos.
Estabelecer processos de planejamento de reúso não potáveis, incluindo avaliações de mercado	Identificar para qual setor na área de abrangência faz sentido a aplicação do reúso.
Definir os requisitos legais e responsabilidade associadas aos direitos da água para reúso e seus serviços	Dar segurança as partes envolvidas.
Analisar custos e benefícios de forma ampla	Incluir na avaliação os benefícios de assegurar a oferta de água em períodos de escassez hídrica.
Verificar a viabilidade financeira e estratégias de preços	Buscar estratégias que o preço seja um atrativo e não uma restrição.
Cumprir as exigências e diretrizes regulamentares	Dar segurança as partes envolvidas.
Fomentar programas educação ambiental e participação da sociedade	Eliminar a rejeição da prática de reúso da água proveniente de estações de esgoto.
Promover estratégias de marketing para o crescimento da água para reúso	Fomentar programas de acreditação para obtenção do reconhecimento de práticas sustentáveis.

Fonte: Mantovani (2001), adaptado pelo autor.

Destes 8 fatores indicados por Mantovani (2001), percebe-se que anos se passaram e estes fatores ainda não estão consolidados no Brasil. Isso dificulta o avanço das práticas de reúso.

Num mundo cada vez mais competitivo e que as diretrizes são para uma produção de excelente qualidade no menor custo possível, tem oprimido a inclusão do custo da sustentabilidade na cadeia produtiva. Assim, equilibrar competitividade e sustentabilidade, não é tarefa fácil, e fica o grande desafio para ampliar o reúso de água proveniente das estações de tratamento de efluentes sanitários no setor produtivo.

Segundo CEBDS (2022), não há um modelo de negócio estabelecido para reúso de água provenientes de estações de tratamento de esgoto à indústria. Uma das recomendações, conforme CEBDS (2022), é definir a governança para que haja segurança às partes interessadas – produtor, distribuidor, usuário e órgãos competentes. Para tanto, é fundamental compreender as expectativas das partes interessadas e assim estabelecer um modelo de negócio.

O modelo de negócio entre unidades de mineração e estações de tratamento de efluentes sanitários municipais para o fomento de projetos de reúso de água é complexo. Mas, quando há consenso das principais partes interessadas que são o usuário, o produtor e o governo é possível viabilizá-lo, e pode ser alavancado se a sociedade tiver envolvida.

Como pesquisado, ainda não há modelos de negócios para a mineração importar a água para reúso das estações de tratamento de efluentes sanitários. No Brasil, o modelo de negócio determinado no Aquapolo pode ser um excelente exemplo para regular novos modelos no país. Seu sucesso, deve-se a escassez hídrica como também o envolvimento ativo entre as partes interessadas governo, concessionária e usuários.

Como necessidades, ainda é preciso desenvolver:

- o mapeamento das fontes alternativas de água e respectivos usuários potenciais, considerando a disponibilidade e a demanda tanto na qualidade quanto na quantidade da água;
- os planos de segurança hídrica estaduais considerando o reúso de água como fonte alternativa para o suprimento de água, principalmente naquelas regiões que tiveram histórico de estresse hídrico;
- os regulamentos e instrumentos econômicos e financeiros considerando subsídios como por exemplo a isenção de impostos ou compensação de multas;
- o planejamento das ações voltadas a universalização dos serviços de saneamento parcerias com usuários industriais visando alternativas do reúso de água;
- o desenvolvimento de programas de educação ambiental para capacitação e conscientização de toda sociedade, dos governos, dos líderes do setor privado,

das instituições reguladoras, das ONG's etc. Isso, promoverá debates e soluções de forma ampla e racional;

- a promoção do mercado da água de reúso de forma que seja vantajosa e não onerosa para todas as partes envolvidas;
- regras para novos projetos a priorização, quando pertinente, que determine a opção do suprimento das demandas de água por fontes alternativas;
- agências com profissionais capacitados que contribuam de forma célere e flexível nas aprovações do projeto;
- critérios de localização e instalação das novas estações de tratamento de efluentes que promovam o reúso de água para um ou mais usuários, quando possível.

Com exceção do Aquapolo, predominam no Brasil o reúso de água na modalidade de distribuição por caminhões pipa para fins urbanos (CEBDS, 2022). Importar água dos sistemas de reúso externos, estações de tratamento de efluentes sanitários, para as indústrias demandam por vezes sistemas de bombeamento e adução de grande porte. Isso, eleva os valores de implementação e operação, portanto é um desafio para novos projetos de reúso de água.

A mineração, de forma geral, implementa seus sistemas de captação de água tendo como custos principais na operação a energia, manutenção e valores cobrados nas outorgas. O último, valores de outorga, ainda é de baixo custo e, só isso, não incentiva o reúso. Portanto, o fator mais importante para o fomento do reúso, principalmente em regiões onde ainda há recurso de água disponível, é o econômico. Mas, é preciso buscar estímulos por meio de subsídios ao invés de onerar as outorgas. Num mundo competitivo, onde as produções buscam cada vez mais a redução dos custos, onerar a indústria, principalmente a mineração pois possui seus sistemas de captação a baixo custo de cobrança pelo uso, pode incorrer na perda de mercado aos seus concorrentes.

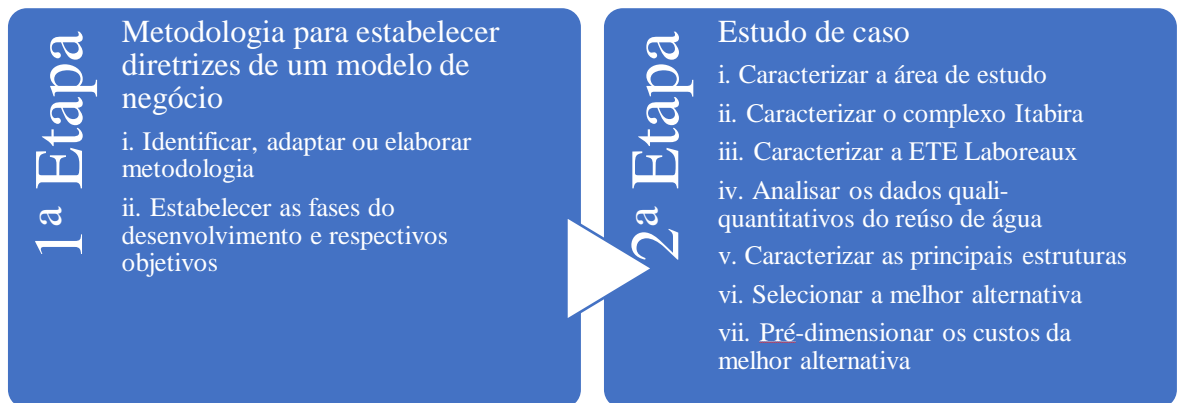
Neste contexto, que ainda há muito em que se discutir o reúso de água proveniente das estações de efluentes sanitários para mineração, com intuito de contribuir com o avanço do reúso de água para o setor da mineração, apresenta-se uma proposta com as principais diretrizes e responsabilidades para estabelecimento do modelo de negócio.

## 5. METODOLOGIA

Uma metodologia recomendada para concepção, desenvolvimento, execução e operação de projetos complexos e de grande porte é a *Front End Loading* (FEL) (ROMERO; ANDERY, 2016). Esta metodologia foi desenvolvida pelo *Independent Project Analysis* (IPA) fundado em 1987 e foi empregada para a proposição das diretrizes para o estabelecimento do modelo de negócio de reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto empregada à mineração.

A aplicabilidade prática das diretrizes propostas foi verificada por meio de um estudo de caso para o reúso de água proveniente da ETE Laboreaux no complexo minerário da Vale S/A em Itabira. Assim esta pesquisa foi desenvolvida em 2 etapas (Figura 14).

Figura 14 - Etapas do estudo



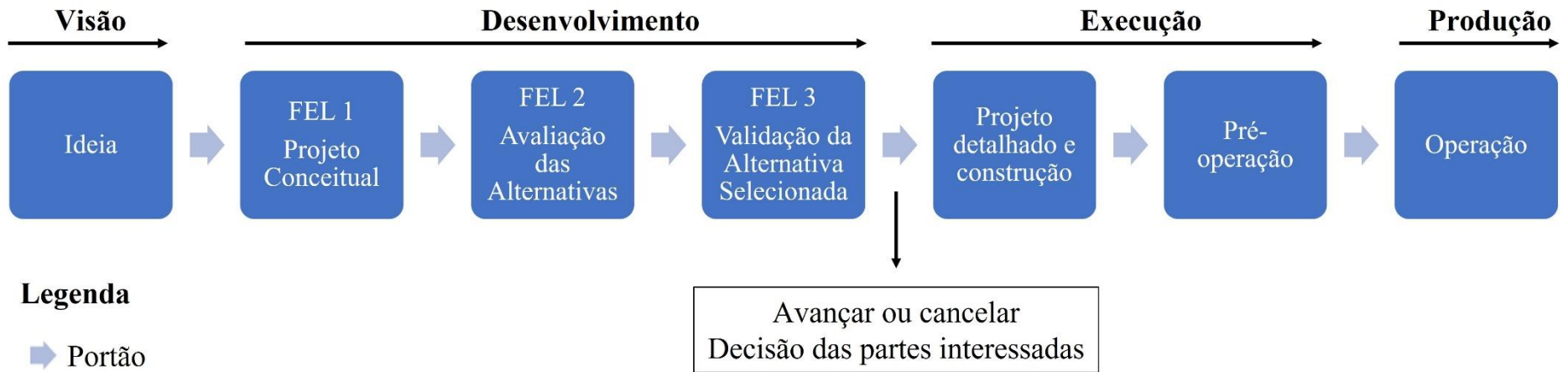
Fonte: Próprio autor (2022)

**1ª Etapa:** Metodologia para estabelecer diretrizes de um modelo de negócio.

A proposição de um modelo de negócio para o reúso de água proveniente de estações de tratamento aplicados a mineração exige a aplicação de metodologia, como a *Front End Loading* (FEL), dada a complexidade do sistema de reúso e do envolvimento de diversos setores, saneamento, mineração e o setor público. O objetivo desta metodologia é garantir que o projeto seja planejado na sua excelência por meio de métodos, técnicas e ferramentas indicando as ações para cada etapa do projeto. Esta metodologia é utilizada pela engenharia da VALE S.A e foi empregada neste trabalho para elaboração das diretrizes para reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto.

As etapas que compõem a metodologia FEEL estão apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Etapas da metodologia FEL



Fonte: Romero e Andery (2016), adaptado pelo autor.

No FEL 1 são definidos os objetivos alinhados à estratégia da empresa. Nesta fase é preciso verificar o conceito do projeto e no caso da água de reúso, entender se há demanda e oferta. Caso afirmativo, deve-se proceder com o inventário por meio da coleta das informações disponíveis. No inventário do fornecedor/distribuidor deve conter o nome, a localização, os dados técnicos da estação de tratamento de esgoto, a qualidade do efluente tratado, a distância entre o ponto de fornecimento e do usuário, os interesses e as expectativas. Já a caracterização do usuário deve conter o nome, a localização, os dados técnicos das atividades potenciais para receber a água para reúso, o padrão de qualidade da água requerida aos usos pretendidos e que preserve a saúde dos profissionais envolvidos, a localização do ponto que receberá a água para reúso e suas características, os interesses e as expectativas, incluindo prazos para utilização desta água. De posse dessas informações é possível elaborar o conceito do projeto, indicando o objetivo do projeto, a localização das estruturas existentes e novas que farão parte do sistema da água para reúso e os níveis de tratamento para os tipos de uso inventariado.

No FEL 2 são avaliadas as alternativas identificadas no FEL 1 e seleciona-se a melhor alternativa conforme viabilidade técnica e financeira.

No FEL 3, a alternativa selecionada é detalhada para buscar a validação da liderança. A partir do projeto básico é possível ter conclusões preliminares quanto à viabilidade do negócio por meio da análise qualitativa dos custos, benefícios e identificação dos potenciais impedimentos técnicos e/ou institucionais, e recomendações para os próximos passos. Nesta etapa um quesito fundamental é verificar os riscos do empreendimento para subsidiar a tomada de decisão da liderança.

O mapeamento dos riscos é fundamental para que o negócio seja bem-sucedido. Quando estes são mapeados é possível definir as ações que eliminarão ou mitigarão os riscos, e assim decidir o caminho para empreender. Segundo CAGECE (2022) a matriz de risco deve conter: riscos financeiros, riscos econômicos, riscos políticos, riscos institucionais, riscos ambientais, riscos sociais, riscos técnicos, riscos jurídicos, riscos fiscais e riscos comerciais (ANEXO A). Definida a matriz de risco do projeto, as partes podem decidir em continuar ou desistir do empreendimento. Importante destacar que ao final de cada etapa de desenvolvimento os documentos são avaliados pelos revisores de projeto e podem ser aprovados ou solicitadas adequações. Após o projeto básico há insumos para desenvolver o modelo financeiro do negócio. Assim já é possível estabelecer valores que serão assumidos entre as partes e precificar o valor contratual para o fornecimento da água para reúso.

No caso de continuidade, a próxima etapa é estabelecer o modelo de negócio entre as partes interessadas e elaborar o projeto detalhado para execução da obra, e neste, as informações

constarão nível de detalhe com os valores de investimento (CAPEX) e operação (OPEX). Após conclusão da obra é importante determinar um prazo para a operação assistida a fim de ajustar, validar e garantir os requisitos definidos entre as partes.

**2ª etapa:** Estudo de caso.

O estudo de caso foi itemizado conforme apresentado a seguir:

- i. Caracterização da área de estudo
- ii. Caracterização do complexo Itabira
- iii. Caracterização da ETE Laboreaux
- iv. Análise quali-quantitativa do reúso de água
- v. Caracterização das principais estruturas
- vi. Seleção da melhor alternativa
- vii. Pré-dimensionamento e custos da alternativa

Para caracterizar o Complexo de Itabira foram consideradas informações públicas e disponibilizadas pela Vale S.A:

- Identificação dos usos potenciais e respectivas demandas de reúso de água provenientes de efluentes sanitários, via consulta aos usuários de água do Complexo Itabira e visita a campo;
- Localização das estruturas, adutoras, sistemas de bombeamento com auxílio do *Google Earth* e visita a campo;
- Verificação da vida útil do empreendimento até o ano 2041 (VALE, 2021a);
- Resultados laboratoriais da qualidade da água das principais fontes de suprimento de água ao Complexo Itabira, disponibilizados pela Vale.

Em complemento ao trabalho de levantamento de dados, foi realizada visita no Complexo Itabira para verificar a localização e condições das estruturas, os principais usos pretendidos, entender os desafios, obstáculos e soluções para analisar alternativas ao reúso de água da ETE Laboreaux. Além disso, ocorreram reuniões com os profissionais responsáveis pelo uso da água deste complexo com objetivo de confirmar os dados disponibilizados e entender as expectativas de cada usuário.

A caracterização da Estação de Tratamento ETE Laboreaux foi por meio de informações públicas e disponibilizadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Itabira, do banco de dados do Sistema Nacional de Informação de Saneamento – SNIS, da Agência Reguladora de Serviços de Água e Esgoto de Minas Gerais – ARSAE, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

Foram levantados dados sobre os parâmetros quali-quantitativos do corpo receptor, os padrões de lançamento referentes a qualidade da água no corpo receptor, a vazão mínima residual a fim de verificar o impacto da redução de vazão no curso devido ao reúso de água, o tipo de tratamento e respectivos componentes.

Em complemento ao trabalho de levantamento de dados, foi realizada visita a ETE Laboreaux guiada pelos profissionais responsáveis aos serviços de saneamento do município para conhecer o processo de tratamento, as dificuldades, as oportunidades, as condições dos efluentes de entrada e de saída e as expectativas do SAAE quanto ao futuro desta estação.

Este conjunto de informações, dos potenciais produtor da água para reúso e do usuário, são fundamentais para direcionar o estudo conceitual do modelo de negócio entre as partes.

Foi realizada uma análise quali-quantitativa da água de reúso proveniente da ETE Laboreaux para atendimento dos usos não potáveis do complexo Minerário da Vale em Itabira.

Foram indicados os usos pretendidos e respectivos padrões de qualidade da água para reúso nas atividades da Vale S.A. como também os resultados da qualidade do efluente tratado da ETE Laboreaux, SAAE de Itabira.

Foi apresentado o cotejo entre a oferta, água para reúso do SAAE de Itabira, e a demanda, referente às atividades do Complexo Itabira para usos de água não potável.

Utilizou-se fluxogramas esquemáticos para demonstrar as interações dos circuitos de água envolvidos no estudo de caso.

Foi realizada uma caracterização das estruturas hídricas do Complexo Itabira, com base nas informações disponibilizadas pela Vale, com a finalidade de identificar quais estruturas estariam aptas para receber a água de reúso.

Com auxílio do *Google Earth*, o arranjo geral das alternativas do sistema de reúso, a localização das estruturas, o ponto de fornecimento da água de reúso da ETE Laboreaux, o traçado da adutora entre o SAAE de Itabira até o seu destino no Complexo Itabira e o levantamento altimétrico e distâncias foram definidos.

Tendo todas as informações consolidadas desenvolveu-se 5 alternativas para o reúso de água da ETE Laboreaux ao Complexo Itabira. Por meio de reuniões foram verificadas, com o grupo responsável pelos recursos hídricos do Complexo Itabira, qual das 5 alternativas seria a mais indicada para análise dos custos. Para tanto, foram consideradas alternativas visando a otimização dos recursos e principalmente aquelas com melhores benefícios ambientais. Para subsidiar a tomada de decisão, foram apresentadas as vantagens e desvantagens de cada alternativa analisada por meio de um quadro comparativo. Os principais parâmetros para tomada de decisão da seleção da alternativa foram: custos com as novas instalações, capacidade



de armazenamento, interferências e incertezas quanto a dinâmica das atividades da mineração no Complexo Itabira, distâncias e níveis geométrico, tipos de uso e qualidade requerida do efluente tratado. Após análises das alternativas e respectivos projetos conceituais de sistema de água para reúso, definiu-se a alternativa mais viável tecnicamente para analisar seus custos.

A análise dos custos do projeto conceitual limitou-se a análise do custo da adutora e do sistema de bombeamento referente à alternativa selecionada. Assim, prosseguiu com o dimensionamento do sistema de bombeamento e adutora.

As equações clássicas da hidráulica foram utilizadas para este dimensionamento, considerando o diâmetro da adutora, as perdas de carga, altura manométrica e a potência do sistema de bombeamento.

Em consulta ao Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI obteve-se o preço da tubulação. Calculada a potência do motor, para precificar os valores do conjunto motor-bomba, consultou-se o mercado.

Ressalta-se que os custos e benefícios intangíveis não foram considerados neste trabalho, os quais são difíceis de avaliar em termos financeiros, muito embora sejam facilmente verificados que existem.

Em relação às avaliações ambientais foram analisadas as interferências no corpo receptor, na oferta de água e na supressão de áreas verdes para implementação do projeto de forma qualitativa.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Proposição de Diretrizes do modelo de negócio

Fundamentado na metodologia FEEL foram propostas as seguintes diretrizes para a elaboração do modelo de negócio de reúso de água proveniente da estação de tratamento de esgoto.

**Diretriz 1** - Mapear e identificar as fontes alternativas e usuários potenciais.

- Responsável: Agência e comitê de bacias hidrográficas e órgãos gestores.
- Ação: Recomenda-se ao comitê de bacias hidrográficas, por meio dos recursos arrecadados pela cobrança, mapear as fontes alternativas e usuários potenciais. Este mapeamento deve ser incluído nos Planos Diretores das respectivas Bacias Hidrográficas.

**Diretriz 2** - Caracterizar quali-quantitativa a disponibilidade e a demanda.

- Responsável: Órgão Gestores.
- Ação: Recomenda-se ao Órgãos Gestores estabelecerem parceria pública-privada para o desenvolvimento de um *data lake* para compartilhamento dos dados de monitoramento de qualidade e quantidade e desenvolver ambiente de fácil acesso e amigável.

**Diretriz 3** - Definir os padrões de qualidade (fornecimento/usos).

- Responsável: Usuários interessados.
- Ação: Recomenda-se aos usuários interessados a implementar as práticas do reúso da água proveniente das estações de tratamento de efluentes sanitários, caracterizar a qualidade requerida para os usos pretendidos.

**Diretriz 4** – Comparar a demanda e a disponibilidade (qual-quantitativa).

- Responsável: Usuários interessados.
- Ação: Recomenda-se aos usuários interessados desenvolver o cotejo entre a disponibilidade e demanda considerando os resultados das etapas de 1 a 3.

**Diretriz 5** - Avaliar as alternativas (produção, distribuição e usos).

- Responsável: Usuários interessados.  
Ação: Recomenda-se aos usuários interessados desenvolver estudos de alternativas identificando o sistema de produção, a forma de distribuição, os usos requeridos, as partes interessadas e respectivas as responsabilidades.

**Diretriz 6** – Validar e selecionar as alternativas (produção, distribuição e usos).

- Responsável: Partes interessadas.

Ação: Recomenda-se, nesta etapa, que as partes interessadas sejam envolvidas para validar as alternativas que seguirão para a fase de desenvolvimento de projeto considerando as análises: técnica, econômica, social e ambiental; incluindo os riscos atribuídos.

**Diretriz 7** - Identificar as partes interessadas que alavancarão o modelo de negócio.

- Responsável: Usuário majoritário.
- Ação: Recomenda-se que o usuário majoritário identifique quais partes interessadas alavancarão o modelo de negócio. Esta etapa é importante para subsidiar as etapas posteriores. Como exemplo, partes interessadas que devem ser envolvidas são:
  - Governo e órgãos reguladores: tem a função de promover regulações, instruções e departamentos específicos para análise de projetos de reúso.
  - Fornecedor e Produtor: tem a função de apresentar as expectativas, critérios, condições, desafios e oportunidades.
  - Usuários potenciais: tem a função de buscar sinergia para o fomento do reúso em suas atividades, otimização de custos, ganho de escala.
  - Investidor: tem a função de promover recursos, desenvolver, executar e podendo até operar o sistema de produção e distribuição do reúso.
  - Terceiros: tem a função de apresentar as expectativas e até permitir interferências em seus terrenos, devido as obras para distribuição do reúso, por meio de acordos e compensações.

**Diretriz 8** - Apresentar o dimensionamento e os custos da(s) alternativa(s) estudada(s).

- Responsável: Partes interessadas majoritária.
- Ação: Recomenda-se desenvolver o dimensionamento e os custos de forma conjunta com as partes interessadas que assumirão os valores de investimentos e custos. Acredita-se que isso promoverá soluções otimizadas e ganhos para todos.

**Diretriz 9** - Definir regras e valores (R\$).

- Responsável: Partes interessadas majoritária.

- Ação: Recomenda-se definir as regras de forma conjunta com as partes interessadas majoritárias. Acredita-se que isso tornará transparente o processo e fortalecerá o empenho de cada um.

**Diretriz 10** - Estabelecer consenso entre as partes.

- Responsável: Partes interessadas majoritária.
- Ação: Recomenda-se que as partes interessadas majoritárias eliminem todas as divergências e busquem consenso para o estabelecimento do modelo de negócio.

**Diretriz 11** - Constituir o modelo de negócio.

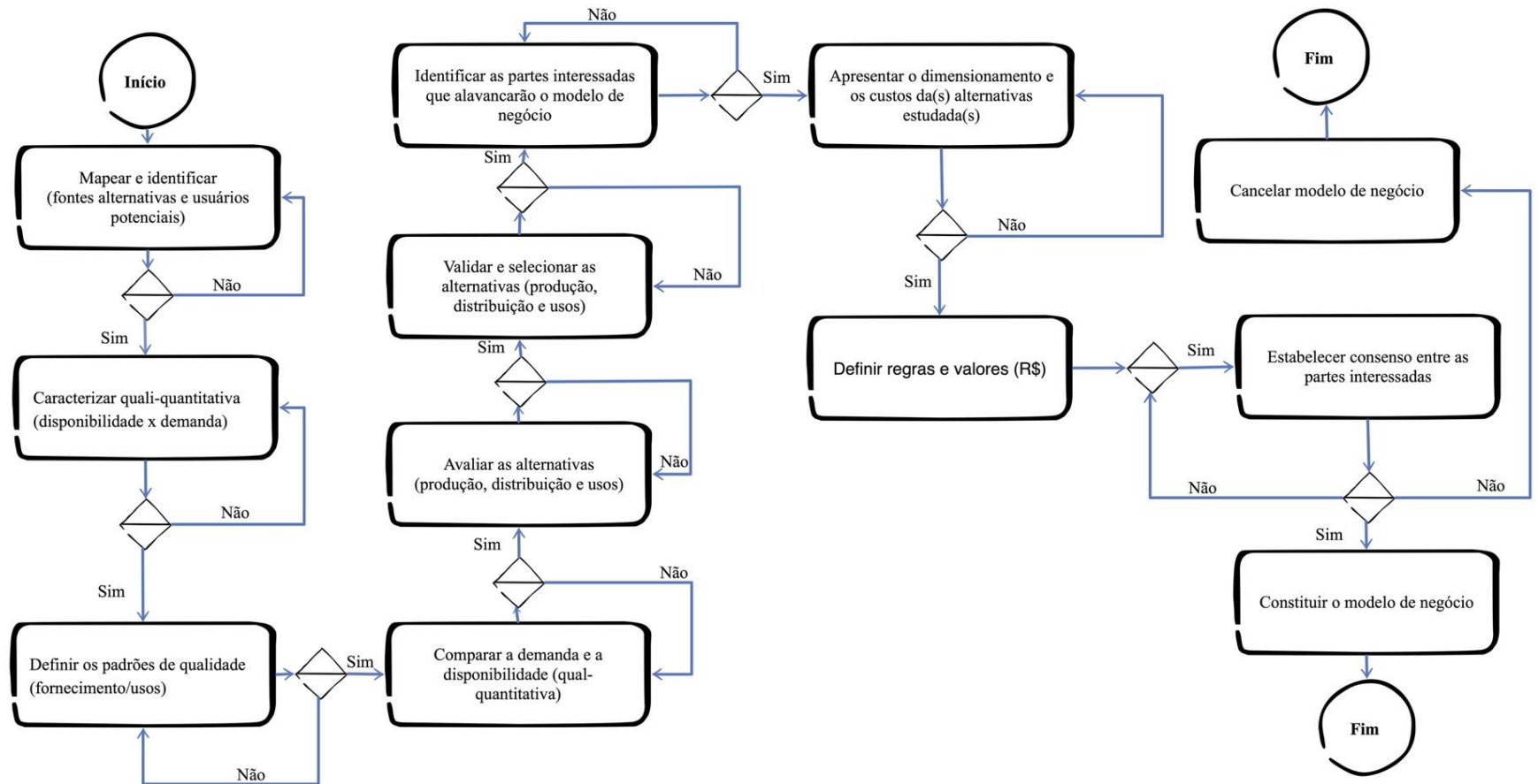
- Responsável: Partes interessadas majoritária.
- Ação: Recomenda-se as partes interessadas majoritárias estabeleçam modelo de negócio sem favorecimento de um ou de outro, mas sim de forma justa e que busque ganhos para todos.

**Diretriz 12** – Cancelar o modelo de negócio.

- Responsável: Partes interessadas majoritária.
- Ação: Recomenda-se que as partes interessadas cancelem o modelo de negócio caso não chegue a um consenso ou até mesmo se ocorra divergências dos termos acordados nos itens anteriores.

Na Figura 16 está apresentado o fluxograma com as principais diretrizes propostas para o estabelecimento do modelo negócio de reúso de água proveniente de estações de efluentes sanitários para a mineração.

Figura 16 – Fluxograma das diretrizes para definição do modelo de negócio



Fonte: Próprio autor

## **6.2 Estudo de concepção do sistema de reúso**

O objetivo do estudo de concepção do sistema de reúso de água foi verificar a aplicabilidade das diretrizes propostas nesta dissertação. Assim, seguiu-se o roteiro indicado nas diretrizes desde o mapeamento das oportunidades até o pré-dimensionamento, custos e seleção da alternativa. A partir deste ponto, o engajamento das lideranças das partes interessadas é fundamental para promover o consenso relativo as regras, aos valores, aos prazos, as responsabilidades, aos benefícios entre outros. Neste consenso, as partes interessadas devem estar abertas para ouvir e compreender as expectativas de cada um. Além do mais, propor um negócio que vise ganho para todos; que reduza ou elimine ônus; e que fomenta subsídios e parcerias.

Nos próximos itens estão apresentados as informações e resultados da aplicação das diretrizes propostas para estabelecer o modelo conceitual do sistema de produção, distribuição e água para reúso da ETE Laboreaux, localizada na cidade de Itabira, Minas Gerais - como produtora e fornecedora - e o Complexo Minerário de Itabira de propriedade da Vale S.A- como usuário desta água.

### **6.2.1 Caracterização da Área de Estudo**

A cidade de Itabira está localizada no Estado de Minas Gerais e possui uma população total de 121.717 habitantes, área de 1.253,704 km<sup>2</sup> e sua densidade populacional é de 87,57 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022b).

O município de Itabira está inserido nas bacias hidrográficas dos rios Santo Antônio (UPGRH DO3) e Piracicaba (UPGRH DO02), ambas tributárias da bacia Hidrográfica do Rio Doce (Figura 17). Ao norte, as áreas do município estão inseridas na bacia do rio do Tanque, afluente pela margem direita do rio Santo Antônio. Enquanto ao sul, abrange áreas da bacia hidrográfica do rio de Peixe, que é afluente pela margem esquerda do rio Piracicaba.

Já o Complexo de Itabira está localizado nas sub-bacias hidrográficas do ribeirão do Jirau e do rio de Peixe (Figura 17). A Mina Cauê e as Minas do Meio estão sobre o divisor de águas que separa ambas as bacias mencionadas, enquanto a Mina de Conceição está integralmente na bacia do rio de Peixe. Por último, cabe destacar que o córrego Água Santa, afluente da margem esquerda do rio de Peixe, corta a cidade de Itabira.

A ETE Laboreaux está localizada na bacia do rio de Peixe e o lançamento dos efluentes tratados é na margem direita deste rio (Figura 17).

A Portaria IGAM n° 010, de 30 de dezembro de 1998, artigo 8 e inciso 20, permitia outorgar 30% da vazão  $Q_{7,10}$ :

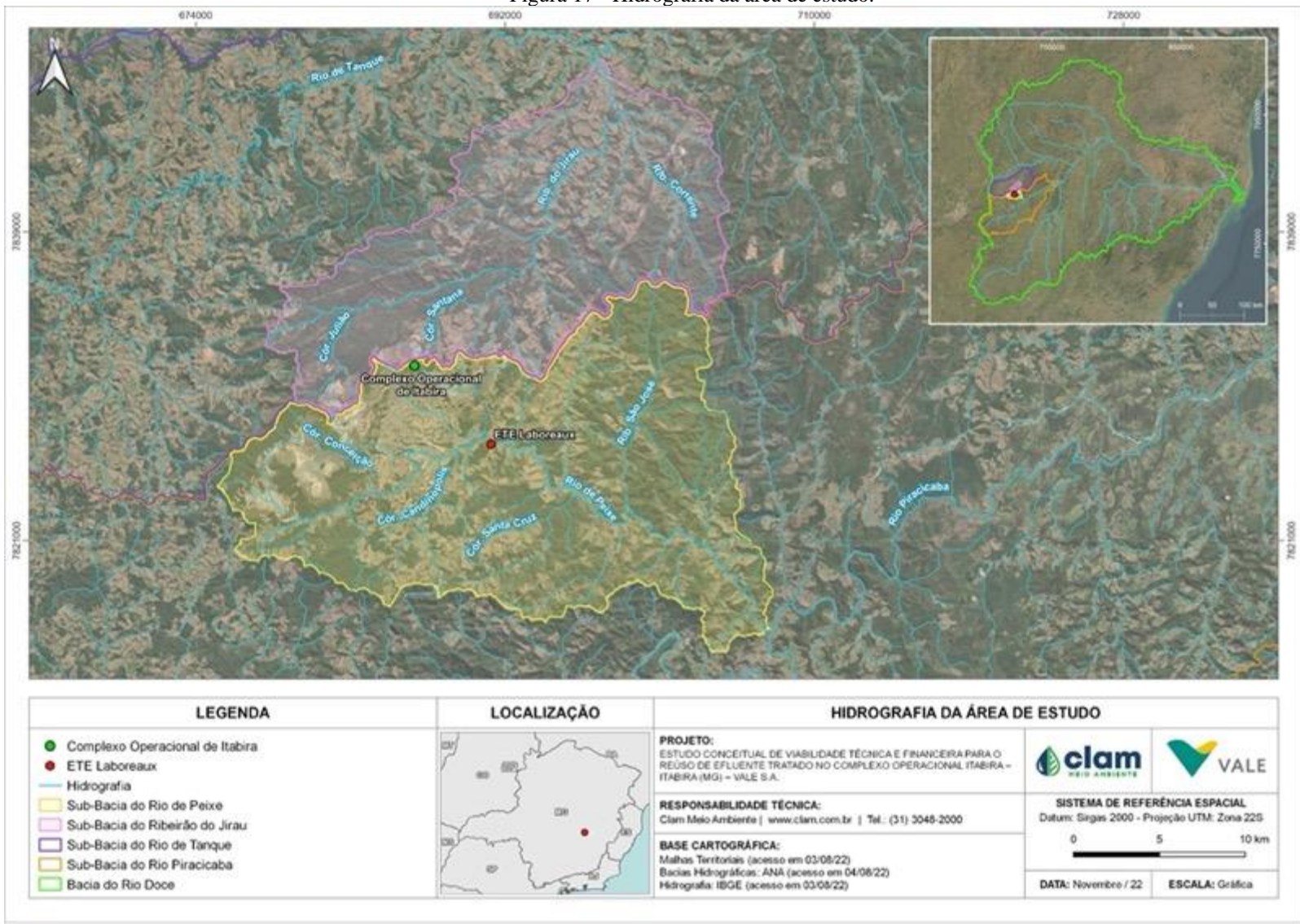
§ 2° - Fixar em 30% (trinta por cento) da  $Q_{7,10}$ <sup>4</sup>, o limite máximo de derivações consuntivas a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantido a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da  $Q_{7,10}$ .

Em 2019, o IGAM instituiu a Portaria n° 48, de 04 de outubro, indicando as normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos no Estado. No artigo 3 desta portaria observa-se que houve uma flexibilização do limite máximo de captações em recursos hídricos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, que inclui as bacias dos rios Santo Antônio e Piracicaba, de 30% para 50% da  $Q_{7,10}$ .

---

<sup>4</sup> A vazão  $Q_{7,10}$  pode ser entendida como o valor anual da média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma só vez a cada dez anos, ou seja, período de retorno de 10 anos (VON SPERLING, 2007).

Figura 17 - Hidrografia da área de estudo.



Fonte: VALE (2022b)



Esta flexibilização deve-se ao aumento da demanda hídrica regional. Conflitos pelo uso da água são noticiados com recorrência entre a VALE S/A e a cidade de Itabira. Wasylycia-Leis (2014) destaca que o consumo intensivo de água doce pelo Complexo Itabira gera conflitos com a comunidade e limita o crescimento de outros setores industriais em Itabira, Minas Gerais. Este histórico resultou, recentemente, num termo de compromisso entre Ministério Público de Minas Gerais e a VALE S/A, onde a empresa se compromete a construir uma nova captação de água no rio Tanque para tratamento e abastecimento público em Itabira (MG). Esta obra será financiada pela VALE S/A num valor de R\$ 160 milhões (NOTÍCIAS DE MINERAÇÃO BRASIL, 2022).

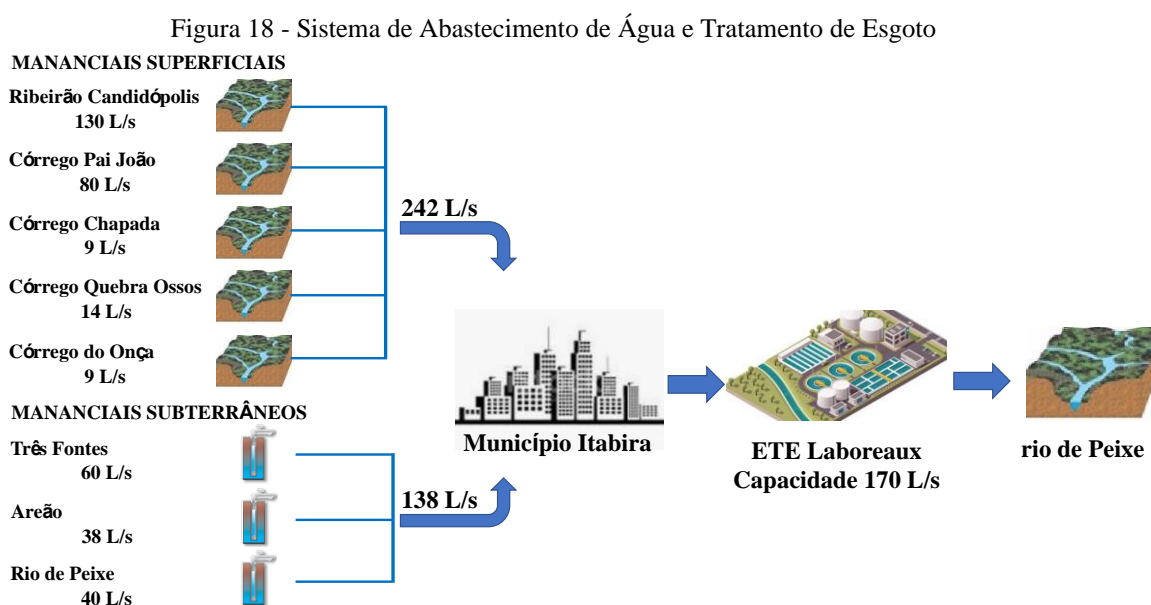
Além deste compromisso, a Vale definiu em sua Política de Água e Recursos Hídricos 03 (três) princípios, sendo que no Princípio 2 determinou os seguintes compromissos (VALE, 2020b):

- Implantar o monitoramento integrado, quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, tendo como referência de gestão a bacia hidrográfica;
- Manter os balanços hídricos atualizados;
- Reduzir o uso da água e a geração de efluentes, nas unidades operacionais, por meio do processo de redução, recirculação ou reúso, principalmente em regiões de estresse hídrico, observando que a prioridade de uso é para o consumo humano e a dessedentação de animais;
- Reduzir e/ou eliminar as perdas (evaporação, água retida nos rejeitos, vazamentos, entre outras);
- Mapear e gerir os riscos e impactos relacionados aos recursos hídricos, tendo como referência de gestão a bacia hidrográfica e áreas marinhas onde a Vale opera.

Estes compromissos são desdobrados em metas para as unidades operacionais da VALE S.A. Dessa forma, buscar fontes alternativas para atendimento das demandas de água para o Complexo Itabira está em linha com o compromisso da empresa. Ademais, reduzir o consumo de água é medida de segurança ao processo produtivo, legado ambiental e social, solução sustentável para minimizar os conflitos pelo uso da água e por fim coopera com os objetivos da ODS 6. Como oportunidade, a ETE Laboreaux pode ser uma das alternativas ao fornecimento de água para reúso ao Complexo Itabira.

Cabe destacar que, por meio de legislação vigente, Itabira possui política e plano de saneamento básico, sendo a primeira criada em 2016 (IAS, 2020). O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira (SAAE Itabira) é a autarquia responsável pelo sistema de abastecimento de água e pelo esgotamento sanitário do município de Itabira e seus distritos. O índice de esgotamento sanitário é de 92% (IBGE, 2022b).

O abastecimento de água e o tratamento de esgoto do município de Itabira é composto por: 8 sistemas de produção de água com capacidade total de 380 L/s (SAAE, 2022a) e 1 estação de tratamento de esgoto com capacidade de 170 L/s (ARSAE-MG, 2019). Cabe destacar que a capacidade dos sistemas Areão e Rio de Peixe totaliza 78 L/s e têm como fonte de produção a água fornecida pela Vale. Na Figura 18, apresenta-se de forma esquemática o sistema de abastecimento de água e tratamento de esgoto do município de Itabira.



Fonte: Próprio autor.

## 6.2.2 Complexo Itabira

A Companhia Vale do Rio Doce S.A, hoje VALE S.A., foi fundada pelo Governo Federal em 1942. Sob a forma de sociedade de economia mista, tinha o objetivo de explorar, comercializar, transportar e exportar minérios de ferro do Complexo Itabira em Minas Gerais até o porto de Vitória localizado no Estado do Espírito Santo, por meio da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM). As minas de ferro de Itabira fazem parte do Quadrilátero Ferrífero, localizadas no entorno do perímetro urbano do município de Itabira e estão distantes de Belo Horizonte (MG) acerca de 100 km. Suas operações iniciaram em 1957.

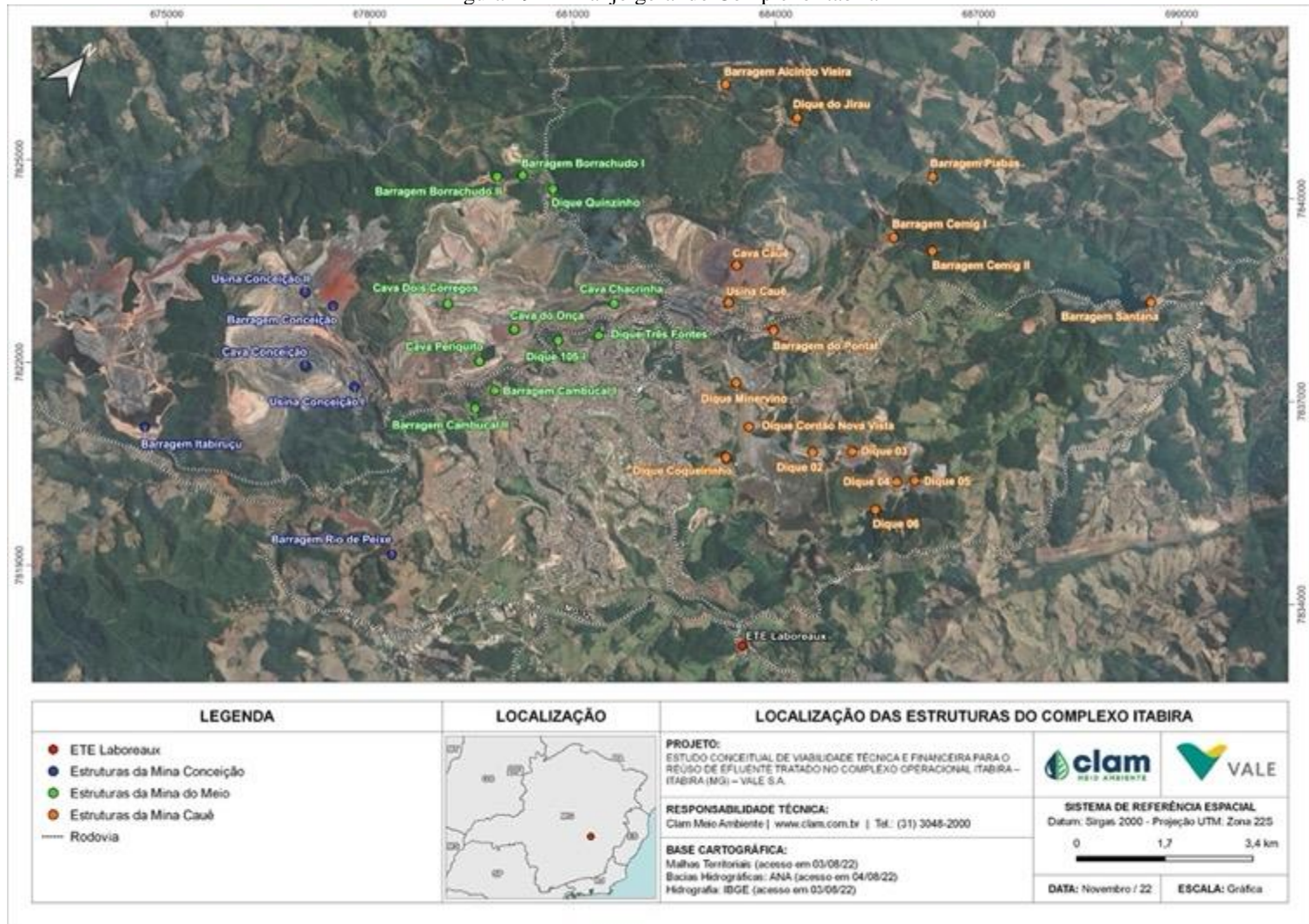
A área total do empreendimento em Itabira é 9.135 hectares, contém 03 (três) usinas de beneficiamento, 03 (três) minas, 06 (seis) cavas para lavra a céu aberto, 09 (nove) barragens e 12 (doze) diques de contenção de sedimentos, 04 (quatro) barragens de rejeitos, pilhas de disposição estéril, prédio administrativo entre outras instalações (Figura 19). Das 04 (quatro)

barragens de rejeitos destaca-se o sistema pontal que é composto por 07 (sete) barramentos incluindo o dique principal. Somente duas das três minas do Complexo Itabira estão em operação, mina do Meio e mina Conceição. A mina de Cauê não possui mais atividade de lavra e atualmente opera como um reservatório de armazenamento e distribuição de água para as atividades industriais (Figura 19).

As reservas do Complexo Itabira são equivalentes a 900 milhões de toneladas. O método praticado para extração do minério é lavra a céu aberto, sendo utilizado desmonte mecânico e detonações. Por meio de escavadeiras, carregadeiras e caminhões fora de estrada o minério é destinado para as usinas de beneficiamento. Enquanto o estéril, parcela do material extraído que não possui valor econômico é direcionado para as pilhas de disposição de estéril deste complexo (SUPRAM, 2010).

A seleção desta unidade operacional como estudo de caso deve-se, principalmente, aos eventos de escassez hídrica observados na região e ao avanço da regulação em Minas Gerais sobre o tema. Além disso, destaca-se que as fontes de água para abastecimento da cidade de Itabira (MG) estão inseridas na bacia do rio Piracicaba, curso d'água que possui interferências das atividades da operação da VALE e, nesse sentido, visa-se propor uma solução para reduzir ou eliminar quaisquer conflitos pelo uso da água neste território, garantindo a segurança hídrica, tanto das operações da VALE quanto do abastecimento municipal.

Figura 19 – Arranjo geral do Complexo Itabira



Fonte: VALE (2022b).

Para avaliar a demanda hídrica quali-quantitativa do Complexo Itabira, mapeou-se as fontes de suprimento de água e os principais usos.

Os principais usos de água no Complexo Itabira são: beneficiamento do minério, aspersão de vias, umectação dos pátios de estocagem de minério, oficinas, setores administrativos, rebaixamento do lençol freático para as atividades de lavra do minério.

A fim de ilustrar alguns destes usos, apresenta-se algumas fotos disponibilizadas pela VALE S/A que estão cadastradas no seu banco de imagens.

Na Figura 20 e na Figura 21 estão apresentados, respectivamente, o espessador e o tanque de processo, estruturas do processo de beneficiamento do minério. O espessador tem a função de separar o sólido do líquido da polpa de rejeitos. Os principais objetivos desta etapa são: propiciar polpas de rejeitos mais concentradas e adequadas possibilitando descartes mais eficiente; recuperação de sólidos que são utilizados em etapas e processos hidrometalúrgicos; recuperação da água para suprimento dos processos industriais. Parte da fração líquida fica aprisionada nos interstícios dos rejeitos que são direcionados para as barragens e parte da água é recuperada (*overflow*) e direcionada ao tanque de processo. A água retornada ao tanque de processo é reutilizada nas atividades internas da usina, como por exemplo a lavagem do minério.

A umectação do minério tem como principal objetivo controlar a emissão de poeiras e na maioria dos casos adiciona-se produto para prolongar a umidade do material, reduzir os usos de água e custos com energia e com recursos humanos. Nas Figura 22 e Figura 23 estão apresentadas as atividades de umectação no pátio de minérios e no seu transporte por meio de composições ferroviárias.

Outro uso para controle de poeiras é a aspersão em vias internas dos empreendimentos minerários, esta atividade está apresentada na Figura 24.

Para a lavagem dos veículos de grande porte em algumas unidades pode ser observado a execução por meio de robôs (Figura 25).

Ressalta-se que estes usos não demandam água potável, mas sim água com qualidade segura para não comprometer os processos e nem a saúde dos profissionais, quando manejam estas águas ou quando transitam por estes locais.

Figura 20 – Espessador



Figura 21 - Tanque de processo



Figura 22 - Umectação do minério



Figura 23 - Umectação do minério



Figura 24 - Aspersão em vias



Figura 25 - Lavagem de veículos



Além desses usos, a VALE S/A, por meio de termo de compromisso acordado com o Ministério Público, deve disponibilizar 160 L/s para o SAAE de Itabira, a fim de complementar a demanda de água da cidade. Para atendimento destes usos são captados volumes de águas superficiais e subterrâneas considerando o limite máximo outorgado de 1.102 L/s. Sendo 441 L/s referente as captações superficiais, 614 L/s do rebaixamento do nível de água subterrânea e 47 L/s de captação de água subterrânea para abastecimento conforme portarias de outorgas deferidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (IGAM, 2021). Cabe destacar, que parte da vazão outorgada para o rebaixamento é restituída aos cursos de água do entorno das atividades de lavra.

Para otimizar as captações dos mananciais superficiais e subterrâneos, a unidade possui sistemas de reúso macro interno, que são constituídos por barragens de rejeitos e sistemas internos das usinas de beneficiamento (espessadores e reservatórios).

Os volumes totais captados em 2021 pelo Complexo Itabira para suprimento dos usos industriais, complemento do suprimento de água da cidade Itabira e volumes disponibilizados ao meio ambiente foi 1.983 L/s. Deste total, 173,5 L/s foram captados nos mananciais superficiais; 208,5 L/s captados em mananciais subterrâneas e 1.601 L/s captados na barragem de rejeitos (reúso de água).

A demanda total para suprir os usos de água das atividades do Complexo Itabira, soma das parcelas das captações nos mananciais, superficiais e subterrâneos, e nos sistemas de reutilização, foi de 1.820 L/s média diária em 2021. Sendo 173,5 L/s captados dos mananciais superficiais; 45,1 L/s dos mananciais subterrâneos e 1.601 L/s captados na barragem de rejeitos (sistema de reutilização). A taxa de reutilização em 2021 foi de 88%.

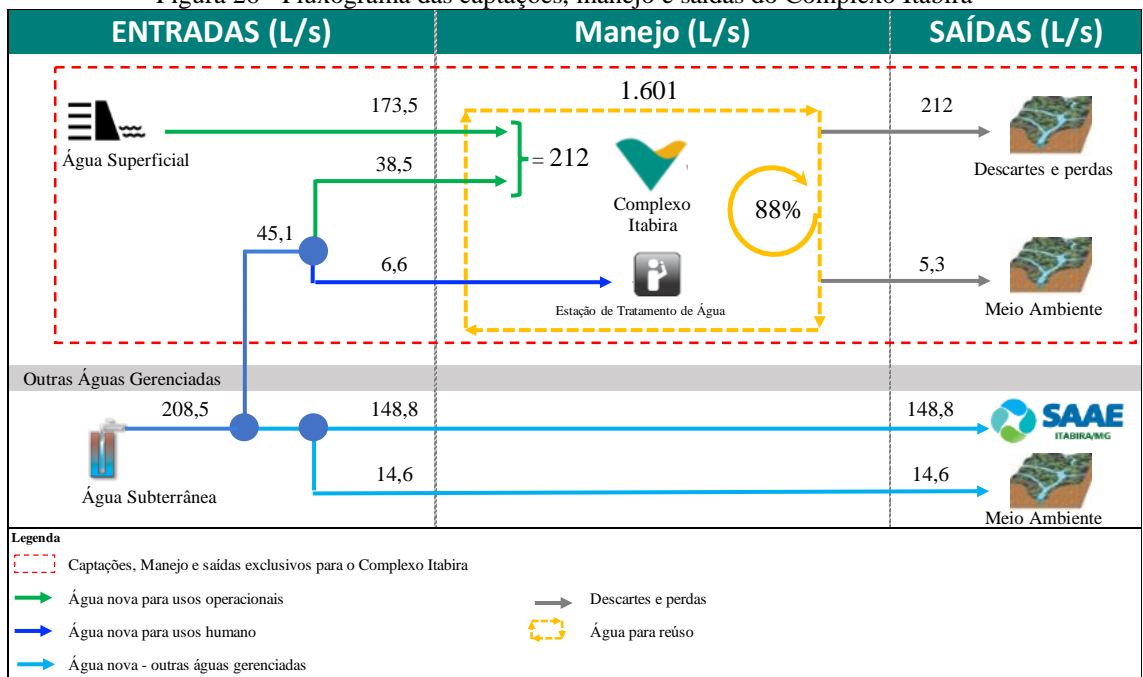
Do total captado, 218,6 L/s, em mananciais superficiais e subterrâneos, 212 L/s são direcionados para o suprimento das atividades industriais e 6,6 L/s são para usos potáveis - consumo humano e higienização. Assim, considerando os resultados do balanço hídrico da Vale em 2021, observa-se que há uma oportunidade de substituir parte das captações dos mananciais superficiais e subterrâneos, total de 212 L/s, por água para reúso proveniente da ETE Laboreaux, pois são usos industriais não potável, como supracitado.

Além dos usos para as atividades do Complexo Itabira, conforme supracitado, a Vale possui um compromisso com a cidade de Itabira em complementar o abastecimento de água do município. Em 2021, foram direcionados para o SAAE de Itabira a vazão média diária de 148,8 L/s.

Por fim, foram retornados ao meio ambiente 14,6 L/s referente ao excedente dos volumes explorados do rebaixamento do nível do lençol de água. Esta atividade de rebaixamento é necessária para drenar a água a fim de liberar as frentes de lavra de minério das minas Conceição e do Meio.

O fluxograma simplificado com os volumes médios diários captados em 2021 para suprir as demandas de água do Complexo Itabira, do SAAE de Itabira e da devolução ao meio ambiente pode ser visualizado na Figura 26. Ressalta-se, que o objetivo deste fluxograma é quantificar as demandas de todas as atividades do Complexo Itabira. Não foi objeto detalhar as perdas nos fluxos apresentados.

Figura 26 - Fluxograma das captações, manejo e saídas do Complexo Itabira



Fonte: VALE (2021b), adaptado pelo autor

Na Figura 26, observa-se que as iniciativas de reúso macro interno das atividades no Complexo Itabira estão em plena aplicação. Entretanto, há uma preocupação com o aumento das regulações e restrições de segurança às barragens de rejeitos - principal estrutura que promove o reúso na mineração. Isso, pode acarretar a redução das vazões atuais de reúso e, conseqüentemente, aumento das vazões captadas nos mananciais superficiais e/ou subterrâneos para suprimento das demandas; ou, num pior cenário, por ausência da disponibilidade hídrica, restrições a produção.

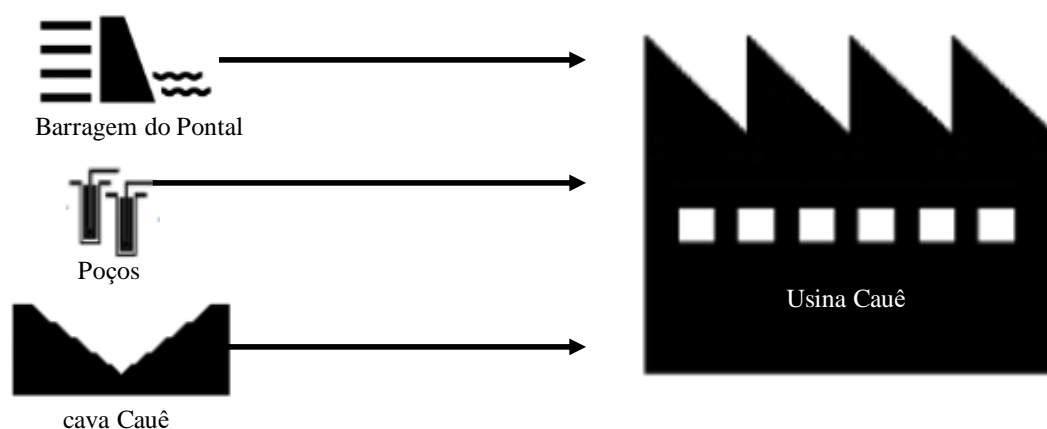
Quanto a qualidade da água para o reúso de água proveniente de estações de efluentes sanitários, em Minas Gerais, para fins industriais é de responsabilidade do empreendedor definir os padrões de qualidade requerido ao uso pretendido (MINAS GERAIS, 2020).

Ao consultar o Complexo Itabira sobre quais padrões de qualidade são requeridos aos seus usos não potáveis, não foi identificada nenhuma determinação pela operação. Porém, a operação informou que é importante controlar os sólidos para evitar obstruções nas tubulações.

As principais fontes de suprimento de água da usina Cauê do Complexo Itabira são: barragem do Pontal, poços tubulares e cava Cauê (Figura 27).



Figura 27 - Fontes de suprimento de água da usina Cauê



Fonte: Próprio autor

Para comparar com os resultados da qualidade do efluente tratado da ETE Laboreaux, considerou a qualidade das águas da cava Cauê e da barragem do Pontal, pois são as estruturas que suprem em maior volume a demanda por água das atividades industriais do Complexo Itabira. Quanto aos parâmetros, para fins de comparabilidade da qualidade da água entre as fontes consideradas do Complexo Itabira, usina Cauê, Figura 27, e a ETE Laboreaux, adotou-se o rol de parâmetros disponibilizados pelo SAAE Itabira, quais são: temperatura, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, óleos vegetais e gorduras animais, óleos minerais, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio.

Os resultados de monitoramento da qualidade da água da cava Cauê são referentes a amostra coletada em 02/04/2020 e resultados laboratoriais publicados no dia 24/04/2020. Não foram identificadas outras análises de qualidade da água da cava Cauê além desta.

Referente a qualidade da água da barragem do Pontal foi identificada uma série de resultados para o período dos anos 2012 a 2022,

Tabela 7. Nesta tabela, os dados foram organizados considerando os valores médio, máximo e mínimo. O parâmetro que teve resultados que podem prejudicar o processo ou a saúde dos profissionais envolvidos foi coliformes termotolerantes. Um fato relevante na visita a campo ao Complexo Itabira e que pode explicar os resultados deste parâmetro foi a confirmação da presença de animais nas áreas dos barramentos. Isto, foi observado na área do dique 06 indicando que as concentrações de coliformes termotolerantes verificadas nos resultados de qualidade da água do reservatório da barragem Pontal é de origem animal, pois esta não aporta efluentes sanitários (Figura 28).

Figura 28 - Vista de jusante para montante do Dique 6



Tabela 7 - Qualidade da Água da Barragem Pontal

Parâmetros	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Início	Fim
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	$1,5 \times 10^4$	$1,6 \times 10^5$	$1,8 \times 10$	02/04/15	07/10/22
DBO (mg/L)	11,5	149	2	07/11/12	07/10/22
DQO (mg/L)	24	83	10	22/03/17	14/07/22
Óleos Minerais (mg/L)	5	5	5	22/03/17	14/07/22
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	5	5	5	22/03/17	14/07/22
pH	7,5	8,95	3,1	07/11/12	07/10/22
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,1	0,1	0,1	22/03/17	14/07/22
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	16,5	140	2	07/11/12	07/10/22
Temperatura °C	24,5	31,8	19,4	04/02/13	07/10/22

Tendo os resultados consistidos da qualidade da água da cava Cauê e da barragem do Pontal, comparou-se aos limites recomendados e mais restritivos para uso não potável na indústria que foram apresentados na Tabela 8. Para a barragem do Pontal, que possui qualidade superior a água da cava Cauê, quando se compara os resultados, em termos médios, da qualidade da água de seu reservatório à qualidade indicada aos usos mais restritivos da indústria, pode-se dizer que em sua maioria é inferior (Tabela 8). Com isso, é importante que a mineração determine quais são os padrões de qualidade aceitáveis para seus usos de forma a evitar restrições desnecessárias quando consideradas referências do setor industrial.

Tabela 8 - Análise comparativa da qualidade da água

Parâmetros	Unidade	Usos Industriais (mais restritivos)	Cava Cauê	Barragem do Pontal
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	2,2	-	1,5 x 10 <sup>4</sup>
DBO	mg/L	≤ 10	55,85	11,5
DQO	mg/L	≤75	138	24
pH		6,8 a 7,2	7,43	7,5
Óleos Minerais	(mg/L)	SI	SI	5
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	(mg/L)	SI	SI	5
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	≤200	336	SI
Sólidos sedimentáveis	(mL/L)	SI	SI	0,1
Sólidos suspensos totais	mg/L	≤0,05	1905	16,5
Temperatura	°C	SI	SI	24,5

Fonte: Próprio autor.  
SI – sem informação

### 6.2.3 ETE Laboreaux

Localizada no município de Itabira, Minas Gerais, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Laboreaux é operada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira (SAAE Itabira).

O empreendimento foi construído sob responsabilidade da Secretária de Obras, SAAE e Secretária do Meio Ambiente de Itabira a fim de atendimento do PRODES – Programa de Despoluição das Bacias Hidrográficas (PCA, 2005).

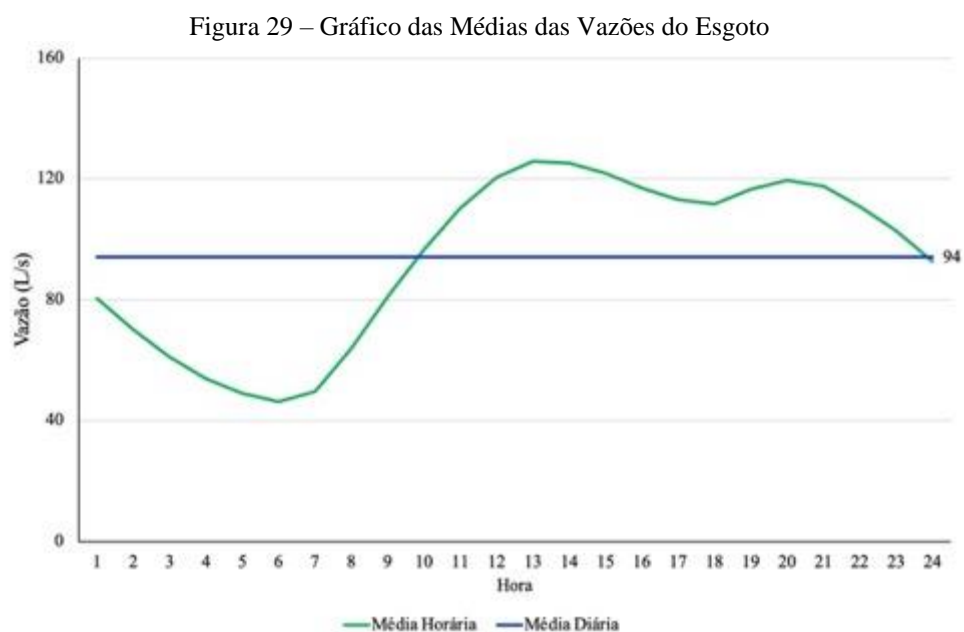
Segundo o PCA (2005) e Gonçalves (2018), o projeto da ETE Laboreaux foi elaborado contemplando um dimensionamento para atender o ano de 2029, em duas etapas, considerando o seguinte cronograma: elaboração de projetos em 2003, implantação das obras em 2004, 1 ano operacional em 2005, e vida útil final de plano em 2029.

O principal objetivo da ETE Laboreaux é a remoção de sólidos em suspensão e estabilização da matéria orgânica dos esgotos sanitários. O SAAE do município planejou a implantação da ETE em 02 (duas) etapas, com modulação de instalação de 50% em cada etapa, bem como sua operação. A estrutura total terá capacidade para operar com vazão média prevista de 313 L/s.

A ETE Laboreaux, 1<sup>a</sup> etapa, opera desde 2008 e é composta por um sistema de tratamento em nível secundário, com capacidade de 170 L/s, podendo atender até 60.000 habitantes (MATOSO, 2020). Entretanto, segundo Matoso (2020), a ETE Laboreaux ainda não alcançou a capacidade máxima de tratamento e os volumes médios variaram de 70 L/s a 110

L/s no ano 2019. Ainda referente a capacidade de tratamento, conforme SNIS (2020), foram coletados 163 L/s e tratados 73 L/s pelo SAAE Itabira no ano 2020.

Considerando os resultados monitoramento disponibilizados pelo SAAE Itabira das vazões do esgoto aportadas pela ETE Laboreaux, período janeiro/2020 a agosto/2022, a média foi de 94 L/s, Figura 29. Assim, para o presente estudo será considerada a oferta de 94 L/s da ETE Laboreaux ao Complexo Itabira. Isso representa 44% das captações dos mananciais superficiais e subterrâneos, total 212 L/s, necessários para o suprimento das atividades não potáveis do Complexo Itabira.



Fonte: Monitoramento ETE-Laboreaux, SAAE Itabira

Importante destacar que a instalação da 2ª etapa se iniciou em junho de 2015, a qual elevará a capacidade da ETE Laboreaux de 170L/s para 313 L/s, e praticamente foi concluída em 2022, porém ainda não se encontra em operação. O layout geral da ETE Laboreaux está apresentado na Figura 30 e podem ser observadas as estruturas das duas etapas de projeto.

Figura 30 - Layout da concepção da ETE Laboreaux

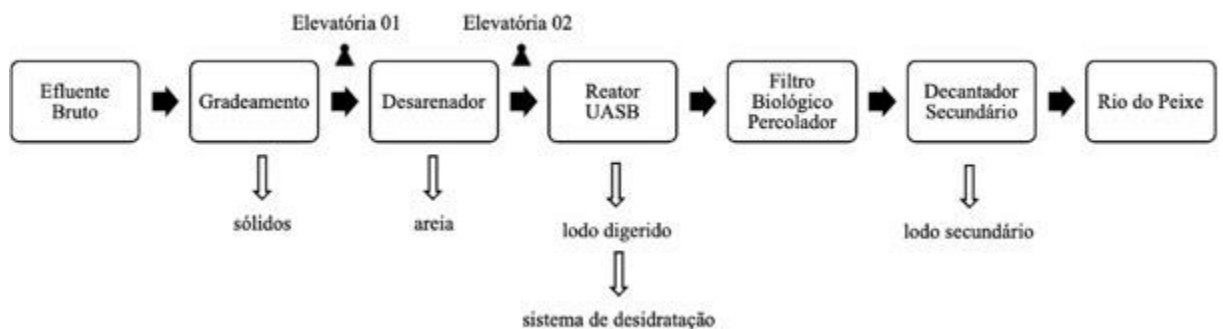


Fonte: VALE, 2022b

É importante ressaltar que no Brasil, a maioria das estações de tratamento de efluentes não foram projetadas para produzir água de reúso. Isto é válido para a ETE Laboreaux, pois o nível de tratamento é secundário, o efluente possui concentração de matéria orgânica elevada e concentrações e formas de nitrogênio e fósforo em quantidades que inviabilizam o reúso direto para a indústria. Em contraposição, se o intuito do reúso fosse a irrigação, as concentrações desses nutrientes citados devem ser controladas, não devendo ser removidos totalmente, pois nitrogênio e fósforo são nutrientes para o crescimento das plantas (MANCUSO; SANTOS, 2003). Tal atividade também existe na mineração, por exemplo na recuperação de áreas degradadas, irrigação de áreas verdes e na produção de mudas.

O processo de tratamento da ETE Laboreaux inicia com o tratamento preliminar por gradeamento de sólidos grosseiros e seguido por gradeamento de sólidos finos. Por meio de bombeamento, elevatória 01, o efluente é encaminhado para o desarenador para retirar a areia. Após a retirada dos sólidos suspensos, o efluente líquido continua o percurso e passa por uma calha *parshall* onde são registrados os volumes que serão tratados. Novamente o efluente líquido é bombeado, elevatória 02, para o tratamento biológico anaeróbio - reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e filtros percolador para redução de carga orgânica e sólidos suspensos e dissolvidos. Por último, é encaminhado para os decantadores e posteriormente o efluente tratado é descartado no rio do Peixe, Figura 31 (SAAE, 2022b).

Figura 31 - Etapas do processo de tratamento da ETE Laboreaux



Fonte: SAAE (2022b), adaptado pelo autor.

Na Figura 32, pode ser visualizado o lançamento do efluente tratado da ETE Laboreaux no rio do Peixe. Foi observada presença de espumas na cor branca no descarte do efluente tratado podendo ser indicativo de alguma instabilidade no tratamento.

Figura 32 - Ponto de lançamento da ETE Laboreaux no rio do Peixe



O monitoramento dos efluentes bruto e tratado tem frequência semanal e os parâmetros são: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes termotolerantes (ou *Escherichia coli*), pH, sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais (SST), óleos vegetais e gorduras animais e condutividade elétrica (DIVINO, 2018). Os resultados, valores médios do ano 2017, para o rol de parâmetros do monitoramento de qualidade do efluente final da ETE Laboreaux estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Média dos resultados do efluente tratado (ano 2017)

Parâmetros	Unidade	Resultado	Metodologia
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	35,5	SMEWW 5210 B
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	69,0	SMEWW 5220 D
pH		7,7	SMEWW 4500 H+B
SS	mL/L	0,4	SMEWW 2540 F
SST	mg/L	52,4	SMEWW 2540 D
Óleos vegetais e gorduras animais	mg/L	< 10,0	SMEWW 5520 F
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,3 x 10 <sup>6</sup>	SMEWW 9221 E

Fonte: DIVINO (2018 *apud* SAAE, 2018)

Nota-se na Tabela 9 que a densidade de coliformes termotolerantes do efluente após o tratamento secundário é da ordem de 10<sup>6</sup>. Dependendo da finalidade do uso pode requerer tratamento adicional para eliminar o risco de contaminação, por exemplo para sistema de refrigeração (2,2 NMP/100ml) e controle de poeira (3 NMP/100ml) conforme apresentado na Tabela 6.

De modo a ampliar o conhecimento da qualidade do efluente tratado da ETE Laboreaux foram analisados os resultados dos parâmetros operacionais disponibilizados pelo SAAE Itabira, considerando: temperatura, pH, sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais

(SST), óleos vegetais e gorduras animais, óleos minerais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), eficiência de remoção – DBO, eficiência de Remoção – DQO, carga DBO, carga DQO e carga SST.

Para conferir a conformidade dos parâmetros analisados, tomou-se como referência a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08, de 22 de novembro de 2022, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Por meio dela, foram identificados os Valores Máximos Permitidos (VMPs) para cada parâmetro, assim como os mínimos quando pertinente.

O período analisado de janeiro/2016 a maio/2022, porém foram observadas falhas. Entre junho e dezembro/2019, não foram identificados resultados para nenhum dos parâmetros. Ademais, para Óleos Minerais não foram identificados dados de janeiro/2016 e março/2020, o mesmo ocorreu entre setembro/2018 a março/2020 para Óleos Vegetais e Gorduras Animais. Por último, não foram encontrados os resultados das Cargas de DBO, DQO e SST para os períodos de março/2017 a junho/2017, e novembro/2018 a março/2019.

Os parâmetros que tiveram resultados não conformes aos padrões estabelecidos na COPAM/CERH-MG N.º 8 (MINAS GERAIS, 2022) para efluente tratado foram:

- Sólidos Sedimentáveis: observados valores não conformes em setembro/2017 e julho/2020 concentrações de 1,30mg/L e 2,50 mg/L respectivamente, enquanto o VMP é de 1,00 mg/L. Nesse sentido, a taxa de conformidade do parâmetro é de 97,1%, em relação ao total - 68 resultados;
- Sólidos Sedimentáveis Totais: observados valores não conformes em setembro/2017, julho/2020 e setembro/2021 concentrações de 116,00mg/L, 126,67mg/L e 102,00 mg/L, respectivamente. Com isso resulta numa taxa de conformidade de 95,6%;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): observados valores não conformes em janeiro/2017 (76,78 mg/L) e julho/2020 (66,84 mg/L) resultando em 97,1% de conformidade. Quanto a eficiência de remoção, parâmetro que deve atender ao mínimo de 70,0%, conforme presente na COPAM/CERH-MG N.º 8 (MINAS GERAIS, 2022). No período analisado, somente em março/2020 a eficiência ficou abaixo do mínimo requerido pela normativa (60,0%), equivalente a 1,47% de não conformidade;



- Demanda Química de Oxigênio (DQO): observados valores não conformes em novembro/2016 (192,0 mg/L), julho/2020 (209,0 mg/L) e setembro/2021 (187,0 mg/L)), resultando em 95,6%. Em relação a eficiência de remoção de DQO, foi observada que em março/2020 (54,2%) e abril/2018 (52,6%) estiveram abaixo do limite mínimo definido pela DN (65,0%), resultando na taxa de 2,94% de não conformidade.
- Demais parâmetros de qualidade são monitorados na ETE Laboreaux, mesmo sem VMPs normativos, os quais indicam as cargas de DBO, DQO e SST. Devido a não existência de limites, não foi possível realizar as taxas de não conformidades.

Para facilitar o entendimento dos resultados da qualidade do efluente tratado, considerando as análises laboratoriais disponibilizadas, apresenta-se na Tabela 10 para cada parâmetro: os VMPs, valores médios, valores máximos, valores mínimos e conformidade.

Por fim, cabe destacar que a ETE Laboreaux, além dos esgotos sanitários, recebe efluentes industriais tratados, chorume do aterro sanitário do município de Itabira e efluentes de banheiros químicos e fossas sépticas (SIAM, 2015).

Tabela 10 - Síntese dos resultados do efluente tratado ETE Laboreaux (2016-2022)

Parâmetro	Quantidade de análises	VMP	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	% Conformidade
Temperatura (°C)	68	40,0	23,4	27,5	17,1	100
pH	68	6,0 – 9,0	7,62	8,38	7,18	100
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	68	1,00	0,19	2,5	0,10	97,1
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	68	100,00	20,6	126,7	6,13	95,6
Óleos Vegetais e Gorduras Animais (mg/L)	53	50,00	9,95	16,4	1,7	100
Óleos Minerais (mg/L)	24	20,00	10,6	18,4	10,0	100
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	68	60,00	30,8	76,8	11,8	97,06
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	68	180,00	84,4	209,0	10,0	95,6
Eficiência de Remoção – DBO (%)	68	mínimo de 70,00	84,6	94,2	47,5	95,6
Eficiência de Remoção – DQO (%)	68	mínimo de 65,00	83,1	97,7	52,6	94,12
Carga DBO (mg/L)	57	-	197,0	493,4	2,68	-
Carga DQO (mg/L)	57	-	577,3	1.599	8,88	-
Carga SST (mg/L)	57	-	292,3	872,5	2,13	-

### 6.2.4 Análise quali-quantitativa do reúso de água

Conforme, itens anteriores, o volume das captações superficiais e subterrâneas para usos não potável do Complexo Itabira foram de 212 L/s (ano 2021) e a média das vazões afluentes ETE Laboreaux foi de 94 L/s (janeiro/2020 a agosto/2022).

A oferta de água da ETE Laboreaux equivale a 44% das captações dos mananciais superficiais e subterrâneos do Complexo Itabira, ano 2021.

Tendo verificado o cotejo entre a oferta e a demanda, é preciso verificar a compatibilidade entre a qualidade da água para os usos industriais e a qualidade do efluente tratado da ETE Laboreaux.

Para isso, considerou-se os resultados disponíveis do monitoramento das águas da cava Cauê e barragem do Pontal, pois são as principais estruturas que suprem as demandas de água dos usos industriais do Complexo Itabira. Assim, comparou os resultados médios do rol de parâmetros do monitoramento da qualidade da água dessas estruturas com os do efluente tratado da ETE Laboreaux (Tabela 11). O objetivo desta comparação foi verificar a possibilidade de reúso, ou seja, a água para reúso proveniente da ETE Laboreaux ser compatível aos parâmetros de qualidade destas fontes de abastecimento.

Observa-se na Tabela 11 que os resultados da qualidade da água da ETE Laboreaux estão próximos ou até mesmo com qualidade superior quando comparados com os resultados das fontes de água do Complexo Itabira, cava Cauê e barragem do Pontal.

Tabela 11 - Análise comparativa entre as fontes de água

Parâmetros	Unidade	Cava Cauê	Barragem do Pontal	ETE Laboreaux
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	SI	1,5 x 10 <sup>4</sup>	1,3 x 10 <sup>6</sup>
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	55,85	11,5	30,8
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	138	24	84,4
pH		7,43	7,5	7,62
Óleos Minerais	(mg/L)	SI	5	10,6
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	(mg/L)	SI	5	9,95
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	336	SI	SI
Sólidos sedimentáveis	(mL/L)	SI	0,1	0,19
Sólidos suspensos totais	mg/L	1905	16,5	20,6
Temperatura	°C	SI	24,5	23,4

A respeito dos coliformes termotolerantes, a maior concentração observada foi no efluente tratado da ETE Laboreaux (Tabela 11), origem humana, havendo necessidade de desinfecção. Cabe destacar que as concentrações de coliformes termotolerantes observadas nas águas do reservatório da barragem do Pontal é de origem animal, pois não há descartes de efluentes

sanitários neste reservatório. A preocupação quanto ao coliformes termotolerantes é a saúde dos profissionais, pois dependendo do manejo do reúso há risco de contaminação, por exemplo a inalação.

Verifica-se na Tabela 11 que a demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e sólidos suspensos totais, em termos dos valores médios foram observadas maiores concentrações na qualidade da água da cava Cauê seguido pela água da ETE Laboreaux. Portanto, para o despejo da água para reúso na barragem do Pontal é necessário o tratamento complementar para remoção de matéria orgânica. Óleos minerais, óleos vegetais e gorduras animais e sólidos sedimentáveis, as concentrações foram maiores no efluente da ETE Laboreaux, sendo necessário a remoção. Temperatura e pH, os resultados observados são equivalentes.

Porém, apesar de se tratar de efluentes sanitários, pode ocorrer presença de elementos químicos que não são comuns a este tipo de efluente. Este fato, deve-se a contratos que a ETE Laboreaux possui com terceiros para tratamento de outros efluentes (SIAM, 2015). Um outro fato que preocupa, é o descarte de produtos químicos na rede - seja por desconhecimento do usuário ou até mesmo por atos de sabotagem.

Logo, recomenda-se a caracterização completa dos efluentes sanitários da ETE Laboreaux antes de decidir qual tratamento complementar será empregado.

Considerando os dados de quantidade e qualidade, entre a oferta da água para reúso da ETE Laboreaux e a demanda dos usos não potáveis do Complexo Itabira, pode-se afirmar que há viabilidade.

### **6.2.5 Caracterização das principais estruturas hídricas**

Foi realizada uma análise das principais estruturas de abastecimento de água do complexo Itabira para análise das alternativas do arranjo conceitual do projeto de reúso, barragem do Pontal, dique 06, dique Coqueirinho, cava Cauê, canal da usina e dos possíveis traçados das adutoras da ETE Laboreaux ao Complexo Itabira.

A barragem do Pontal é o maciço principal do sistema de barragens do Pontal e está instalado na mina Cauê. Foi implementada no córrego dos Doze, afluente do rio do Peixe, que deságua no rio Piracicaba. Sua área de drenagem total é de 16,3 Km<sup>2</sup>, ocupada com cerca de 32% pela superfície do reservatório e o restante por matas homogêneas de eucalipto, pela cava da mina Cauê, pelas instalações industriais e escritórios e parte da zona urbana de Itabira (Ferreira, 2018). Este sistema foi concebido para aporte de rejeitos da usina de beneficiamento do minério Cauê e recuperação de água no reservatório da barragem para os

usos não potáveis do processo. O sistema é composto por 08 (oito) barramentos sendo: barragem do Pontal - maciço principal (Figura 33), dique Minervino (Figura 34), dique Cordão Nova Vista (Figura 35), dique 02 (Figura 36), dique 03 (Figura 37), dique 04 (Figura 38), dique 05 (Figura 39) e dique 06 (Figura 40).

Figura 33 - Barragem do Pontal



Figura 34 - Dique Minervino



Figura 35 - Dique Cordão Nova Vista



Figura 36 - Dique 02



Figura 37 - Dique 03



Figura 38 - Dique 04



Figura 39 - Dique 05



Figura 40 - Dique 06



O dique Minervino, localizado a montante da barragem do Pontal, implementado no ano de 2004 e concebido para a contenção da fração sólida das descargas da usina de beneficiamento Cauê e disposição esporádica dos rejeitos. Atualmente, o reservatório encontra-se praticamente assoreado e assim os rejeitos são direcionados para a barragem do Pontal.

O dique Cordão Nova Vista, foi construído em 1995, com a finalidade de aumentar a cota do reservatório da barragem do Pontal para a contenção dos rejeitos provenientes das descargas da usina de beneficiamento Cauê e proteger as residências dos bairros da cidade Itabira, denominados Bela Vista e Nova Vista.

Os diques 02, 03, 04, 05 e 06, foram construídos entre 1998 e 2002, com a finalidade de receber os rejeitos do processo da usina de beneficiamento Cauê, exceto o dique 06 que foi construído exclusivamente para acumular água.

Cabe destacar que os diques do sistema do Pontal direcionam seus vertimentos para o dique principal. Entretanto, para cumprir a Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020), estes diques estão em fase de descaracterização, pois foram concebidos pelo método construtivo a montante. Ao final da descaracterização, somente o dique principal permanecerá porque este foi implementado pelo método construtivo a jusante.

Na Tabela 12 estão apresentadas as principais características das estruturas de barramento pertencentes ao sistema de barragens do Pontal e suas localizações podem ser visualizadas na Figura 41.

Tabela 12 - Principais características do Sistema Pontal

Dados	Barragem Pontal	Dique 02	Dique 03	Dique 04	Dique 05	Dique Minervino	Dique Cordão Nova Vista
Coordenadas (m)	690.544 E;	689.751 E	690.413 E	691.324 E	691.613 E	687.945 E	688.499 E
	7.828.949 N	7.830.346 N	7.830.886 N	7.830.960 N	7.831.172 N	7.830.445 N	7.829.876 N
Finalidade	Contenção de rejeitos	Contenção de rejeitos	Contenção de rejeitos	Contenção de rejeitos	Contenção de rejeitos	Contenção de rejeitos	Contenção de rejeitos
Situação	Inativa	Inativa	Inativa	Inativa	Inativa	Inativa	Inativa
Início da operação	1972	2002	1996	2002	1998	2004	1995
Final da operação	2032	2022	2022	2022	2022	2032	2032
Método construtivo	Jusante	Montante	Montante	Montante	Montante	Montante	Montante
Altura (m)	69	21	21	13	13	14,5	17
Comprimento da crista (m)	790	620	606	485	320	1200	1670
Volume do reservatório (Mm <sup>3</sup> )	149,1	20,3	8,8	3,8	12,3	10,5	4,9

Fonte: Tetra Tech (2021)

Figura 41 - Sistema Pontal



Fonte: VALE (2022b), adaptado pelo autor.

O dique Coqueirinho recebe as drenagens pluviais provenientes do bairro Nova Vista e área do Complexo Itabira, Figura 41, como também parte dos efluentes domésticos deste bairro por ainda não estarem conectados à rede de esgoto da cidade. O volume de água neste reservatório é controlado por meio de um sistema de bombeamento operado pela Vale que direciona suas águas para o reservatório da Barragem do Pontal.

A cava Cauê não possui mais atividade de lavra porque está exaurida (Figura 42). Atualmente opera como um reservatório que recebe os rejeitos da usina Cauê e as águas: do sistema de barragens Pontal, dos poços tubulares e da precipitação. As águas armazenadas neste reservatório são direcionadas ao canal da usina (Figura 43 e Figura 44), posteriormente são direcionadas aos usos não potáveis da usina Cauê. Também, podem ser direcionadas para a Barragem Conceição e desta para uma outra usina de beneficiamento de minério (usina Conceição). Os volumes direcionados para ambas as usinas e para a barragem de Conceição são por meio de sistema de bombeamento.



Figura 42 - Vista da cava Cauê



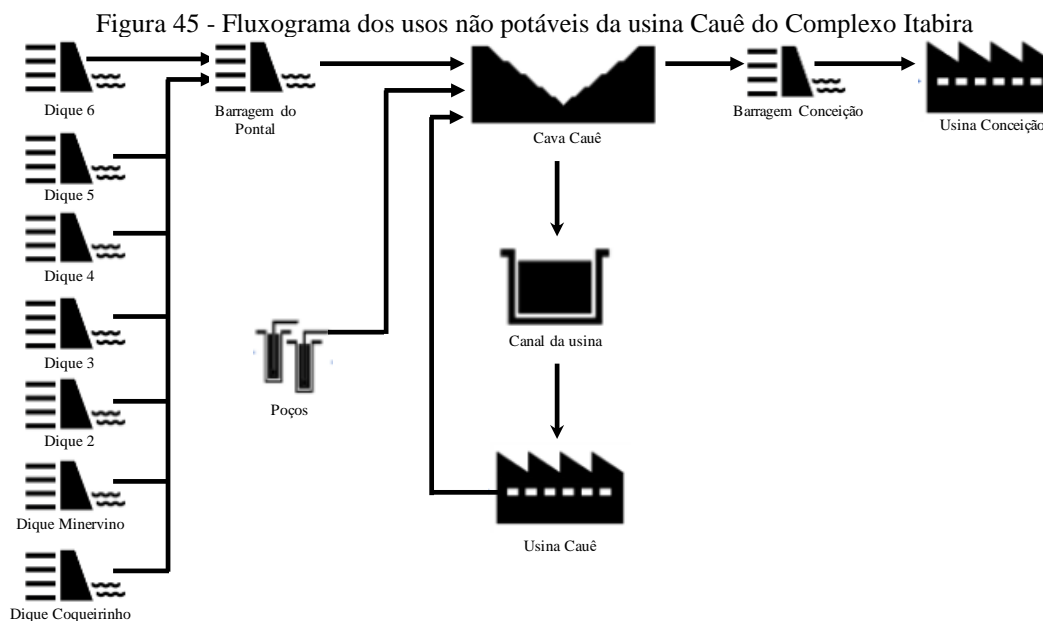
Figura 43 - Canal da Usina (entrada de água da cava Cauê)



Figura 44 - Canal da usina (vista geral)



Na Figura 45 estão apresentados os circuitos hídricos relevantes para estudo que suprem as demandas dos usos não potáveis do Complexo Itabira e suas interações por meio do fluxograma esquemático.



Fonte: VALE (2021b), elaborado pelo autor.

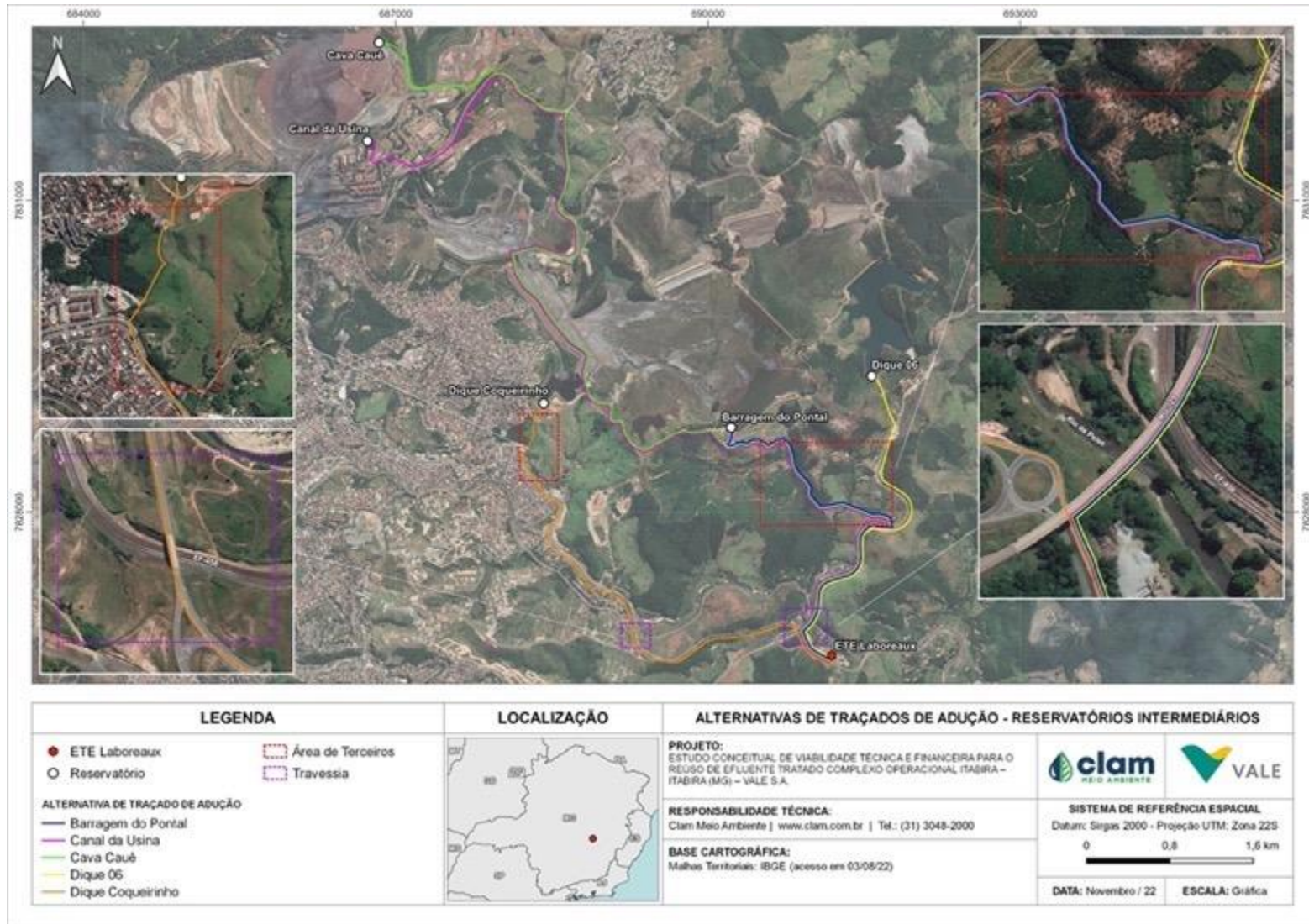
Foi realizado o levantamento dos possíveis traçados das adutoras da ETE Laboreaux as estruturas hídricas d Complexo Itabira (barragem do Pontal, dique 06, dique Coqueirinho, cava Cauê, canal da usina) que foram analisadas para estudo das alternativas do projeto de reúso.

Os traçados preliminares e os perfis das adutoras com objetivo de quantificar as extensões, desníveis geométricos, número de travessias e desnível geométrico foram elaborados com auxílio das ferramentas e imagens disponíveis no *software* Google Earth (Figura 46 e Figura 47). Apresenta-se na Tabela 13 os quantitativos levantados para subsidiar o levantamento dos custos com materiais de forma conceitual.

Tabela 13 - Quantitativos preliminares

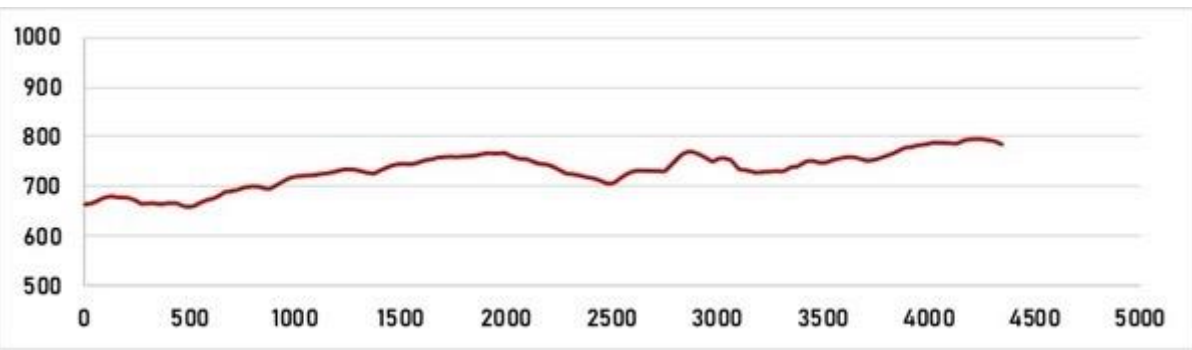
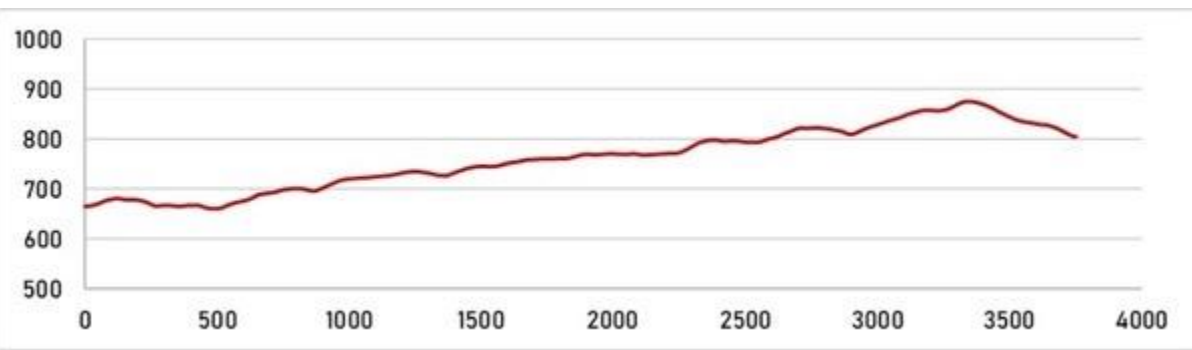
Parâmetros	Dique 06	Dique Coqueirinho	Barragem do Pontal	Cava Cauê	Canal da Usina
Extensão (km)	3,7	5,1	4,3	11,9	12,4
Travessias em Rodovias	1	0	1	1	1
Travessias em Ferrovias	1	1	1	1	1
Travessias em Cursos D'água	1	1	2	3	3
Desnível Geométrico (m)	204	153	131	240	283

Figura 46 – Localização das principais estruturas



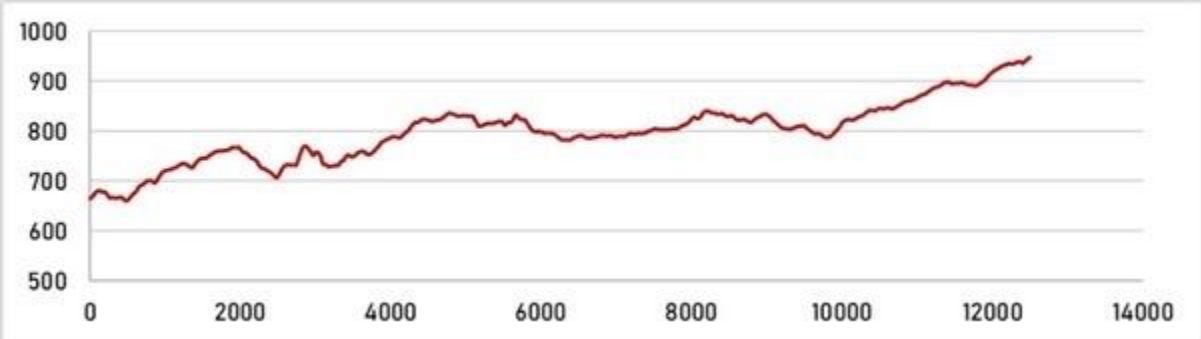
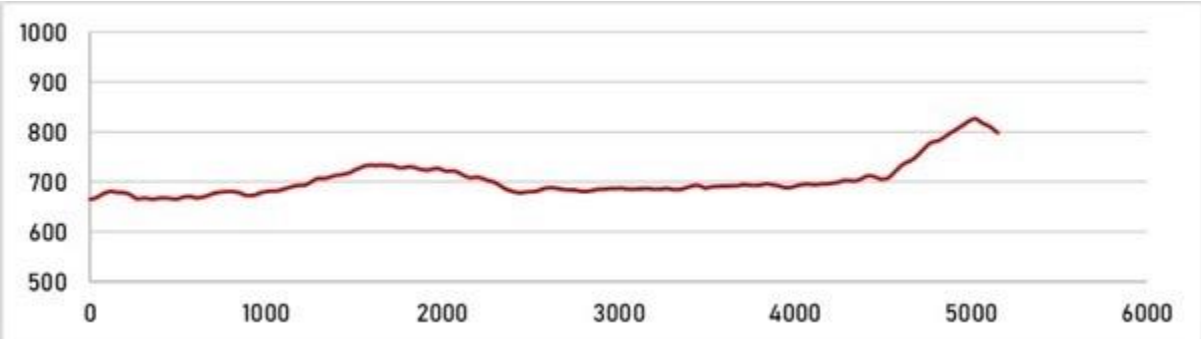
Fonte: VALE 2022b.

Figura 47 - Perfis longitudinais dos traçados das adutoras entre a ETE Laboreaux e respectivos destinos

Destino	Perfil
Barragem do Pontal	 <p data-bbox="862 662 1691 694">Cota ETE Laboreaux: 664 m / Cota final: 795 m / Diferença de cotas: 131 m</p>
Dique 06	 <p data-bbox="862 1101 1691 1133">Cota ETE Laboreaux: 664 m / Cota final: 868 m / Diferença de cotas: 204 m</p>

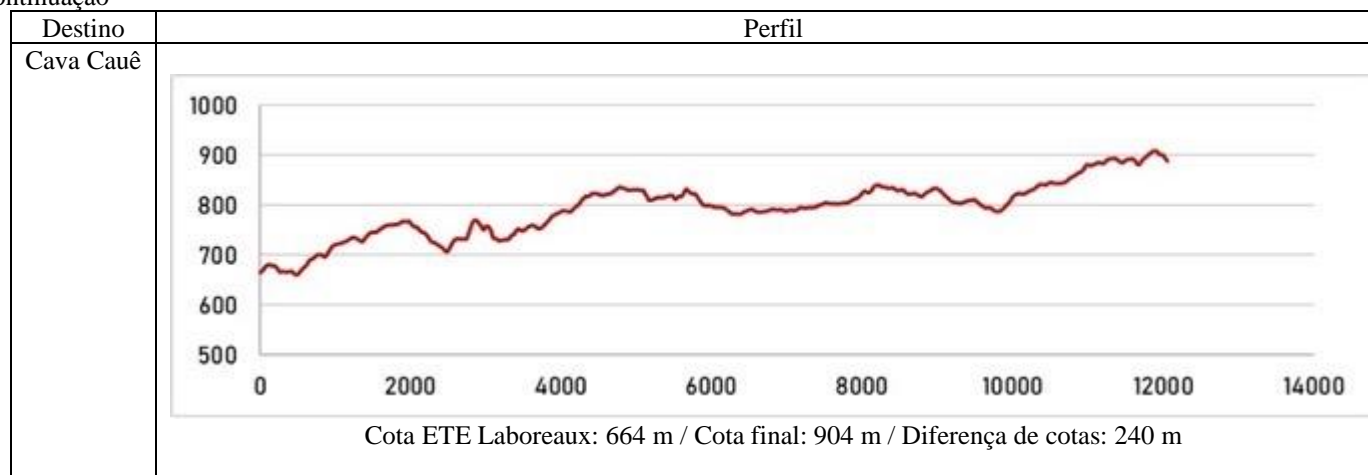
Continua...

...continuação

Destino	Perfil
Canal da Usina	 <p data-bbox="862 598 1680 630">Cota ETE Laboreaux: 664 m / Cota final: 947 m / Diferença de cotas: 283 m</p>
Dique Coqueirinho	 <p data-bbox="862 1037 1680 1069">Cota ETE Laboreaux: 664 m / Cota final: 817 m / Diferença de cotas: 153 m</p>

Continua...

...continuação



Fonte: VALE, 2022b

### 6.2.6 Alternativas para o reúso de água

Considerando as localizações das estruturas selecionadas do Complexo Itabira e da ETE Laboreaux foram definidas 5 alternativas para desenvolver o projeto conceitual de reúso seguindo as premissas abaixo:

- Existe demanda pelo Complexo Itabira para o reúso de água da ETE Laboreaux;
- Padrões de qualidade exigidos da água para reúso da ETE Laboreaux ser igual ou superior a qualidade requerida do seu primeiro destino no Complexo Itabira;
- Alterações do *layout* das estruturas do Complexo Itabira;
- Reservatórios entre a ETE ao uso pretendido. Quanto maior o volume de reservação maior a flexibilidade do manejo e do tratamento das águas;
- Considerou-se ter tratamento avançado, por empresa habilitada, para assegurar a saúde humana e ampliar as possibilidades de reúso da água em atividades como aspersão de vias;
- Considerou-se a avaliação qualitativa entre as vantagens e desvantagens de cada alternativa. Desconsiderou-se a avaliação quantitativa, pois os dados disponíveis naquele momento eram insuficientes para tal caracterização.

A seguir estão descritas as 05 (cinco) alternativas consideradas para avaliar a viabilidade de promover o reúso de água da ETE Laboreaux ao Complexo Itabira.

#### Alternativa 01

Composta pelas seguintes estruturas: ETE Laboreaux, dique 6 (reservatório 2), barragem do Pontal, cava Cauê, canal da usina Cauê, sistemas de bombeamento e adutoras (existentes e novos). Nesta alternativa, considerou-se que por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora a água para reúso da ETE é direcionada ao Complexo Itabira da seguinte forma:

- Da ETE para o dique 6 (reservatório 1) por meio de sistema de bombeamento e adutora novos;
- Do dique 6 (reservatório 1) para a barragem do Pontal (reservatório 2) por gravidade;
- Da barragem do Pontal (reservatório 2) para a cava Cauê (reservatório 3) por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes;
- Da cava Cauê (reservatório 3) para o canal da usina (reservatório 4) por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes;

- Do canal da usina (reservatório 4) para a usina Cauê por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes.

Esta alternativa foi proposta, pois há possibilidade de utilizar até 05 (cinco) estruturas como reservatórios aumentando a capacidade de regularização das vazões para o processo.

Como o primeiro destino, no Complexo de Itabira, é o reservatório do Dique 6, deve-se cumprir os padrões de qualidade exigidos para lançamento em corpos hídricos classe 2 ambientes lênticos estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 8 (MINAS GERAIS, 2022). Desse modo, está considerado um pós-tratamento por meio da desinfecção de forma a reduzir a concentração de nutrientes e matéria orgânica.

No Quadro 6 estão apresentadas as vantagens e desvantagens identificadas da Alternativa 01.

Quadro 6 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 01)

Vantagens	Desvantagens
Redução do uso de água retirada do meio ambiente (superficial e subterrânea).	Dique 6 possui baixa capacidade de armazenamento.
Tratamento simples, pois, entende-se que incluir no pós-tratamento a desinfecção seja suficiente.	Observada presença de animais com potencial de alteração da qualidade da água.
Elimina a necessidade de presença de terceiros nas instalações industriais, pois a desinfecção pode ser feita na área da ETE Laboreaux.	Risco de vandalismo e maior tempo de deslocamento para qualquer intervenção por estar distante das instalações industriais.
Menor extensão de adutora nova a ser implementada.	Qualidade baixa da água armazenada na cava Cauê devido o aporte de rejeitos da usina Cauê.

## Alternativa 02

Composta pelas seguintes estruturas: ETE Laboreaux, barragem do Pontal, cava Cauê, canal da usina Cauê, sistemas de bombeamento e adutoras (existentes e novos). Nesta alternativa, considerou-se que por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora a água para reúso da ETE é direcionada ao Complexo Itabira da seguinte forma:

- Da ETE para a barragem do Pontal (reservatório 1) por meio de sistema de bombeamento e adutora novos;
- Da barragem do Pontal (reservatório 1) para a cava Cauê (reservatório 2) por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes;
- Da cava Cauê (reservatório 2) para o canal da usina (reservatório 3) por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes.
- Do canal da usina (reservatório 4) para a usina Cauê por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes.



Como o primeiro destino, no Complexo de Itabira, é o reservatório da barragem do Pontal, deve-se cumprir os padrões de qualidade exigidos para lançamento em corpos hídricos classe 2 ambientes lênticos estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 8 (MINAS GERAIS, 2022). Desse modo, está considerado um pós-tratamento por meio da desinfecção de forma a reduzir a concentração de nutrientes e matéria orgânica.

No Quadro 7 estão apresentadas as vantagens e desvantagens identificadas da Alternativa 02.

Quadro 7 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 02)

Vantagens	Desvantagens
Redução do uso de água retirada do meio ambiente (superficial e subterrânea).	Observada presença de animais com potencial de alteração da qualidade da água.
Pós-tratamento simplificado pode ser suficiente.	Risco de vandalismo e maior tempo de deslocamento para qualquer intervenção por estar distante das instalações industriais.
Elimina a necessidade de presença de terceiros nas instalações industriais, pois a desinfecção pode ser feita na área da ETE Laboreaux.	Qualidade baixa da água armazenada na cava Cauê devido o aporte de rejeitos da usina Cauê.
Barragem do Pontal com alta capacidade de armazenamento (ver Tabela 12).	
Aproveita o sistema de bombeamento e adutora existentes na barragem do Pontal.	
Menor desnível geométrico.	

### Alternativa 03

Composta pelas seguintes estruturas: ETE Laboreaux, cava Cauê (reservatório 1), canal da usina (reservatório 2), usina Cauê, sistemas de bombeamento e adutoras (existentes e novos).

Nesta alternativa, considerou-se que por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora a água para reúso da ETE será direcionada ao Complexo Itabira da seguinte forma:

- Da ETE para a cava Cauê (reservatório 1) por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora;
- Da cava Cauê (reservatório 1) para o canal da usina (reservatório 2) por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora;
- Do canal da usina (reservatório 2) para usina Cauê: sistema de bombeamento e adução existentes.

Como o primeiro destino é a cava Cauê, reservatório de grande porte a céu aberto, apesar de aportar efluentes industriais, adotou-se os padrões de qualidade exigidos para lançamento em corpos hídricos classe 2 ambientes lênticos estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 8 (MINAS GERAIS, 2022). A justificativa para este critério é evitar a eutrofização no lago pelo aporte do efluente tratado da ETE Laboreaux. Desse modo,

está considerado um pós-tratamento por meio da desinfecção de forma a reduzir a concentração de nutrientes e matéria orgânica.

No Quadro 8 estão apresentadas as vantagens e desvantagens identificadas da Alternativa 03.

Quadro 8 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 03)

Vantagens	Desvantagens
Redução do uso de água retirada do meio ambiente (superficial e subterrânea).	Incertezas da vida útil da cava como estrutura de armazenamento de água.
Pós-tratamento simplificado pode ser suficiente.	Qualidade baixa da água armazenada na cava Cauê devido o aporte de rejeitos da usina Cauê.
Reduz o risco de vandalismo	Redução da capacidade de armazenamento.
	Maior custo com materiais e implementação.

#### **Alternativa 04**

Composta pelas seguintes estruturas: ETE Laboreaux, canal da usina (reservatório 1), usina Cauê, sistemas de bombeamento e adutoras (existentes e novos).

Nesta alternativa, considerou-se que por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora a água para reúso da ETE será direcionada ao Complexo Itabira da seguinte forma:

- Da ETE para o canal da usina (reservatório 1) por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora;
- Do canal da usina (reservatório 1) para usina Cauê por meio de sistema de bombeamento e adução existentes.

Como o primeiro destino é o canal da usina adotou-se os padrões de qualidade conforme Tabela 11. Recomenda-se o pós-tratamento pelo menos por meio da desinfecção de forma a reduzir a concentração de nutrientes e matéria orgânica e a preservação da saúde humana, devido a circulação de pessoas na área industrial.

No Quadro 9 estão apresentadas as vantagens e desvantagens identificadas da Alternativa 04.

Quadro 9 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 04)

Vantagens	Desvantagens
Redução do uso de água retirada do meio ambiente (superficial e subterrânea).	Redução da capacidade de armazenamento.
Redução de manutenção devido a redução do número de estruturas consideradas	Maior custo com materiais e implementação.
Melhora na qualidade da água ao processo.	
Maior segurança das instalações do sistema de tratamento, localização próxima as instalações industriais.	

### Alternativa 05

Composta pelas seguintes estruturas: ETE Laboreaux, dique Coqueirinho (reservatório 1), barragem do Pontal, canal da usina (reservatório 2), usina Cauê, sistemas de bombeamento e adutoras (existentes e novos).

Nesta alternativa, considerou-se que por meio de novos sistemas de bombeamento e adutora a água para reúso da ETE será direcionada ao Complexo Itabira da seguinte forma:

- Da ETE para o dique Coqueirinho (reservatório 1) por meio de sistema de bombeamento e adutora novos;
- Do dique Coqueirinho (reservatório 1) para a barragem do Pontal (reservatório 2) por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes;
- Da barragem do Pontal (reservatório 2) para a cava Cauê (reservatório 3) por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes.
- Da cava Cauê (reservatório 3) para o canal da usina (reservatório 4) para a usina Cauê por meio de sistema de bombeamento e adutora existentes.

Como o primeiro destino é o canal Coqueirinho, apesar de aportar parte de efluentes sanitários do bairro Nova Vista, adotou-se os padrões de qualidade exigidos para lançamento em corpos hídricos classe 2, ambientes lênticos, estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 8 (MINAS GERAIS, 2022). A justificativa para este critério é evitar a eutrofização no lago pelo aporte do efluente tratado da ETE Laboreaux. Desse modo, está considerado um pós-tratamento de forma a reduzir a concentração de nutrientes e matéria orgânica.

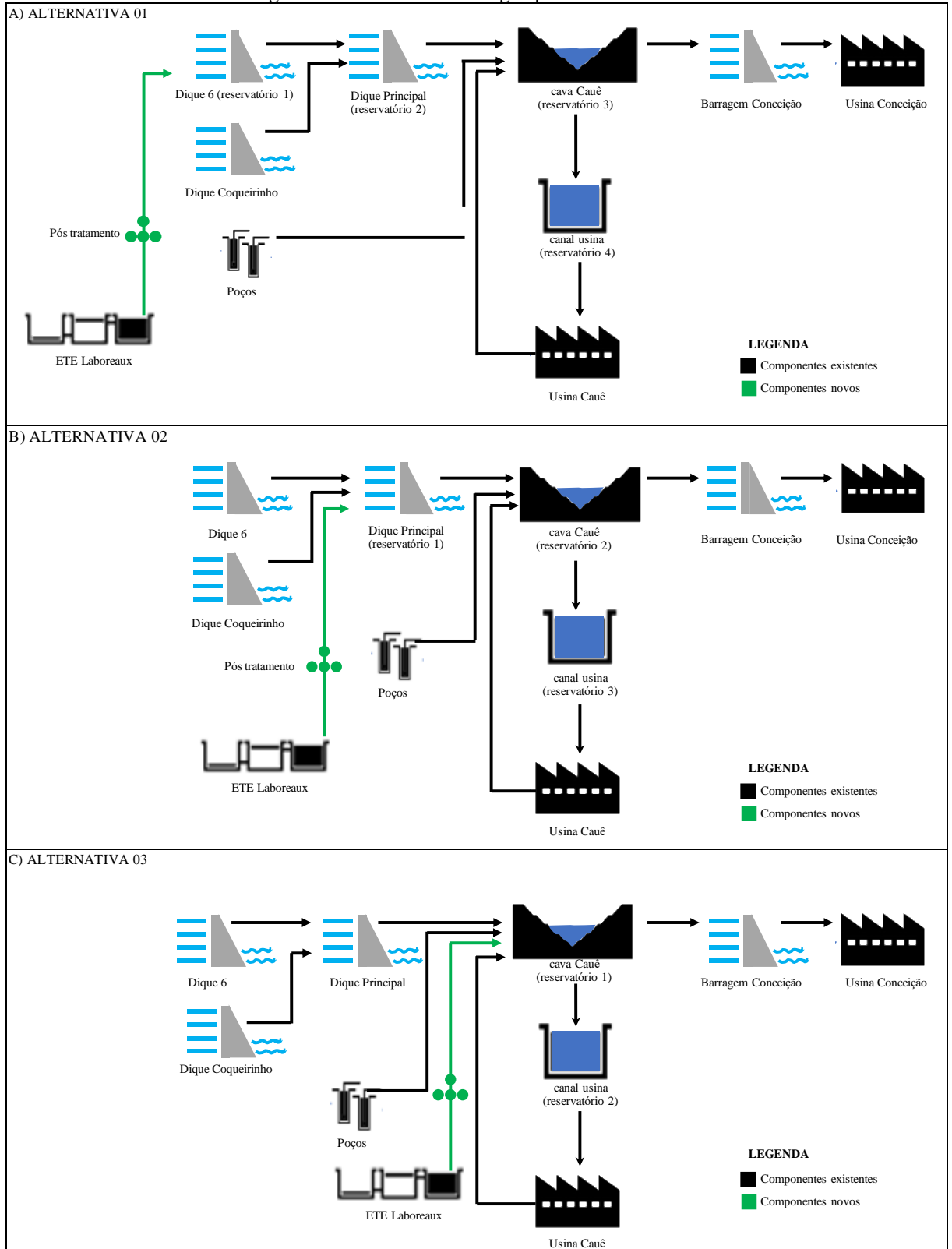
No Quadro 10 estão apresentadas as vantagens e desvantagens identificadas da Alternativa 05.

Quadro 10 - Vantagens e Desvantagens (Alternativa 05)

Vantagens	Desvantagens
Redução do uso de água retirada do meio ambiente (superficial e subterrânea).	Redução da capacidade de armazenamento.
Redução de manutenção devido a redução do número de estruturas consideradas	Maior custo com materiais e implementação.
Melhora na qualidade da água ao processo.	
Maior segurança das instalações do sistema de tratamento, localização próxima as instalações industriais.	

Na Figura 48 são apresentados os fluxogramas dos circuitos hídricos das alternativas consideradas para validação com as partes interessadas.

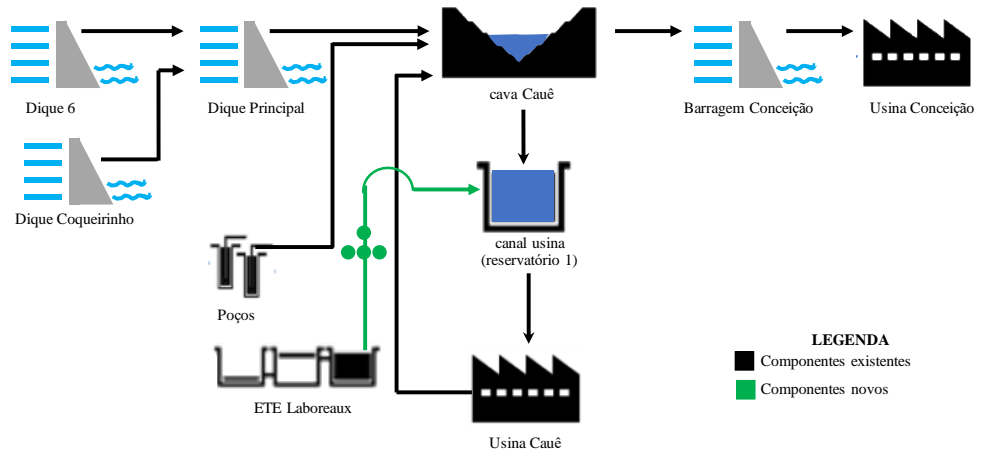
Figura 48 – Alternativas de Água para Reúso



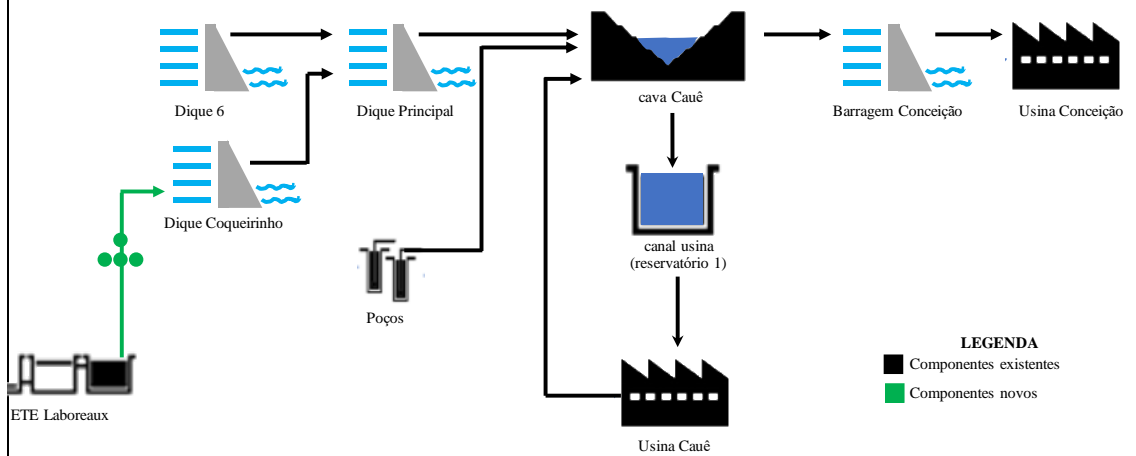
Continua...

...continuação

D) ALTERNATIVA 04



E) ALTERNATIVA 05



Fonte: VALE (2021a), adaptado pelo autor.

### **6.2.7 Seleção da melhor alternativa para o reúso de água**

Após analisadas as 5 possíveis alternativas de reúso de água proveniente da ETE Laboreaux ao suprimento das demandas por água do Complexo Itabira, reuniu-se com o grupo técnico responsável pela gestão de recursos hídricos objetivando definir qual(is) solução(ões) deve(m) ser(em) estudada(s) para estimar os custos com materiais, implementação e operação.

Conforme informações do grupo técnico, algumas das estruturas consideradas nas alternativas analisadas possuem restrições, a saber:

- Alternativa 1 - Dique 06: barramento com baixa capacidade de armazenamento, visto que vertimentos são constantes na estrutura. Assim, para aumentar a sua capacidade de reservação, seria preciso investir no seu alteamento, custo esse que não está sendo levado em consideração na presente avaliação, mas que, quando for verificado, estima-se que tornará essa alternativa como mais dispendiosa. Ainda, esta é a estrutura que está localizada em local mais isolado e distante da parte operacional da Complexo de Itabira, em especial das operações da mina Cauê, havendo maior risco de vandalismo, que conforme relatado pela empresa, é uma prática comum nesta área. Por fim, devido sua localização oneraria as atividades de manutenção como também aumentaria o tempo de resposta em caso de falhas do sistema. Com isso a alternativa 01 foi descartada para análise dos custos com materiais, implementação e operação.
- Alternativa 2 - Barragem do Pontal (Dique Principal): a barragem do Pontal faz parte do sistema de barragens do Pontal onde estão ocorrendo diversas atividades de descaracterização daqueles barramentos construídos pelo método a montante (Tabela 12). Ainda não há certeza de como será sua operação no futuro.
- Alternativa 3 - Cava Cauê: o grupo técnico recomendou não avançar com os estudos, pois há incerteza sobre a vida útil da cava Cauê como reservatório de água podendo ser descontinuada nos próximos 5 anos por limitação de cota. Assim, a alternativa 03 foi descartada para análise dos custos com materiais, implementação e operação.
- Alternativa 4 - Canal da usina: esta é uma solução viável tecnicamente, entretanto a que demandaria mais investimentos, pois apresenta a maior extensão da nova adutora e desnível geométrico. Alternativa descartada pelo grupo técnico para análise dos custos com materiais, implementação e operação.

- Alternativa 5- Dique Coqueirinho: o grupo técnico descartou esta alternativa pois está planejada a descaracterização deste dique.

Tendo 04 (quatro) alternativas descartadas, o grupo técnico recomendou avançar os estudos referente a Alternativa 2. Sabe-se que há incertezas quanto a operação do reservatório do Pontal, porém é possível no futuro fazer adaptações, sendo:

- Com o fim da vida útil do reservatório da barragem do Pontal, é possível integrar o sistema de bombeamento e adutoras da ETE Laboreaux e barragem do Pontal direcionando a água para reúso à cava Cauê;
- Por fim, é possível desviar a adutora que direciona a água para reúso à cava Cauê para o canal da usina, por meio de adaptação na adutora que conduz a água da barragem do Pontal à cava Cauê.

Assim, o dimensionamento e levantamento preliminar dos custos com materiais, e operação são referentes a alternativa 02.

### **6.2.8 Pré-dimensionamento e custos da alternativa selecionada**

Os custos envolvidos num projeto de adutora de água são complexos. No caso do projeto em questão, a complexidade aumenta porque a obra ultrapassa os limites da propriedade do potencial usuário, Complexo Itabira, e com isso há interferências em áreas de terceiros como também travessias, sendo, duas (02) em cursos de água, uma (01) em ferrovia e uma (01) em rodovia, conforme apresentado na Tabela 13.

Foi realizado o levantamento dos possíveis traçados das adutoras entre a ETE Laboreaux e as estruturas receptoras do esgoto tratado do Complexo Itabira (barragem do Pontal, dique 06, dique Coqueirinho, cava Cauê, canal da usina), as quais foram selecionadas para o estudo de alternativas do projeto de reúso de água.

O dimensionamento do diâmetro da adutora, da altura manométrica, das perdas de carga e da potência do sistema de bombeamento para a alternativa 02, Barramento do Pontal, são preliminares e o objetivo é ter uma ordem de grandeza para subsidiar no levantamento dos custos.

Uma das equações utilizadas para o cálculo do diâmetro da adutora é a Equação (1) de Bresse. Esta equação é recomendada para: projetos conceituais, operação contínua (24h/dia),



adutoras de até 6” pode resultar no diâmetro aceitável, para diâmetros maiores pode ser aplicada como uma primeira aproximação (PORTO, 2003).

$$D = K \times \sqrt{Q} \quad (1)$$

Em que:

D = Diâmetro provavelmente econômico (m);

K = Coeficiente variável, função dos custos de investimento e de operação (adotado igual 1,2);

Q = Vazão contínua de bombeamento (m<sup>3</sup>/s).

Segundo Baptista (2002), o fator k depende de fatores econômicos das fases de implementação e manutenção, dos custos com energia e dos preços dos materiais envolvidos. Comumente, por medida de segurança, e principalmente por se tratar de projeto conceitual recomenda-se adotar k igual a 1,2 (BAPTISTA, 2002).

Para determinar a perda de carga utilizou-se o Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos (SisCCoH) desenvolvido pela Pimenta de Avila Consultoria Ltda, sistema gratuito. Os parâmetros adotados e respectivos resultados estão apresentados na Tabela 14. Pode-se observar que a maior perda de carga foi observada na aplicação da equação de Hazen-Williams, com isso adotou-se este valor para o pré-dimensionamento do sistema de bombeamento.

Nota: Não foram consideradas as perdas localizadas, as quais devem ser consideradas no detalhamento do projeto.

Tabela 14 - Parâmetros e resultados

Equação utilizada	Universal	Hazen-Williams
Vazão (m <sup>3</sup> /s)		0,1
Diâmetro (m)		0,4
Velocidade (m/s)		0,795775
Aspereza Relativa (mm)	3,50E-05	-
Viscosidade Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	1,01E-06	-
Coeficiente f	0,01521	-
Coeficiente C	-	140
Perda de Carga Unitária (m/m)	0,001227	0,001395
Comprimento (m)	4300	-
Perda de Carga (m)	5,28	6

Para o cálculo da altura manométrica foi empregada a Equação (1).

$$H_m = H_g + \Delta h \quad (1)$$

Em que:

$H_m$  = altura manométrica (m);

$H_g$  = altura geométrica (m);

$\Delta h$  = perdas de carga (m).

A potência instalada e consumida pelo conjunto motorbomba foi calculada pela Equação (5):

$$P_{MB} = (\gamma \times Q \times H_m) / 75 \times \eta \quad (2).$$

Em que:

$P_B$  = potência (cv);

$\gamma$  = peso específico do fluido (kgf/m<sup>3</sup>), para água igual a 1000 kgf/m<sup>3</sup>;

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$H_m$  = altura manométrica (m)

$\eta$  = rendimento ou eficiência global (%), adotado rendimento de 70%.

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados do dimensionamento da adutora e do sistema de bombeamento referente a alternativa 02.

Tabela 15 - Dimensionamento da adutora e sistema de bombeamento	
Variáveis	Valores
Vazão Total (L/s)	100
Quantidade de Linha de adução	1
Diâmetro Bresse (mm)	379
Diâmetro Adotado (mm)	400
Extensão da Adutora (km)	4,3
Altura geométrica (m)	131
Perda de carga total (m)	6,0
Altura manométrica (m)	137
Potência da bomba (cv)	261

Para ter uma ordem de grandeza dos custos da alternativa 02, limitou-se avaliar os custos do sistema de adução composto pela tubulação, da energia e do sistema de bombeamento. Para tanto, as seguintes premissas foram adotadas:

- Extensão da adutora igual a 4,3 km;
- Desnível geométrico igual a 131 m;
- Vazão de projeto, adotou-se 100 L/s, pois as vazões afluentes a ETE Laboreaux nos últimos 2 anos foi de 94 L/s;

- Material da adutora de Polietileno de Alta Densidade (PEAD). Adotou-se o valor indicado no banco de dados do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil – SINAPI referente ao tubo de polietileno de alta densidade, PEAD, diâmetro externo = 400 mm (SINAPI, 2022);
- Para o sistema de bombeamento, considerou 02 (duas) bombas centrífugas KSB WKL, sendo uma reserva. O preço foi fornecido por meio de consulta no mercado. O consumo do motor em kW/h é calculado pela multiplicação da potência útil (330 CV) pelo fator 0,736 no que resulta em 243 kW. Para determinar a quantidade de energia que o sistema de bombeamento consumirá em 01 (um) ano considerou operação contínua e 365 dias/ano;
- A tarifa de energia 0,63912 R\$/kW referente aquela praticada ao grupo A4 – 2,3 kV a 25 kV, bandeira tarifária escassez hídrica e consumo ponta (CEMIG, 2022).

Assim, os custos com material de tubulação, sistema de bombeamento e 1 ano de operação equivale de 10 milhões de R\$ (Tabela 16).

Tabela 16 - Custos preliminares

Descrição	Tipo	Un	Quantidade	Preço (Milhões R\$/un)	Total (Milhões R\$)
Tubo PEAD (400mm)	CAPEX	km	4,3	1,864	8,02
Bomba KSB WKL	CAPEX	bomba	2	0,282	0,564
Energia (1 ano operação)	OPEX	kW/h	2,13 x 10 <sup>6</sup>	0,63912 x 10 <sup>-6</sup>	1,36
Total					10,0

## 7. CONCLUSÃO

Para introduzir as considerações finais, resgata-se a orientação desta pesquisa a qual foi buscar caminhos para a promoção do reúso da água não potável proveniente de estação de tratamento de esgoto na mineração. Verificou-se que não há instrumento legal mandatário, modelos de negócio atrativos, exceto para locais onde há estresse hídrico, pouco conhecimento da mineração sobre a qualidade da água requerida aos seus processos, rejeição da sociedade (*yuck fator*), subsídios entre outros. Com isso, iniciativas para promover este valioso recurso torna-se mera ilusão para aqueles profissionais que acreditam no caminho da circularidade. Dentre estes fatores que inibem novos empreendimentos de água para reúso não potável provenientes de estação de tratamento de esgoto, destaca-se o principal que é o econômico, pois os investimentos são elevados, quando comparados aos investimentos para captação de água doce.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi apresentar as principais diretrizes para estabelecer o modelo de negócio do reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto para uso não potável no setor de mineração. Foram propostas 12 diretrizes a saber: mapear e identificar as fontes alternativas e usuários potenciais; caracterizar quali-quantitativamente a disponibilidade e a demanda; definir os padrões de qualidade; comparar a demanda e a disponibilidade; avaliar as alternativas; validar e selecionar as alternativas; identificar as partes interessadas que alavancarão o modelo de negócio; apresentar o dimensionamento e os custos da(s) alternativa(s) estudada(s); definir regras e valores; estabelecer consenso entre as partes; constituir o modelo de negócio; ou cancelar o modelo de negócio.

Como estudo de caso teve a ETE Laboreaux, como produtora e fornecedora da água para reúso e o Complexo Minerário de Itabira de propriedade da Vale S.A- como usuário desta água. As principais premissas consideradas foram:

- A demanda da água para o Complexo de Itabira de propriedade da Vale S.A. para o futuro sem grandes variações quando comparadas ao ano de 2021, 212 L/s;
- A qualidade das águas nas principais estruturas de armazenamento, Barragem do Pontal e a Cava Cauê, são compatíveis com a qualidade dos usos requeridos;
- A capacidade de produção média de água para reúso da ETE Laboreaux seja mantida considerando o período janeiro/2020 a agosto/2022, de 94 L/s - representa 44% da demanda de água não potável do Complexo Itabira para usos industriais;
- A qualidade dos efluentes tratados da ETE Laboreaux seja mantida aos resultados apresentados que são valores próximos ou até mesmo com qualidade superior quando

comparados aos resultados de qualidade da água da cava Cauê e da barragem do Pontal. Entretanto, para o parâmetro coliformes termotolerantes há risco de contaminação, por exemplo a inalação, a depender do tipo de aplicação. Isso preocupa, mas há solução para resguardar a saúde dos profissionais, seja tratamento ou restringir sua aplicabilidade. Por segurança, recomenda-se pelo menos um pós-tratamento simples para adequar ao parâmetro coliformes termotolerantes;

- O desconhecimento da caracterização completa dos efluentes sanitários da ETE Laboreaux e dos parâmetros de qualidade requeridos no Complexo Itabira para uso não potável. Recomenda-se, antes dos próximos passos buscar esta informação que balizará a decisão da necessidade ou não e qual nível do tratamento complementar.

Assim, foram analisadas 5 alternativas de forma conceitual para produção, distribuição e reúso da água da ETE Laboreaux nas atividades do empreendimento da Vale no Complexo Itabira. Dentre as 5 cinco alternativas analisadas, selecionou-se a Alternativa 2 que apresentou maior viabilidade técnica e de forma preliminar foram levantados os custos com tubulação, sistema de bombeamento e os custos com consumo de energia durante 1 ano para operação, resultando em R\$ 10 milhões. Sabe-se que há outros custos que não fizeram parte desta pesquisa, como por exemplo: desenvolvimento de projetos, adequação da qualidade da água aos usos pretendidos, acordos para interferências entre o traçado da adutora e propriedades de terceiros, e que devem ser analisados em pesquisas futuras. Não foi objeto desta dissertação verificar a viabilidade econômica do estudo de caso e sim indicar ordem de grandeza do sistema de bombeamento e adução entre a o produtor e o usuário.

Acredita-se que esta iniciativa no setor da mineração seja uma oportunidade para ressignificar, tanto o setor da mineração quanto os efluentes sanitários de um município. Isto gera receita de forma perene para os responsáveis pelo tratamento, reduz as retiradas de água do meio ambiente e até assegura o suprimento de água para as atividades produtivas em períodos de escassez.

Como expectativa, espera-se que investimentos públicos e privados sejam direcionados para o saneamento. Com a melhoria da coleta e do tratamento dos efluentes sanitários aumentar-se-á a oferta de água de reúso. Entretanto, ainda existem etapas a vencer: avançar na legislação para a água de reúso; desenvolver modelos de negócio; mapear e mitigar os riscos; elaborar planos de negócio de longo prazo; e mudar a percepção da sociedade a respeito dos usos possíveis do efluente das estações de tratamento de esgoto. Como avanços podem ser citadas as tecnologias disponíveis no mercado para adequar os padrões de qualidade da água ao uso pretendido e, casos de sucesso no Brasil e em outras partes do mundo.

Recomenda-se avançar com a proposta das diretrizes apresentadas neste trabalho a fim de estabelecer um modelo de negócio envolvendo os setores público-privado e sociedade civil, o qual promova alavancar o saneamento e reduzir o conflito do uso da água pelo setor de mineração. Também é importante avançar com os estudos de estabelecimento de regras, benefícios, investimentos, custos *versus* receitas, riscos, qualidade requerida aos usos pretendidos, ganhos intangíveis (por exemplo: imagem, legado), licenças e prazos. Acredita-se que um modelo de negócio bem estabelecido alavancará práticas de reúso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto no Brasil para aplicação em diversos setores e não somente na mineração.

O sucesso desta solução de fonte alternativa não é dependente somente do usuário interessado, e sim das diversas partes interessadas desde a etapa de geração do efluente sanitário até seu tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura de recursos hídricos no Brasil 2020**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 28 mai. 2021. Brasília, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/usos-da-agua>. Acesso em: 04 jun. 2022. Brasília, 2021.
- AGÊNCIA REGULADORA ÁGUA E ESGOTO (ARSAE-MG). Validação Preliminar do Plano de Investimentos – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira – Saae de Itabira. Disponível em: [http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia\\_publica/19/gar\\_2019\\_039\\_relatorio\\_itabira\\_validacao\\_prel\\_PI\\_gar\\_019.pdf](http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia_publica/19/gar_2019_039_relatorio_itabira_validacao_prel_PI_gar_019.pdf). Acesso em: 8 out. 2022. 2019.
- AGUIAR, A.; ANDRADE, L.; GROSSI, L.; PIRES, W.; AMARAL, M. (2018a). **Acid mine drainage treatment by nanofiltration: A study of membrane fouling, chemical cleaning, and membrane ageing**. In: Separation and Purification Technology, v. 192, 185 – 1959, Feb/2018, 2018a.
- AMARAL, M. C. S. et al, (2018b). **Integrated UF–NF–RO route for gold mining effluent treatment: From bench-scale to pilot-scale**. In: Desalination, v 440, 111-121, Aug/2018, 2018b.
- ANGELAKIS, A. N.; KOUTSOYIANNIS, D.; TCHOBANOGLIOUS, G. (2005). Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece. **Water Research**, 39, 210–220. 2005.
- ANGLO AMERICAN. **100 years of Anglo American**. Disponível em: <https://southafrica.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/South-Africa/about-us/history/centenary-hub-city-press.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2022. 2017.
- AQUAPOLO. Quem Somos. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 30 jul. 2022. 2022.
- ARCANJO, G. S.; SANTOS, C. R.; COSTA, F. C. R.; BATISTA, I. F.; AMARAL, M. C. S., (2021a). **Forward osmosis as an opportunity for acid mining effluent reuse - An assessment of concentration polarization effects on forward osmosis performance and economic aspects**. In: Separation Science and Technology (Philadelphia), v. 56, issue 14, 2426 – 2438, 20
- ASANO, T.; et al., (2021). Water Reuse Issues, Technologies, and Applications. **Metcalf & Eddy, Inc.**, AECOM Company. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR16783 de 11/2019 Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

AVELAR, P. S. et al. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 02 – Planejamento Técnico e Estratégico. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 9, nº 2, 18-35, Set/2021, 2021.

BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte. Editora UFMG. p. 139. 2002.

BISCHEL, H. N.; SIMON, G. L.; FRISBY, T. M., LUTHY, R. G. Management Experiences and Trends for Water Reuse Implementation in Northern California. **Environmental Science & Technology**. Disponível em: <https://pubs.acs.org/journal/esthag>. 2011.

BRASIL. **Resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002**. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2002. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/outorga-de-direito-de-uso-de-recursos-hidricos/72-resolucao-n-29-de-11-de-dezembro-de-2002/file>. Acesso em: 15 jan. 2022. 2002.

BRASIL. **Resolução 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para prática de reúso direito não potável de água; 2005. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=112379#:~:text=Ementa%3A,direito%20n%C3%A3o%20pot%C3%A1vel%20de%20C3%A1gua>. Acesso em: 20 out. 2021. 2005.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência...; 2020. Disponível em: <https://prespublica.jusbrasil.com.br/legislacao/875819060/lei-14026-20>. Acesso em: 20 out. 2021. 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989...; 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm). Acesso em: 08 dez. 2022. 2020.

BÜTLER, R.; MACCORMICK, T. Opportunities for decentralized treatment, sewer mining and effluent re-use. In: **Desalination**. v. 106, 273 – 283, Aug/1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916496001191>. Acesso em: 29 jan 2023. 1996.

CASTRO, J. E. A gestão da água na América Latina. **Desafios do Desenvolvimento**, Ano 9. Edição 74, 31 out. 2012. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2834:catid=28&Itemid=23](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2834:catid=28&Itemid=23). Acesso em: 02 jul. 2022. 2012.

CEARÁ. **Lei nº 16103, de 02 de setembro de 2016**. Cria a tarifa de contingência pelo uso dos recursos hídricos em período de situação crítica de escassez hídrica. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=328185>. Acesso em: 10 fev. 2022. 2016.

CEARÁ. **Resolução COEMA nº 2, de 02 de fev. de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 10 mar. 2022. 2017.

CEMIG. Valores de Tarifas e Serviços. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 12 dez. 2022.



CERRO VERDE. **Sustainability report 2019**. Disponível em: <https://www.cerroverde.pe/assets/img/publicaciones/mineria-cobre-molibdeno-arequipa-minera-cerro-verde-peru-reporte-ingl%C3%A9s-2019.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022. 2019.

CERRO VERDE. **Reporte de sostenibilidad 2020**. Disponível em: <https://www.cerroverde.pe/assets/img/publicaciones/mineria-cobre-molibdeno-arequipa-minera-cerro-verde-peru-reporte-2020.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022. 2020.

CH2M. **Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil. Produto II – Experiências de Reúso (RP01A)**. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA. 2016.

CH2M. **Avaliação do Potencial de Reúso (RP01C) - Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil**. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA. 2017.

COMPANHIA DE ÁGUA A E ESGOTO DO CEARÁ (CAGECE). **Planta de dessalinização de Fortaleza**. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/EditaisContratacoes/PPP1/DocumentosdeLicita%C3%A7%C3%A3o/EstudosPr%C3%A9vios/3-Estudios-de-Alternativas-de-Local%C3%A7%C3%A3o-Ver-Licita%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Reúso de efluentes: metodologia para análise do potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial**. Disponível em: [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/38/25/38258d1e-92e6-4141-9f0b-d7e3e787c4be/reuso\\_de\\_efluentes\\_metodologia\\_para\\_analise\\_do\\_potencial\\_do\\_uso\\_de\\_efluentes\\_tratados\\_para\\_abastecimento\\_industrial.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/38/25/38258d1e-92e6-4141-9f0b-d7e3e787c4be/reuso_de_efluentes_metodologia_para_analise_do_potencial_do_uso_de_efluentes_tratados_para_abastecimento_industrial.pdf). Acesso em: 28 mai. 2022. 2017.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Água de Reúso de Estação de Tratamento de Efluentes: Oportunidades e Riscos para o Setor Empresarial**. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/>. Acesso em: 04 set. 2022.

COUNTRYMETERS. Disponível em: <https://countrymeters.info/pt/China>. Acesso em: 18 set. 2022. 2022a.

COUNTRYMETERS. Disponível em: [https://countrymeters.info/pt/United\\_States\\_of\\_America\\_\(USA\)](https://countrymeters.info/pt/United_States_of_America_(USA)). Acesso em: 18 set. 2022. 2022b.

CROOK, J.; SANTOS, H. F (trad.). Critérios de Qualidade da água para reúso. **Revista DAAE-SABESP**, n 174, nov/dez 1993. Disponível em: <http://revistadae.com.br/site/artigo/14-Criterios-de-qualidade-da-agua-para-reuso>. 1993.

CUNHA, A. H.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, R.; MILHARDES, A. L.; SILVA, S. O reúso de água no brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 7, n. 13, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4207>. Acesso em: 1 jul. 2022. 2011.

DIVINO, M. G. **Avaliação do efluente tratado da ETE Laboreaux para reúso não potável**. Trabalho de conclusão de curso. IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Fortaleza, CE. 2018.

ENVIROMENT PROTECTION AUTHORITY (US EPA). **Guideline for Water Reuse**, 2012.

ENVIROMENT PROTECTION AUTHORITY VICTORIA (EPA VICTORIA). **Victorian Guideline for Water Recycling**, 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Conservação e Reúso da água. Manual de orientações para o setor industrial**. 2004.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Conservação e reúso da água em edificações**. 2005.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP); CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **O uso racional de água no setor industrial**. 2017.

FERREIRA, D. B. **Liquefação de Rejeitos de Minério de Ferro–Estudo de Caso: Sistema Pontal em Itabira/MG**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado). Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Área de concentração: Engenharia Geotécnica. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. Recuperado de <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10173>. 2018.

FOUREAUX, A.F.S.; LEBRON, Y.A.R.; MOREIRA V.R.; GROSSI, L.B.; SANTOS, L.V.S.; AMARAL, M.C.S., (2020a). **Technical and economic potential of high-temperature NF and DCMD for gold mining effluent reclamation**. In: Chemical Engineering Research and Design, v. 162, 149 – 161, Oct/2020, 2020a.

FOUREAUX, A. F. S.; FOUREAUX; A.F.S.; MOREIRA, V. R.; LEBRON, Y. A. R.; SANTOS, L. V. S.; AMARAL, M. C. S., (2021b). **A sustainable solution for fresh-water demand in mining sectors: Process water reclamation from POX effluent by membrane distillation**. In: Separation and Purification Technology, v. 2561 Feb/ 2021, 2021b.

FRASER, J. **Peru water project: Cerro Verde case study**. 2017.

FREITAS, S. P. **O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: estudo de caso da PCH bicás**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2012.

GAINÉZ, G. et al, (2009). **Municipal water reclamation for industrial water use in Mexico**. In: Tecnología del Agua, v. 29, issue 309, 79 – 82. 2009.

GIFFONI, R; COELHO, T; MAIA, M. **A mineração vem aí... e agora? Um guia prático em defesa dos territórios**. Rio de Janeiro, p. 40-45. Disponível em: [https://fase.org.br/wp-content/uploads/2019/08/A\\_mineracao\\_vem\\_ai\\_E-agora\\_interativo.pdf](https://fase.org.br/wp-content/uploads/2019/08/A_mineracao_vem_ai_E-agora_interativo.pdf). 2019.

GOODWIN, D.; RAFFIN, M.; JEFFREY, P.; SMITH, H.M. Collaboration on risk management: The governance of a non-potable water reuse scheme in London. **Journal of Hydrology**. 2017.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE D SUSTENTABILIDADE (SEAS), SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE, INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA) E UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UERJ), 2022. **Panorama geral das oportunidades de reúso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos**. 2022.

GROSSI, L. B.; MAGALHÃES, N. C.; ARAÚJO, B. M.; DE CARVALHO, F.; ANDRADE, L. H.; AMARAL, M. C.S., (2021c). **Water conservation in mining industry by integrating pressure-oriented membrane processes for nitrogen-contaminated wastewater treatment:**

**Bench and pilot-scale studies.** In: Journal of Environmental Chemical Engineering. v. 9, issue 1, Feb/2021, 2021c.

GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL PARA A AGENDA 2030 (GTSC A2030). **V Relatório Luz da Sociedade Civil agenda 2030 de Desenvolvimento sustentável Brasil.** Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/relatorio-luz-2021/>. Acesso em: 16/06/22. 2021.

GUEDES, V.L.S.; BORSCHIVER S. **Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica.** In: Encontro Nacional de Ciência da Informação, v. 6, ed. 1, 2005.

HEATON, R. D. Wastewater Reclamation and Reuse. GeoJournal. 1981.

HUESKE, A.K.; GUENTHER, E. What hampers innovation? External stakeholders, the organization, groups and individuals: A systematic review of empirical barrier research. **Management Review Quarterly**, v 65, pages113-148, 2015.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, nº 4, Out/Dez 2002, 75-95. 2002.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Portal de Revista, USP**, v. 22, nº 63, 2008.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO (IAS). Municípios e Saneamento. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/mg/itabira>. Acesso em: 30 jul. 2022. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2022a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/curitiba.html>. Acesso em: 27 jun. 2022b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Consulta de decisão de outorgas de direito de uso. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/site/lista-outorgas>. Acesso em: 10 jul. 2022. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira 2020.** Disponível em: <https://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **A gestão dos recursos hídricos e a mineração.** Disponível em: <https://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/pdf/a-gestao-dos-recursos-hidricos-e-a-mineracao.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022. 2006.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING & METALS (ICMM). Water reporting good practice guide. 2ª ed. Disponível em: <https://www.icmm.com/en-gb/guidance/environmental-stewardship/2021/water-reporting>. Acesso em: 20 jul. 2022. 2021.

JEGATHEESAN, V.; Shu, L.; JEGATHEESAN, L. **Producing fit-for-purpose water and recovering resources from various sources: An overview.** 2021.

JEWELL, W.J.; Seabrook, B.L. A Historical of Land Application as a Treatment Alternative. **U.S. Environmental Protection Agency**. 1979.

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. **IWA**, v. 7. 2008.

KOLLET, D. K. **Benefícios e malefícios no tratamento de água de reúso na utilização do abastecimento de caldeira e torres de resfriamento**. Disponível em: [https://www.univates.br/tecnicos/media/artigos/artigo\\_diego\\_kollet.pdf](https://www.univates.br/tecnicos/media/artigos/artigo_diego_kollet.pdf) . Acesso em: 10 jul. 2022. 2013.

LEBRON, Y. A. R.; MOREIRA, Victor Rezende; AMARAL, M. C. S., (2021d). **Metallic ions recovery from membrane separation processes concentrate: A special look onto ion exchange resins**. In: Chemical Engineering Journal, v. 4251, Dec/2021, 2021d.

LEE, K.; JEPSON, W. Drivers and barriers to urban water reuse: A systematic review. **Water Security**. Disponível em: [www.sciencedirect.com/journal/water-security](http://www.sciencedirect.com/journal/water-security). 2020.

LIU, X. **China Reclaimed Water Reuse Regulations**. Disponível em: [https://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/WQ\\_Compendum/Cases/China%20Reclaimed.pdf](https://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/WQ_Compendum/Cases/China%20Reclaimed.pdf). Acesso em: 01 jun. 2022. 2014.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS. Reúso de água para torres de resfriamento. São Paulo. 2001.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS; H.F. **Reúso de água**. São Paulo. Editora Manole, p. 1. 2003.

MANCUSO, P. **Reúso de água, sua importância e aplicações. Aspectos conceituais, técnicos, legais e de saúde pública**. In: Engenharia. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/prof-dr-pedro-mancuso-reuso-de-agua-sua-importancia-e-aplicacoes/>. Acesso em: 5 mar. 2022, 2013.

MANTOVANI, P.; ABU-ORF, M.; O'CONNOR, T. Nonpotable Water Reuse Management Practices. In: WORLD WATER CONGRESS 2001. Berlin. 2001.

MATOSO, S. E. A. **Avaliação do Desempenho dos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (UASB) Tratando Esgoto Doméstico e Lodo de Retorno dos Decantadores Secundários: Estudo de Caso da Estação de Tratamento de Esgoto de Itabira/MG - ETE Laboreaux**. Trabalho de conclusão de curso. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2020.

MARYAM, B.; BÜYÜKGÜNGÖR, H. Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges. **Journal of Water Process Engineering**. 2019.

MELO, M. C. Avaliação quantitativa do potencial de reúso no Estado de Minas Gerais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. 2021.

MINAS GERAIS (Estado). **Portaria IGAM nº 010, de 30 de dezembro de 1998**. Altera a redação da Portaria nº 030/93, de 07 de junho de 1993. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=669>. Acesso em: 3 jul. 2022. 1998.

MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 8, de 21 de Novembro de 2022**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>. Acesso em: 10 dez. 2022. 2022.

MINAS GERAIS (Estado). **Portaria IGAM nº 48, de 04 de outubro de 2019**. Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de

Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>. Acesso em: 02 jul. 2022. 2019.

MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação Normativa nº 65, de 18 de junho de 2020**. 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 e dá outras providências. Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Minas Gerais; 2020. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>. Acesso em: 20 out. 2021.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Minuta de Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências**. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/resolucao-do-cnrh-reuso-nao-potavel>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MORRIS, J. C.; GEORGIU, I.; GUENTHER, E.; CAUCCI, S. Barriers in Implementation of Wastewater Reuse: Identifying the Way Forward in Closing the Loop. **Circular Economy and Sustainability**. 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 10 jun. 2022.

NOTÍCIAS DE MINERAÇÃO BRASIL. **Vale terá que investir R\$ 160 milhões em captação de água em Itabira**. Disponível em: <https://www.noticiasdemineracao.com/empresas/news/1394066/vale-ter%C3%A1-que-investir-rusd-160-milh%C3%B5es-em-capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-em-itabira>. Acesso em: 29 jun. 2022. 2022.

PARANYCHIANAKIS, N. V. et al (2020). **Water Reuse in EU States: Necessity for Uniform Criteria to Mitigate Human and Environmental Risks**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/269105128\\_Water\\_Reuse\\_in\\_EU\\_States\\_Necessity\\_for\\_Uniform\\_Criteria\\_to\\_Mitigate\\_Human\\_and\\_Environmental\\_Risks](https://www.researchgate.net/publication/269105128_Water_Reuse_in_EU_States_Necessity_for_Uniform_Criteria_to_Mitigate_Human_and_Environmental_Risks). Acesso em 10 dez. 2022. 2015.

POLLUTION PREVENTION SERVICES. Effluent Reuse in Power Generation. Disponível em: <https://p2infohouse.org/ref/10/09108.htm>. Acesso em: 30 jul. 2022. 1996.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 2. ed. São Carlos SP. Editora EESC-USP. p. 130. 2003.

PRADO, D. **Gerenciamento de Programas e Projetos nas Organizações**. Editora DG. 2004.

RAMOS, R.L.; GROSSI, L. B.; RICCI, B. C.; AMARAL, M. C.S., (2020b). **Membrane selection for the Gold mining pressure-oxidation process (POX) effluent reclamation using integrated UF-NF-RO processes**. In: Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 8, Oct/2020, 2020b.

REIS, B. G.; ARAÚJO, A. L. B.; AMARAL, M. C. S.; FERRAZ, H. C., (2018c). **Comparison of Nanofiltration and Direct Contact Membrane Distillation as an alternative for gold mining effluent reclamation**. In: Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, v. 133, 24 – 33, Nov/2018, 2018c.

REIS, B. G.; ARAÚJO, A. L. B.; VIEIRA, C.; AMARAL, M. C. S.; FERRAZ, H. C., (2019). **Assessing potential of nanofiltration for sulfuric acid plant effluent reclamation:**

**Operational and economic aspects.** In: Separation and Purification Technology. v. 222, 369 – 3801, Sep/2019, 2019.

REUSODEAGUA.ORG, (2022). Disponível em: <https://reusodeagua.org/>. Acesso em: 07 abr. 2023.

RICCI, B. C.; FERREIRA, C. D.; AGUIAR, A. O.; AMARAL, M. C.S., 2015. **Integration of nanofiltration and reverse osmosis for metal separation and sulfuric acid recovery from gold mining effluent.** In: Separation and Purification Technology, v. 154, 11 – 215, Nov/2015, 2015.

RICCI, B. C.; FERREIRA, C. D.; MARQUES, L. S.; MARTINS, S. S.; AMARAL, M. C. S., (2016). **Assessment of nanofiltration and reverse osmosis potentialities to recover metals, sulfuric acid, and recycled water from acid gold mining effluent.** In: Water Science and Technology. v. 74, issue 2, 367 – 374, Jul/2016, 2016.

RICCI, B. C.; FERREIRA, C. D.; MARQUES, L. S.; MARTINS, S. S.; REIS, B. G.; AMARAL, M. C.S., (2017). **Assessment of the chemical stability of nanofiltration and reverse osmosis membranes employed in treatment of acid gold mining effluent.** In: Separation and Purification Technology. v. 174, 301 – 3111, Mar/ 2017, 2017.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 7599, de 24 de maio de 2017.** Dispõe sobre a obrigatoriedade de indústrias situadas no Estado do Rio de Janeiro instalarem equipamentos de tratamento e reutilização de água. Disponível em: <https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/462625216/lei-7599-17-rio-de-janeiro-rj>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ROMERO, F.; ANDERY, P. **Gestão de megaprojetos. Uma abordagem lean.** Editora Brasport. 2016.

SAATSAZ, M. A historical investigation on water resources management in Iran. **Environment, Development and Sustainability.** 2020.

SANTOS, A. S. P. et al (2020). Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista SUSTINERE**, Rio de Janeiro, v. 8, n.2, p. 437- 462, jul-dez, 2020a.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, 2020b.

SANTOS, A. S. P. et al, (2021). Proposição de Uma Metodologia Estruturada de Avaliação do Potencial Regional de Reúso de Água: 01 – Terminologia E Conceitos De Base. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 9, n0 2, Set/2021, 1-17, 2021.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.172 de 17 de abril de 2015. Proíbe a lavagem de calçadas com água tratada ou potável e fornecida por meio da rede da Sabesp que abastece o Município de São Paulo, e dá outras providências.** 2015. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16172-de-17-de-abril-de-2015>. Acesso em: 15 mar. 2022. 2015.

SÃO PAULO. **Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 28 de Junho de 2017.** Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas”. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2017/06/resolucao-conjunta-ses-sma-ssrh-01-2017-agua-de-reuso.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022. 2017.

SENGUPTA, Pradip K.. **Industrial Water Resource Management: Challenges and Opportunities for Corporate Water Stewardship** (Challenges in Water Management Series) (p. 197). Wiley. 2017.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITABIRA (SAAE). **ETA's – Sistema Produtor**. Disponível em: Acesso em: <https://www.saaeitabira.com.br/etas>. 29 jan. 2022a.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITABIRA (SAAE). **Tratamento de esgoto**. Disponível em: <https://www.saaeitabira.com.br/tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 28 jun. 2022b.

SILVA, M.R.; REIS, B.G.; AMARAL, M.C.S., (2020c). **Improving the energetic efficiency of direct-contact membrane distillation in mining effluent by using the waste-heat-and-water process as the cooling fluid**. In: Journal of Cleaner Production, v. 2601, Jul/2020, 2020c.

SISTEMA NACIONAL DE PREÇOS E ÍNDICES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). Custos de Composições Analítico. Disponível em: [https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_648](https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648). Acesso em: 12 dez. 22.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL (SIAM). Parecer Único nº 0545998/2015. 2010. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/IYwtpcXTULrf88Q\\_FU3QJdg7GoXJ6oAm.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/IYwtpcXTULrf88Q_FU3QJdg7GoXJ6oAm.pdf). Acesso em: 28/10/2022. 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2020. Tabela completa de informações agregadas**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 10 jul. 2022. 2020.

SNIRH. Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/32225682-f98e-4996-971b-e438060d7902>. Acesso em 20/10/2022.

SOUZA, M. B. S.; REZENDE, E. N.; SILVA; V. V. C. S. Responsabilidade Civil das Mineradoras Pelo Reúso da Água. In: **Argumenta Journal Law**. n. 24, p. 301-322, Jan/Jun 2016.

SUPRAM. Parecer Único – Supram Leste Mineiro. 2010. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/xf-Rrtghh-6HiVXsKII-fKQe-XGT\\_wOu.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/xf-Rrtghh-6HiVXsKII-fKQe-XGT_wOu.pdf). Acesso em 28 de outubro de 2022. 2010.

TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Pacca. **Conceitos, Teorias e Práticas**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 2010.

TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Pacca. **Reúso da água conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. p. 153. 2012.

TETRA TECH. **Seção I - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração Sistema Pontal**. Disponível em: [https://www.vale.com/pt/biblioteca-de-documentos?folder-filter=folderId%3A557183#portlet\\_com\\_liferay\\_portal\\_search\\_web\\_internal\\_custom\\_filter\\_portlet\\_CustomFilterPortlet\\_INSTANCE\\_rmzn](https://www.vale.com/pt/biblioteca-de-documentos?folder-filter=folderId%3A557183#portlet_com_liferay_portal_search_web_internal_custom_filter_portlet_CustomFilterPortlet_INSTANCE_rmzn). Acesso em: 03 dez. 2022. 2021.

THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA). **Alternative Water Resources: A Review of Concepts, Solutions and Experiences**. 2015.

THE UNITED NATIONS (UN). **Water for People Water for Life**. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129726>. Acesso em: 15 mar. 2022. 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Guidelines for Water Reuse**. Washington, U.S.: Agency for International Development. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2004-guidelines-water-reuse.pdf>. Acesso em: 03 maio 2021. 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Guidelines for Water Reuse**. Washington, U.S.: Agency for International Development. Disponível em: <https://www.epa.gov/waterreuse/guidelines-water-reuse>. Acesso em: 03 maio 2021. 2012.

VALE. **Relatório de Sustentabilidade**. 2019. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/e1eb3212-49a8-43dd-90ae-c746ade9e255?origin=1>. Acesso em: 3 jul. 2022. 2020a.

VALE. **Política de água e recursos hídricos (POL-0032-G)**. 2020. Disponível em: [http://www.vale.com/brasil/PT/investors/corporate-governance/policies/Documents/POL-0032-G\\_%C3%81gua%20e%20recursos%20h%C3%ADdricos\\_P.pdf](http://www.vale.com/brasil/PT/investors/corporate-governance/policies/Documents/POL-0032-G_%C3%81gua%20e%20recursos%20h%C3%ADdricos_P.pdf). Acesso em: 3 jul. 2022. 2020b.

VALE. FORMULÁRIO 20-F. **Relatório Anual, de Acordo com a Seção 13 Ou 15(D) da Lei de Mercado de Capitais de 1934**. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/102c9ca4-dea3-7079-6576-38d6a6d8917b?origin=2>. Acesso em: 16/06/22. 2021a.

VALE. **Plano de segurança hídrica - Complexo Itabira Relatório de Disponibilidade Hídrica**. 2021b.

VALE. **Relato Integrado – 2021**. Disponível em: [http://www.vale.com/PT/sustainability/relato-integrado-2021/SiteAssets/assets/Vale\\_Relato\\_Integrado\\_2021\\_PT.pdf](http://www.vale.com/PT/sustainability/relato-integrado-2021/SiteAssets/assets/Vale_Relato_Integrado_2021_PT.pdf). Acesso em: 23 jun. 2022. 2022a.

VALE. **Estudo Conceitual de Viabilidade Técnica e Financeira Para o Reúso de Efluente Tratado**. 2022b.

WASYLYCIA-LEIS, J.; FITZPATRICK, P.; FONSECA, A. Mining Communities from a Resilience Perspective: Managing Disturbance and Vulnerability in Itabira, Brazil. 2014.

WATER TECHNOLOGY. Dora Creek Wastewater Treatment Works. Disponível em: <https://www.water-technology.net/projects/dora-creek-works/>. Acesso em: 30 jul. 2022.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Arequipa no ano todo Peru**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/25845/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Arequipa-Peru-durante-o-ano>. Acesso em: 19 nov. 2022. 2022.

WHATELY, M.; CAMPANILI, M. **O século da escassez. Uma nova cultura de cuidado com a água: impasses e desafios**. Claroenigma. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Who Technical Report Series. n<sup>o</sup> 517, Geneva, Switzerland. 1973.

WORLD RESOURCE INSTITUTE (WRI). **New Study Raises Question: What Don't We Know About Water Scarcity?**. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/new-study-raises-question-what-dont-we-know-about-water-scarcity>. Acesso em: 20 jan. 2022.

ZHANG, C.; ZHONG, L.; FU, X.; ZHAO, Z. Managing Scarce Water Resources in China's Coal Power Industry. **Environmental Management**. 2016.



## **ANEXO A – Matriz de Riscos**

<b>Categoria do Risco</b>	<b>Risco</b>	<b>Causa</b>	<b>Consequência</b>	<b>Alocação</b>	<b>Mitigação</b>
Financeiro	Perda ou estagnação das receitas x custos incompatíveis	- redução ou demanda de água para reúso pelo usuário compatível - contratos que não possui critérios de reajustes compatíveis	- extinção do Contrato	Produtor/fornecedor e usuário	- transparência nas expectativas entre as partes interessadas sobre custos e capacidade de pagamento - contratos com critérios de tarifação e reajustes compatíveis
	Variação dos custos operacionais atrelados a inflação	- instabilidade econômica ou crise	- aumento dos custos	Produtor/fornecedor	- subsídios do governo para iniciativas de sustentabilidade
	Indisponibilidade de financiamento	- falta de recursos para financiar o empreendimento	- aporte de recursos próprios adicionais - recursos a mercado em taxas mais altas.	Produtor/fornecedor e usuário	- programa de linha de crédito para iniciativas de sustentabilidade
	Inadimplência	- usuário inadimplente	Perda da receita	Produtor/fornecedor e usuário	- prazos de pagamento e fornecimento da água para reúso - mapeamento de novos usuários
Econômico	Falência ou recuperação judicial	- falta de retorno econômico - inadimplência entre as partes envolvidas (financiamento, cumprimento do pagamento da tarifa de água para reúso etc)	- incapacidade de executar o contrato; - ações judiciais	Produtor/fornecedor e usuário	- transparência econômica; - qualificação econômica entre as partes
	Custo de capital	- Custo de capital maior do que o previsto	- incapacidade de executar o contrato	Produtor/fornecedor	- manter custos atualizados - considerar equipes e empresas com experiência
Político	Político	Imposições unilaterais	- custos adicionais; - inviabilizar o novo negócio	Produtor/fornecedor e usuário	- estabelecer as expectativas e cumpri-las.

Continua...

...Continuação

<b>Categoria do Risco</b>	<b>Risco</b>	<b>Causa</b>	<b>Consequência</b>	<b>Alocação</b>	<b>Mitigação</b>
Riscos Institucionais	Jurídico e Judicial	- lentidão e inexperiência na novo negócio	- demora na solução de controvérsias e adoção de decisões tecnicamente inadequadas.	Produtor/fornecedor e usuário	- transparência; - adoção de arbitragem e de sistema amigável de solução de controvérsias.
	Regulatório e legislativo	- Alterações na regulação vigente ou na legislação de modo a afetar a prestação dos serviços; - Impactos tributários (ex. alterações legais)	- custos adicionais; - inviabilizar o novo negócio	Produtor/fornecedor e usuário	- monitoramento das novas regulações e leis; - reajuste da cobrança; - subsídios do governo para iniciativas de sustentabilidade.
	Término antecipado	- insuficiência de desempenho do produtor/fornecedor; - rescisão contratual consensual; - força maior (exemplo: eventos da natureza).	- extinção do Contrato	Produtor/fornecedor e usuário	- monitoramento dos indicadores de desempenho; - critérios para recebimento dos valores investidos; - contratação de seguro.
	Intervenção por descumprimento do contrato	- descumprimento das condições contratuais.	- custos adicionais; - litígio.	Produtor/fornecedor e usuário	- estabelecer penalidades entre as partes.
	Intervenção dos órgãos competentes	- descumprimento dos requisitos ambientais, saúde etc.	- paralisação do fornecimento da água para reúso.	Produtor/fornecedor e usuário	- estabelecer e monitorar os requisitos de operação.
	Impossibilidade de recebimento dos valores pelos serviços prestados	- decisão judicial, arbitral, administrativa ou omissão de entes públicos.	- paralisação do fornecimento da água para reúso.	Produtor/fornecedor	- estabelecer indicadores financeiros e monitorar; - definir formas de pagamento.

...Continua

...continuação

<b>Categoria do Risco</b>	<b>Risco</b>	<b>Causa</b>	<b>Consequência</b>	<b>Alocação</b>	<b>Mitigação</b>
Ambiental / Social	Licenciamento Ambiental	- Atraso ou não obtenção das respectivas licenças ambientais. - estudos insuficientes; - demanda elevada e capacidade de recursos baixa.	- atraso na execução e início das operações.	Produtor/fornecedor e usuário	- estudos bem fundamentados; - estabelecer prazos condizentes e cumpri-los; - monitorar análise pelos órgãos.
	- Padrão da qualidade da água fornecida fora dos limites estabelecidos	- desequilíbrio no tratamento ou falha.	- problemas nos equipamentos; - performance; - risco a saúde; - interrupção do fornecimento da água para reúso.	Produtor/fornecedor	- monitoramento contínuo; - estabelecer penalidades.
Técnicos	- Erros de projeto e execução das obras	- ausência de controle e qualidade.	- custos adicionais; - atrasos na conclusão das obras.	Produtor/fornecedor e usuário	- implementar controle de qualidade para validação dos produtos; - contratar empresas com experiência.
	- Segurança de trabalho	- acidentes ou falhas	- acidentes com ou sem perdas	Produtor/fornecedor e usuário	- Dipor de fiscais de segurança do trabalho; - Mapeamento dos riscos da atividade; - Plano de permissão da atividade.
	- Atraso no cumprimento das atividades	- ineficiência na execução das atividades; - atraso no recebimento dos insumos; - planejamento inadequado.	- custos adicionais; - atrasos na conclusão das obras.	Produtor/fornecedor e usuário	- fiscalização das atividades; - PMO ativo.
	- Interferências externas	- mapeamento das externalidades incompleto	- custos adicionais; - atrasos na conclusão das obras.	Produtor/fornecedor e usuário	- mapeamento das externalidades completo

...Continua

...continuação

<b>Categoria do Risco</b>	<b>Risco</b>	<b>Causa</b>	<b>Consequência</b>	<b>Alocação</b>	<b>Mitigação</b>
Técnicos	- Condicionantes ambientais	- exigências dos órgãos responsáveis não previstas; - estudos incompletos.	- custos adicionais; - atrasos na conclusão das obras.	Produtor/fornecedor e usuário	- atentar para os requisitos ambientais envolvidos no projeto.
	- vida útil curta dos materiais, danos.	- baixa qualidade dos materiais	- custos adicionais; - interrupção do fornecimento da água para reúso.	Produtor/fornecedor e usuário	- estabelecer no contrato o padrão dos materiais a ser utilizados.
	- segurança dos bens e materiais	- danos, furtos e perdas	- custos adicionais; - interrupção do fornecimento da água para reúso.	Produtor/fornecedor e usuário	- segurança patrimonial; - seguro.
Jurídicos / Fiscais	- quantidade e qualidade de empresas com experiência; - seleção das propostas - passivos trabalhistas	- restringir o chamado para uma ou duas empresas; - descontos excessivos; - cumprimento de obrigações trabalhistas.	- custos adicionais; - incapacidade de cumprimento das entregas.	Produtor/fornecedor e usuário	- qualificação das empresas a participarem do processo de licitação; - critério de seleção da proposta não seja somente preço.
Riscos Comerciais	- falha no fornecimento; - demanda inferior a oferta.	- problemas operacionais no fornecimento da água; - desativação de atividades que demandam água para reúso.	- interrupção do fornecimento da água para reúso; - excesso da oferta.	Produtor/fornecedor e usuário	- remuneração variável considerando a eficiência dos serviços e dos usos; - penalidades contratuais.

Fonte: CAGECE (2022), adaptado pelo autor.

