

TECNOLOGIAS APLICADAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DO RIO  
PARAOPEBA POR MEIO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
FLUVIAL: ESTUDO DE CASO DO ACIDENTE DE BRUMADINHO-MG

*TECHNOLOGIES APPLIED FOR ENVIRONMENTAL RECOVERY OF THE  
PARAOPEBA RIVER THROUGH A FLUVIAL WATER TREATMENT STATION:  
CASE STUDY OF THE ACCIDENT IN BRUMADINHO-MG*

PAVANI, J. F. D.<sup>1</sup>, CAMPOS, J. M.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Faculdade Estácio Euro-Panamericana de Humanidades  
e Tecnologias – ESTÁCIO EUROSPAN - SP  
julyenne.mc@gmail.com

**Resumo**

O rompimento da barragem número 1 da mina do córrego do Feijão em Brumadinho-MG ocasionou no deslocamento de aproximadamente 7 milhões de m<sup>3</sup> de lama de rejeito de minério de ferro no córrego Ferro-Carvão, afluente do rio Paraopeba, configurando um grave acidente ambiental negativo para o rio e seus afluentes. Sendo assim, os objetivos do presente foram analisar os processos e tecnologias aplicadas para a recuperação ambiental e tratamento das águas do rio Paraopeba, poluído por rejeito de minério da barragem da VALE em decorrência deste acidente. Para isso utilizou-se da metodologia qualitativa sobre dados e projetos disponibilizados pela empresa Allonda Ambiental para discutir os procedimentos/técnicas escolhidos para a construção de uma estação de tratamento de água fluvial. Após avaliações prévias, esta estação foi composta pelas etapas de captação da água, transporte através de tubulação subterrânea, seguida da dosagem de químicos no tanque de mistura, direcionamento para os tanques de coagulação e floculação e na sequência para a bacia de sedimentação. Após essas, a água foi direcionada para a dragagem para bags geotêxtil, a filtragem de zeólitas e o direcionamento para a bacia de água filtrada e córrego da Casa Branca. Esta metodologia teve sua eficácia verificada, com a qualidade da água atingindo os padrões exigidos para um corpo hídrico saudável, evidenciando um processo exitoso na mitigação ao desastre ambiental de Brumadinho.

**Palavras-Chave:** tratamento de água; rio Paraopeba; desastre ambiental.

**Abstract**

*The rupture of the number 1 dam in the Feijão stream mine in Brumadinho-MG caused the displacement of approximately 7 million m<sup>3</sup> of iron ore tailings sludge in the Ferro-Carvão stream, a tributary of the Paraopeba river, configuring a serious negative environmental accident to the river and its tributaries. Thus, the objectives of this study were to analyze the processes and technologies applied for the environmental recovery and treatment of water from the Paraopeba River, polluted by ore tailings from the VALE dam as a result of this accident. For this, the qualitative methodology on data and projects provided by the company Allonda Ambiental was used to discuss the procedures/techniques chosen for the construction of a fluvial water treatment plant. After previous evaluations, this station was composed of water capture, transport through underground piping, followed by the dosage of chemicals in the mixing tank, routing to the coagulation and flocculation tanks and then to the sedimentation basin. After these, the water was directed to the dredging of geotextile bags, the filtration of zeolites and the direction to the filtered water basin and stream at Casa Branca. This methodology had its effectiveness verified, with the water quality*

*reaching the standards required for a healthy water body, showing a successful process in the mitigation of the environmental disaster in Brumadinho.*

**Keywords:** *water treatment; Paraopeba river; environmental disaster.*

## Introdução

A mineração de substâncias metálicas acompanhou o desenvolvimento do Brasil desde a época da Colônia (BARRETO, 2001). A procura por metais preciosos, principalmente o ouro por parte dos bandeirantes, culminaram em novos caminhos para a interiorização do país (ANM, 2018). Atualmente, ainda de acordo com o Anuário Mineral Brasileiro de 2018, o valor da produção comercializada das onze principais substâncias metálicas (alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco) totalizou mais de 88 bilhões de reais, com destaque para as produções dos estados do Pará e de Minas Gerais, que obtiveram 90% deste valor e, para o minério de ferro, sendo detentores de mais de 71% do valor total.

De modo geral, o minério bruto não se encontra suficientemente puro ou adequado para que seja submetido a processos metalúrgicos ou para a utilização industrial logo após a lavra, precisando ser submetidos a um tratamento ou beneficiamento para torná-lo apto à utilização (TEIXEIRA *et al.*, 2009). Esses processos têm a finalidade de regularizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais

associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final (SILVA *et al.*, 2001). Os procedimentos empregados para esse fim são muito variados, pois dependem basicamente do tipo e da qualidade do minério a ser extraído (ESPÓSITO, 2000).

A liberação do mineral ocorre através da operação de redução de tamanho através da moagem, isto é, da britagem, que pode variar de centímetros até micrômetros (LUZ *et al.*, 2004). Ainda segundo estes autores, há um alto custo envolvido no processo de moagem, operações de separação por tamanho ou classificação através de peneiramento, ciclonação e outros. A operação de concentração (separação seletiva de minerais) baseia-se nas diferenças de propriedades entre o mineral-minério (o mineral de interesse) e os minerais de ganga, isto é, os minerais com pouca concentração dos minérios desejados na extração.

Antes de se ter um produto para ser transportado, ou mesmo adequado para isso, é necessário eliminar parte da água do concentrado logo, estas operações

compreendem o desaguamento (espessamento e filtragem) e a secagem (LUZ & LINS, 2004). Esse processo se torna ainda mais complexo quando, por exemplo, o minério apresenta menor teor do elemento de interesse. No caso dos minérios de ferro mais pobres, além das etapas de moagem e classificação é também demandada a de concentração, que tem como objetivo alcançar as especificações exigidas pelo mercado, tornando o seu beneficiamento mais complexo e mais oneroso (PERES, 2003).

Adicionalmente, as separações físicas e químicas para obtenção da substância mineral de interesse (ESPÓSITO, 2000) também resultam na produção de rejeitos, que são considerados até então, de pouco valor comercial e por isso são descartados da unidade de beneficiamento (DUARTE, 2008; ÁVILA & SAWAYA, 2011). Em função do tipo de minério processado e dos tratamentos adotados podem ser encontrados rejeitos com variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas (DUARTE, 2008). Os rejeitos, quando de granulometria fina, são denominados lama, e quando de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), são denominados rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000). O descarte pode ser na forma a granel (transportados por meio de caminhões ou correias transportadoras), ou

na forma de polpa (mistura de água e sólidos), transportada por meio de tubulações com a utilização de sistemas de bombeamento ou por gravidade (DUARTE, 2008).

De modo geral, os rejeitos podem ser dispostos em minas subterrâneas, em cavas exauridas de minas, em pilhas, por empilhamento a seco, por disposição em pasta ou em barragens de contenção de rejeitos (ESPÓSITO, 2000). A seleção de um método ou outro para a disposição dos rejeitos depende da natureza do processo de mineração, das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos materiais e do poder de impacto ambiental do contaminante dos rejeitos (DUARTE, 2008). Entre os métodos de disposição, as barragens de contenção de rejeitos ainda são as mais empregadas no cenário brasileiro (FERNANDES & ARAUJO, 2016).

As barragens podem ser construídas utilizando-se solos, estéreis ou mesmo o próprio rejeito sendo que o grande volume de rejeitos gerados, condicionados aos custos da disposição, faz com que seja atrativa a utilização destes materiais como material para sua construção. A construção deste tipo de estrutura também visa a diluição dos custos do processo de extração mineral ao longo do tempo, através de alteamentos sucessivos (ALBUQUERQUE

FILHO, 2004). Ainda segundo este autor, um dique de partida é construído inicialmente e a barragem passa por alteamentos ao longo de sua vida útil, podendo ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito, através de três métodos: montante, jusante ou linha de centro.

O método de montante é o mais antigo, simples e econômico para a construção de barragens (TRONCOSO, 1997). A etapa inicial na execução deste tipo de barragem consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado. Após realizada esta etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique, formando assim a praia de deposição, que se tornará a fundação e eventualmente fornecerá material de construção para o próximo alteamento. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (FERNANDES & ARAUJO, 2016).

Por outro lado, o método de montante para alteamento de barragens de rejeito é o mais econômico em curto prazo, pois permite obter a menor relação entre volumes de areia / lama (TRONCOSO, 1997). Embora seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, o método de montante apresenta um baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em

relação à segurança (RIBEIRO, 2006). O agravante neste caso está ligado ao fato de os alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados e não consolidados. Este foi o método utilizado na Barragem de rejeito nº 1 da Companhia VALE da mina do Córrego do Feijão (B1) de Brumadinho que rompeu em 2019 (HUNZICKER, 2019).

A exploração de minério gera preocupações na esfera ambiental, que estão diretamente relacionadas a instabilidades de barragens de rejeitos da mineração, aos desafios encontrados pelo sistema de fiscalização ambiental do país, e, principalmente, aos impactos negativos sob a esfera social e sob os diversos aspectos ambientais (RAMOS, 2017). Dentre tais aspectos ambientais tem-se principalmente a depreciação qualitativa dos corpos hídricos próximos a estas mineradoras, os quais possuem diversos usos preponderantes para o desenvolvimento socioeconômico das cidades circunvizinhas. Isso, ratifica o descumprimento do que se tem como direito do cidadão brasileiro em termos de desfrutar de um “meio ambiente ecologicamente equilibrado”, direito este que está contido no artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988).

O caso do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, ocorrido em 25

janeiro de 2019 no município de Brumadinho-MG, dispensou 7 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, vitimou centenas de trabalhadores e moradores locais, além de ter levado a interrupção do consumo da água proveniente do sistema de abastecimento público de várias cidades que tem o Rio Paraopeba como corpo hídrico de captação, tendo sido necessário o abastecimento através de caminhões pipa (AEDAS, 2020).

O rompimento da Barragem de rejeito nº 1 da Companhia VALE da mina do Córrego do Feijão (B1), além de causar grandes perdas humanas, também ocasionou um enorme desastre ambiental (MENDES & OLIVEIRA, 2019). A lama de rejeito de minério, altamente tóxica para saúde humana e para a vida dos seres aquáticos pela sua grande concentração de metais pesados, principalmente ferro, manganês e alumínio, além de trazer destruição aos ecossistemas ali instalados em decorrência do seu deslocamento e força de arraste, trouxe também grande impacto negativo ao ambiente tornando as águas do rio Paraopeba inapropriadas para qualquer atividade de uso, além de ameaçar a fauna e flora do rio (MENDES & OLIVEIRA, op. cit.).

É importante ressaltar que esse impacto ambiental negativo é agravado pelo fato de tratar-se de um rio em constante

fluxo, ou seja, a poluição está sendo constantemente carregada através do curso do rio Paraopeba, importante na bacia hidrográfica do estado de Minas Gerais (VALE, 2020).

### **Objetivos**

Sendo assim, os objetivos do presente foram analisar os processos e tecnologias aplicadas para a recuperação ambiental e tratamento das águas do rio Paraopeba, poluído por rejeito de minério da barragem da VALE em decorrência do Acidente da barragem do Córrego da Mina do Feijão em Brumadinho (MG). Mais especificamente, o presente visou: (1) apresentar as técnicas e tecnologias utilizadas para recuperação ambiental do curso do rio, (2) descrever os processos de tratamento da água (ETAF) utilizados para isso e (3) discutir sua eficiência no tratamento da água do Rio Paraopeba.

### **Material e Métodos**

#### Acidente e Área de Estudo

##### *Rio Paraopeba*

O Rio Paraopeba banha o estado de Minas Gerais e sua nascente está localizada ao sul no município de Cristiano Ottoni,

Minas Gerais e sua foz na represa de Três Marias, no município de Felixlândia, no mesmo estado. A extensão do rio é de 546,5 km e sua bacia cobre 12.090 quilômetros quadrados e 35 municípios, sendo um dos principais afluentes do rio São Francisco (RELATÓRIO FINAL DA CPI, 2019).

Seus principais afluentes são o rio Macaúbas, o rio Betim, o rio Camapuã e o rio Manso (ANA, 2020). Estes três últimos são represados para formação dos três reservatórios que compõem o Sistema Paraopeba, sendo estes o Sistema Vargem das Flores, Sistema Rio Manso e Sistema Serra Azul. Dos 546,5 km de extensão, 356 km estão contaminados pelo acidente do rompimento da barragem de rejeito de minério, entre Brumadinho e a barragem de Três Marias, em Felixlândia (ANA, 2020).

#### *Mineração de Ferro na região*

Os principais depósitos de ferro brasileiros estão localizados nos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul, estando localizadas no primeiro as maiores reservas de minério de ferro (DUARTE, 2008; ÁVILA & SAWAYA, 2011). O Quadrilátero Ferrífero está localizado na parte central de Minas Gerais, com vértices noroeste em Itabira, sudeste em Mariana, sudoeste em Congonhas e nordeste em

Itaúna, com área aproximada de 7.000 km<sup>2</sup>. Os minérios do Quadrilátero Ferrífero são classificados em itabirito comum, itabirito dolomítico, itabirito anfibolítico e minérios de alto teor (ESPÓSITO, 2000). No caso da Mina Ferro Carvão de Brumadinho o minério explorado é o do Ferro, com os minerais em maiores concentrações no rejeito das barragens sendo o ferro, manganês e o alumínio (MENDES & OLIVEIRA, 2019)

#### *Acidente em Brumadinho e medidas mitigatórias implantadas quanto ao rio Paraopeba*

A companhia VALE, estima que o rompimento da Barragem nº 1 lançou aproximadamente 7 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito de minério de ferro no ambiente. Grande parte desse volume sofreu sedimentação ao longo dos 7 km do córrego Ferro-Carvão, que é afluente do rio Paraopeba. Na Figura 1 é apresentado o cenário do trecho do córrego Ferro-Carvão antes e depois do acidente, mostrando as proporções da destruição e o poder de arraste do deslocamento do rejeito na região, dando uma ideia parcial dos danos causados pelo acidente.

Logo, uma das necessidades foi a rápida interrupção da progressão do rejeito

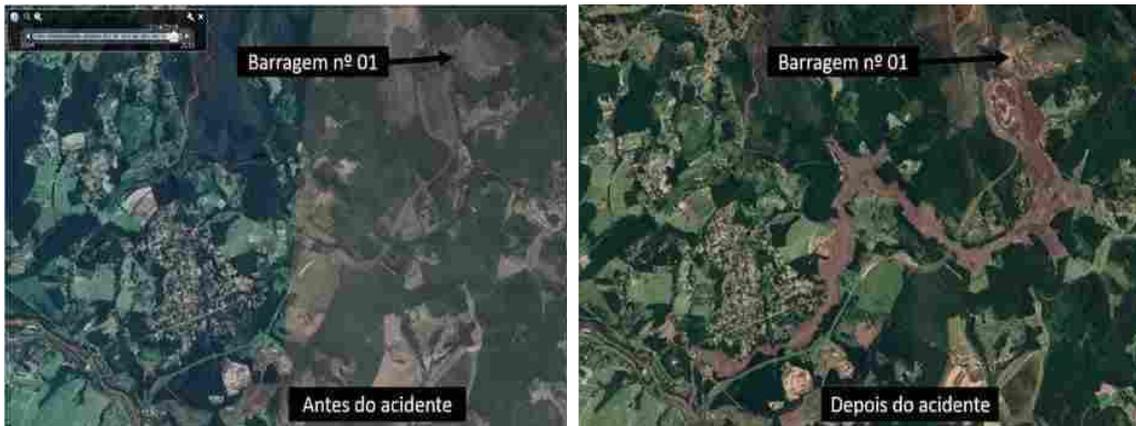


Figura 1 - Região antes e depois do acidente com a barragem da VALE em Brumadinho – MG. Fonte: Google Earth, 2019.

pelo rio. Para isso, a mineradora anunciou um pacote de obras de R\$ 1,8 bilhão com o objetivo de frear o carregamento de rejeitos para o rio Paraopeba (VALE, 2020). A primeira solução para o problema foi o projeto de engenharia para construção de barreiras para contenção da lama de rejeito. Entre a B1 e a confluência do córrego Ferro-Carvão com o rio Paraopeba, no curso do córrego Ferro Carvão, foram instaladas três grandes estruturas de contenção, duas barreiras hidráulicas filtrantes e um dique, além de 24 pequenas barreiras estabilizantes (VALE, op. cit.).

Ainda segundo o documento citado, A finalidade desse conjunto de intervenções foi reter o carregamento de sedimentos para o curso do rio Paraopeba. Próximo a confluência do córrego Ferro-Carvão com o rio Paraopeba foi instalada uma cortina de estacas metálicas, medida que viabilizou a limpeza do trecho do rio com a maior concentração de sedimentos. Concomitan-

temente com o projeto de contenção da lama, foi desenvolvido um projeto para construção de uma ETAF. Construída e operada pela empresa subcontratada da VALE, a empresa Allonda Ambiental, essa foi inserida às margens do encontro do córrego água branca e o rio Paraopeba em Brumadinho/MG. A ETAF teve a finalidade de recuperar as águas do rio, poluído por rejeito, devolvendo-as ao corpo hídrico (VALE, 2020).

Desde o dia 9 de maio, quando começou a operar, até setembro de 2019 e, a ETAF devolveu para o rio Paraopeba mais de 1,5 bilhão de litros de água limpa, dentro dos padrões legais determinados em CONAMA 357/2005 e 430/2011. Segundo o contrato entre a VALE e a empresa Allonda, a estação deve seguir a operação por dois anos, segundo as informações internas da empresa Allonda (ALLONDA, Jornal Interno da empresa, sem data). Esse processo é fundamental para a recuperação do rio.

### Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho pode ser classificado como pesquisa exploratória, visando o aprofundamento na temática de recuperação ambiental de um rio por meio do tratamento de suas águas. Segundo Gil (2002), a pesquisa exploratória proporciona uma visão ampla sobre o assunto abordado, sendo realizado, sobretudo, quando o tema é pouco explorado. Assim sendo, de acordo com Andrade Neto (2002), a pesquisa exploratória proporciona maiores informações sobre a fixação dos objetivos e formulação das hipóteses.

Assim, o presente artigo seguiu o método qualitativo baseado na bibliografia específica, obtida por meio de levantamento bibliográfico em bases de dados, para um estudo focado na identificação das técnicas utilizadas para recuperação ambiental do curso do rio Paraopeba/ Brumadinho – MG. Adicionalmente, foi realizada a análise dos processos de tratamento da água (ETAF) utilizado na recuperação do curso do rio Paraopeba/ Brumadinho – MG.

Escolheu-se a estratégia do estudo de caso que, segundo Yin (2001), representa a estratégia preferida quando o pesquisador possui pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum

contexto da vida real, como no caso da presente pesquisa.

Ainda, a pesquisa bibliográfica realizada remete às contribuições de diferentes autores sobre um assunto, atentando para fontes secundárias (GIL, 2002). Assim, a pesquisa foi baseada em informações e documentações da empresa VALE e Allonda Ambiental a respeito da Estação de Tratamento de Água (ETAF) do rio Paraopeba (mais especificamente considerando: Estudo de Tratabilidade, Estudo de Dimensionamento e Projeto Executivo de Construção da ETAF). O presente teve como foco selecionar, entre o material do referencial teórico, o conteúdo necessário para analisar as técnicas escolhidas para o tratamento de água.

Sendo assim, o foco foi a ETAF em Brumadinho (MG) estabelecida e gerida pela empresa Allonda Ambiental, local de trabalho de um dos autores, que graças a autorização, lhe garantiu livre acesso à documentação utilizada. Diante disso, durante três meses foram avaliados os estudos, projeto e técnicas da ETAF para recuperação e tratamento das águas contaminadas pelo acidente.

### **Resultados e Discussão**

#### Dimensionamento da ETAF - Vazão do córrego Ferro-Carvão

Para que houvesse o correto dimensionamento da ETAF foi necessária a realização de dois estudos prévios, cujos resultados foram disponibilizados pela VALE, primeiramente para dimensionar a vazão normal do córrego Ferro-Carvão e, adicionalmente, quanto a pluviometria da área. Este último analisou em um período de 50 anos os registros de chuvas da região, para que fosse selecionado o caso de chuvas mais intensas como base mínima para o aumento de vazão do córrego proveniente da coleta de água de chuva.

Com esses dois estudos foi determinada a capacidade máxima que a ETAF deveria bombear e tratar quando o córrego estivesse em sua vazão máxima. Assim, o dimensionamento da ETAF,

segundo informações da VALE, respeitou a vazão máxima do córrego de 2.000 m<sup>3</sup>/h.

#### Ensaio de Tratabilidade

Inicialmente, para encontrar as soluções foram realizadas coletas em pontos onde a lama/rejeito, por consequência do rompimento da barragem, passou pelo córrego Ferro-Carvão (Fig. 2). A partir dessas coletas, foram realizados estudos e levantamentos sobre a qualidade da água. Foi levantado que o nível de turbidez da água da região afetada estava em torno 20.000 NTU.

Adicionalmente, a água do Rio Paraopeba foi caracterizada quanto aos teores de Alumínio dissolvido, Ferro dissol-



Figura 2 - Ponto de coleta córrego Ferro-Carvão. Fonte: Google Earth, 2019.

vido, Manganês e Níquel (Tab. 2). Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados são as médias das leituras. Os

valores obtidos se apresentaram acima do que preconiza a Resolução CONAMA 357/05 para todos os parâmetros analisados.

Tabela 2 – Resultados relativos a diferentes parâmetros analisados para as amostras do rio Paraopeba em comparação aos limites estabelecidos pela resolução Conama 357/05.

Parâmetro	Valor	CONAMA 357/05
Ferro Dissolvido	3,00 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	3,00 mg/L	0,10 mg/L
Alumínio Dissolvido	0,20 mg/L	0,10 mg/L
Níquel Total	0,006 mg/L	0,025 mg/L

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL, 2018.

A partir desses dados, a concepção do projeto, foi a construção de uma estação de tratamento de água fluvial, que pudesse tratar a água do rio para que essa fosse devolvida ao rio Paraopeba nas condições que se encontrava antes do acidente, ou seja, permitindo a classificação como corpo hídrico tipo classe 2. Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o corpo hídrico Classe 2 é descrito como:

Águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e frutíferas; à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

Para alcançar esse nível de qualidade de água é necessário que esta apresente nível de turbidez menor que 100 NTU e esteja livre de contaminação de agentes tóxicos como metais pesados, assim

atendendo a resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011). A partir dessa premissa, e que a água do rio apresentava em média 20.000 NTU, foram realizados testes de tratamento de efluentes para o dimensionamento de técnicas a serem utilizadas para a estação de tratamento de água.

As amostras dos pontos do rio foram submetidas à testes, para verificar as dosagens de coagulante, floculante e tempo de sedimentação, para que fossem tratados a uma vazão média 800 m<sup>3</sup>/h nas condições de 20.000 NTU do ponto de coleta. Após diversos testes, foram levantados os seguintes parâmetros de dosagem de coagulante (PAC) e floculante (Polímero), bem como tempo de agitação para misturar os reagentes e, também o tempo de sedimentação, para atender a demanda de vazão (Tab. 3).

Tabela 3 – Dosagem de coagulante e floculante, e ajuste de turbidez.

Parâmetro	Dosagem
Coagulante - PAC (ppm)	200
Floculante - Polímero (ppm)	9
Turbidez (NTU)	50,1

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL

O PAC (Coagulante Policloreto de Alumínio) utilizado é composto por coagulantes inorgânicos à base de sais de Alumínio, desenvolvido para o tratamento de águas e efluentes industriais a partir de um sal duplo de Alumínio com alto teor de Ferro em sua forma oxidada ( $Fe^{+3}$ ). Tem eficiência na remoção de cor com eficácia de coagulação e floculação, sendo também extremamente eficiente na remoção de sólidos suspensos e de boa performance na

remoção de metais (PUREWATER, 2020). Já o polímero floculante, é um polímero inorgânico, com alta concentração catiônica, com elevado poder coagulante, que acelera a velocidade na formação de flocos, comumente utilizado nas Estações de Tratamento de Água ETAs (VON SPERLING & CHERNICHARO, 2001). Estes dois compostos para coagulação e floculação dos sólidos em suspensão na água foram dimensionados para o tratamento, conforme apresentado na Tabela 4.

#### Dimensionamento dos Elementos da ETA

De posse dos dados do estudo de tratabilidade da água e com os dimensionamentos de dosagens de reagen-

Tabela 4 – Resultados das diferentes características avaliadas relativos aos parâmetros de readequação da água referentes à adição de Coagulante e Floculante, assim como ao Tempo e Taxa de Sedimentação.

Parâmetro	Características Avaliadas		
	Dosagem	Velocidade de Agitação (RPM)	Tempo
Coagulante (PAC)	200	200	50
Floculante (Polímero)	9	80	150
	Velocidade de sedimentação (cm/s)	Tempo de sedimentação total (s)	Turbidez esperada na água tratada (NTU)
Tempo de Sedimentação	1	1.200	30 a 60
	Taxa de sedimentação e retenção de sólidos	Vazão de projeto ( $m^3/h$ )	Turbidez da água bruta (NTU)
Taxa de Sedimentação	21%	2.000	183.600

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL, 2018.

tes para tratamento de água, a próxima etapa foi relacionar esses dados com os estudos de vazão e dados pluviométricos fornecidos pela VALE, que tinha como premissa tratar a água com a vazão máxima de 2.000 m<sup>3</sup>/h e vazão média de 800 m<sup>3</sup>/h.

Primeiramente, foi realizado o dimensionamento do tanque de coagulação e floculação, tendo como variáveis a vazão máxima, o tempo de coagulação e floculação e a vazão de coagulante e floculante (Tab. 5).

Tabela 5 – Valores estabelecidos quanto ao Dimensionamento dos Tanques de Coagulação e Floculação.

<b>Dimensionamento do Tanque de</b>	<b>Vazão</b>	<b>Tempo</b>	<b>Vazão</b>	<b>Vazão adotada</b>
Coagulação	2000 m <sup>3</sup> /h	50 segundos	69,44 m <sup>3</sup>	70 m <sup>3</sup>
Floculação	2000 m <sup>3</sup> /h	150 segundos	208,33 m <sup>3</sup>	210 m <sup>3</sup>

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL, 2018.

Após a passagem pelos tanques de coagulação e floculação, a água é direcionada para o tanque de sedimentação. Seu volume foi dimensionado para suportar a vazão máxima e o período necessário para sedimentação, com suas diversas características (Tab. 6), como capacidade, vazão efluente diária e por hora, período de trabalho, taxa de acúmulo máxima de sólidos e tempo para ocupação incluídas.

Conforme o fluxograma da ETAF, os sedimentos acumulados no fundo da bacia são dragados por uma draga de sucção e recalque. A dragagem foi dimensionada de acordo com a vazão máxima da ETAF (Tab. 7).

A partir dos dimensionamentos dos elementos de tratamento de água, foi possível estabelecer a metodologia de

tratamento de água do rio, bem como as estruturas da ETAF.

Na Tabela 8 são apresentadas as características relativas ao dimensionamen-

Tabela 6 – Dimensionamento da bacia de sedimentação considerando diferentes características e os valores estabelecidos para estas.

<b>Característica</b>	<b>Valor estabelecido</b>
Capacidade da bacia	72.000 m <sup>3</sup>
Vazão efluente	2.000 m <sup>3</sup> /h
Período de trabalho	24 horas/dia
Vazão efluente/dia	48.000 m <sup>3</sup> /dia
Taxa de acúmulo de sólidos	21 %
Acúmulo de sólido (máximo)	25.200 m <sup>3</sup> /dia
Tempo para ocupação - 50% da bacia	1,43 dias
Tempo para ocupação - 100% da bacia	2,86 dias

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL

Tabela 7 - Dimensionamento da bacia de sedimentação considerando diferentes características e os valores estabelecidos para estas.

<b>Característica</b>	<b>Valor estabelecido</b>
Vazão máxima de tratamento	2000 m <sup>3</sup> /h
Vazão média mensal de tratamento considerada	200 m <sup>3</sup> /h
Taxa de sedimentação de sólidos	21 %
Retenção média de sólidos	52,5 m <sup>3</sup> /h

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL

to das estruturas de desaguamento dos bags de geotêxtil.

Geomembrana (geotêxtil) é um material flexível e manufaturado, fabricado a partir de produtos sintéticos ou betuminosos cuja função é possibilitar uma camada impermeável para controlar a percolação e o fluxo de líquidos (VAN SANTVOORT, 1994). As geomembranas do tipo polietileno de alta densidade (PEAD) são consideradas um produto muito eficaz na prevenção da poluição ambiental, tendo o seu uso exigido pelos órgãos ambientais para diversos tipos de obras. Essa exigência se deve, de acordo com Guimarães (2007), a sua alta resistência à maioria dos produtos químicos, a esforços mecânicos e aos raios ultravioletas.

Tabela 8 - Dimensionamento das estruturas de desaguamento - BAG geotêxtil.

<b>Característica</b>	<b>Valor estabelecido</b>
Vazão de material	52,5 m <sup>3</sup> /h
Produção mensal	23.000 m <sup>3</sup> /mês
Porcentagem de sólidos	30%
Porcentagem final de sólidos	75
Dimensão do Bag	18 m x 30 m
Consumo dos Bags	9 Bags / Mês

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL

A geomembrana de PEAD é utilizada em sistemas impermeabilizantes que segundo seus fabricantes (NTC- Brasil), foi desenvolvida para proporcionar maior proteção do meio ambiente e minimizar a penetração dos líquidos, evitando que estes atinjam o solo e as águas subterrâneas, garantindo a eficiência de sistemas de tratamento do lodo na fase de desidratação, disposição e armazenagem de resíduos agrícolas, agroindustriais e industriais diversos. O método de desaguamento por geotêxtil consiste em encher uma grande bolsa de geotêxtil costurado, com capacidade de reter grande quantidade de material. Este quando preenchido com material carregado de partículas, libera o líquido retendo o lodo em seu interior (TOMINAGA, 2010). Assim podem se

resumir as etapas de funcionamento do BAG em: 1 - fase de confinamento: o lodo devidamente condicionado é bombeado para o interior do tubo; 2 - fase de desagumamento: o lodo condicionado libera a água que passa por meio da membrana geotêxtil; e 3 - fase de consolidação, na qual, após o preenchimento total do tubo com o lodo condicionado, este permanece em repouso pelo tempo necessário de desidratação, para aumentar o teor de sólidos do lodo no interior do tubo (TOMINAGA, op. cit.).

#### Metodologia Aplicada ao Tratamento de Água Fluvial – Construção da ETAF

Inicialmente, com a construção de uma barreira com estacas, pranchas e trabalhos de escavação, criou-se uma área de represa próximo ao encontro dos rios, contendo toda a vazão do córrego Ferro-Carvão, para que esse não continuasse seu fluxo para o rio Paraopeba, impedindo que houvesse maior contaminação proveniente de sua confluência. Essa pequena represa também teve o propósito elevar o nível da água para que fosse instalado um conjunto bombas centrífugas com crivo submersos, para captação da água do rio. Assim, a partir do início da operação da ETAF, foi garantida a captação de toda água do córrego Ferro-Carvão, impedindo o extravasamento desta

pela barreira de estacas pranchas, com base na vazão do córrego em todas as épocas do ano e possíveis condições meteorológicas.

Essa captação levou a água do rio, para a estação de tratamento de água. Para o projeto foi escolhida uma estação com instalações temporárias ao invés de uma permanente, devido ao processo construtivo mais rápido, para o atendimento premente e urgente desta necessidade. Foi estimado que esse tratamento da água deveria durar ao menos dois anos (ALLONDA AMBIENTAL, 2018).

Assim, por meio da contenção do curso normal do córrego foi possível impedir o carreamento da lama e água contaminada do córrego Ferro-Carvão para o rio Paraopeba, através de instalação de uma cortina de estacas-prancha, na proximidade da confluência dos rios citados acima (Fig. 3).

Com a obra, a água com os sedimentos que naturalmente seguiriam para o rio Paraopeba foi retida e, através de represamento, pode ser captada e bombeada para a estação de tratamento (Fig. 4). As águas captadas nas proximidades da nova ponte da Avenida Alberto Flores vêm sendo bombeadas para a ETAF através de duas tubulações em tubos flexíveis de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) de diâmetro de 800 mm cada, que percorre a distância de 800 m até chegar à estação de



Figura 3 - Barreira de estacas prancha e captação. Fonte: Acervo fotográfico da empresa Allonda Ambiental, 2019.

tratamento, situada às margens na confluência do Córrego da Casa Branca e o rio Paraopeba (Fig. 5).

Na entrada da estação a água passa por quatro tanques de 25.000 litros com agitadores, onde é administrado através de



Figura 4 - Barreira de estacas prancha e captação. Referência: Google Earth, 2019.



Figura 5 – ETAF localizada na Estrada Alberto flores S/N, Fazenda Iracema - Brumadinho – MG. Fonte: Acervo fotográfico da empresa Allonda Ambiental, 2019.

bombas dosadoras o coagulante (PAC). Após esses, a água é direcionada para outros tanques com a mesma metodologia dos anteriores, porém com a aplicação de floculantes (polímeros). Após esse processo a água escoar dos tanques através de calhas até chegar à lagoa/bacia de decantação. Esta, tem as medidas necessárias para atender a vazão máxima de 2.000 m<sup>3</sup>/h, apresentando para isso dimensão de 150 x 60 x 8 m e capacidade para armazenar 72.000 litros. Na Bacia de decantação, os sólidos decantados são dragados por uma draga flutuante de sucção e recalque.

O material dragado é então levado até grandes sacos de geotêxteis denominados tubos geotêxteis. A função desses é reter a lama/lodo e permitir o

escoamento da água, além de funcionar como sacos que armazenam esse material. Os tubos geotêxteis são organizados em células de cinco sacos ou bags, que tem como dimensões 12 x 6 x 1,5 metros e capacidade para 108 m<sup>3</sup> de material dragado (Fig. 6).

Desde o início das atividades em 9 de março de 2019 até dezembro de 2020, apenas uma célula havia sido concluída, com aproximadamente 540 m<sup>3</sup> de lama/rejeito. A água que escoar dos tubos geotêxteis é captada e retorna para lagoa de decantação. Os tubos geotêxteis após atingirem sua capacidade de armazenamento de lama, passam pelo processo de desidratação/secagem do lodo que, após seco, é retirado através de

retroescavadeira e enviado por caminhões basculantes para o local onde a VALE estabeleceu para descarte/armazenagem do rejeito. Os sólidos nos tubos geotêxteis

serão removidos e transportados para uma área previamente definida e autorizada pelos órgãos competentes (ALLONDA AMBIENTAL, 2020).



Figura 6 - Bags geotêxtil – desaguamento. Fonte: Acervo fotográfico da empresa Allonda Ambiental, 2019.

Do lado oposto de onde o efluente é lançado na bacia de decantação, no nível superior da água, há uma bomba de sucção que leva a água para oito tanques com capacidade para 3.800 litros cada. Estes têm por finalidade a filtragem de metais pesados, principalmente para coleta dos principais poluentes do rejeito da barragem, o ferro e o manganês.

No interior do filtro, na metade de seu nível, é instalada uma chapa de ferro perfurada, onde são instalados crepinas, que são elementos filtrantes mecânicos

(pequenos filtros). O interior do filtro é preenchido com um mineral chamado zeólita. Esse mineral possui propriedades filtrantes que são capazes de reter os metais pesados da água. Assim, é possível alcançar o propósito de atender aos parâmetros de tratamento de efluente contidos na Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011). Essa etapa é importante já que a poluição de sistemas aquáticos por metais pesados é um fator que afeta a qualidade do meio ambiente e constitui risco eminente de intoxicação ao homem (GOYER, 1996). As

ações antrópicas são responsáveis por adições de até 1,16 milhões de toneladas de metais por ano em ecossistemas terrestres e aquáticos no mundo todo (NRIAGU & PACYNA, 1988). No Brasil, a mineração de níquel, ouro, ferro e de outros metais de interesse comercial, têm contribuído com a liberação de rejeitos que se constituem como uma das principais formas de contaminação do solo e da água por metais pesados. O aumento nas concentrações desses rejeitos no solo e nos efluentes próximos a zonas de mineração pode estar relacionado com processos químicos e biológicos que controlam a solubilidade, a disponibilidade biológica e a mobilidade desses metais (GUILHERME *et al.*, 2005). Adicionalmente, ao contrário dos compostos orgânicos que podem ser degradados, as espécies de metais inorgânicos são persistentes no meio ambiente. A natureza não-biodegradável e a meia-vida longa da maioria deles proporciona a capacidade de assimilação, armazenamento e concentração por organismos podendo, por meio da cadeia alimentar, entrar em contato com o ser humano. Além dos efeitos tóxicos na saúde do homem, os metais também são tóxicos para a fauna e flora mesmo se estiverem em baixas concentrações, devido à assimilação e concentração que ocorre no meio ambiente (SHARMA *et al.*, 2006; NADEEM *et*

*al.*, 2009; LESMANA *et al.*, 2009). A exposição está relacionada tanto com a quantidade envolvida como com o tempo de exposição, logo chega às cadeias alimentares por meio dos peixes e podem passar a outros níveis como, aves, mamíferos e seres humanos (GOYER, 1996).

Sendo assim, após a passagem pelos filtros de zeólita o tratamento termina. As revisões sobre zeólitas naturais enfocam principalmente suas propriedades tecnológicas (PABALAN & BERTETTI 2001) e seu uso em tratamentos de efluentes (PANSINI, 1996; KALLÓ *et al.*, 2012). Isso se dá porque estas apresentam grande capacidade de troca iônica, sendo assim amplamente utilizadas no tratamento de efluentes industriais (DABROWSKI *et al.*, 2004), drenagem ácida de minerações (FUNGARO & IZIDORO, 2006; RÍOS *et al.*, 2008) e recuperação de solos contaminados (GARAU *et al.*, 2007).

A água é então direcionada a uma pequena bacia, que serve como base para coleta e análise da qualidade da água e, conseqüentemente, do tratamento da mesma. Depois dessa etapa, a água escoo pela calha Parshal, com a finalidade de medir a vazão de saída da estação, sendo então levada ao córrego da Casa-Branca, um efluente do rio Paraopeba. Segue abaixo apresentado pela Tabela 9 e Figura 7 o fluxograma da ETAF.

Tabela 9 – Fluxograma da ETAF.

Ordem	Etapas
1	Captação da água (distância aproximada de 800 m)
2	Transporte (através de tubulação subterrânea)
3	Dosagem de químicos e tanque de mistura
4	Tanques de coagulação e floculação
5	Bacia de sedimentação
6	Dragagem para bags geotêxtil
7	Filtros de zeolitas
8	Bacia de água filtrada
9	Descarga córrego da casa branca

Fonte: ALLONDA AMBIENTAL

As análises da última lagoa têm apresentado em média o nível de turbidez de 15 NTU, o que demonstra que o processo tem apresentado eficiência, uma vez que a turbidez está abaixo à indicada nos padrões mínimos da Classe 2 (100 NTU - Resolução CONAMA n.º 430 – BRASIL, 2011). Isso é de particular importância, uma vez que a turbidez pode provocar desequilíbrio no ambiente aquático, devido a diminuição da penetração dos raios solares na água, provocando assim, alterações no sistema, proporcionando mudanças nas taxas de fotossíntese, além de favorecer a proliferação de bactérias produtoras de toxinas e reduzir a demanda bioquímica de

oxigênio, provocando assim a morte dos peixes (FAY & SILVA, 2004). Os sedimentos fragmentados que se encontram em suspensão permanecem em constante mobilidade devido a turbulência, às correntes convectivas da água e a repulsão provocada pelas cargas elétricas existentes na superfície das partículas, processo que proporciona o equilíbrio dinâmico entre as partículas, sendo que, as menores permanecem em suspensão e as maiores tendem a sedimentar gradativamente (TOMAZONI *et al.*, 2005). Além disso, a turbidez pode aumentar a taxa de evaporação da água, pois em água relativamente clara há possibilidade de penetração da radiação solar, então, a massa hídrica armazena quantidades expressivas de energia. Porém, quando há redução da transparência da água há absorção e espalhamento da luz pela matéria em suspensão, alterando a capacidade de armazenamento, dessa forma elevando a taxa de evaporação (TOMAZONI *et al.*, 2005).

As análises de eficiência da ETAF foram realizadas com os dados fornecidos pela empresa Allonda Ambiental, porém com o intuito de ratificar os dados das análises realizada neste trabalho segue abaixo dados do IGAM (2019), que emite um boletim mensal de monitoramento de recursos hídricos e sedimentos ao longo da



Figura 7 – Foto e fluxograma da ETA. Fonte: Acervo fotográfico da empresa Allonda Ambiental – 2019.

Bacia do rio Paraopeba devido a um Termo de Compromisso (TC) com o Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG). Em análise ao boletim é notória diminuição

de concentração de ferro dissolvido e turbidez da água, bem como a gradual diminuição de material em suspensão e metais pesados presente na água (Fig. 8).

Ferro total (mg/L)							
Limite Classe 2 DN 1/08: não se aplica			2000-2018 (Série Hist.)	Série emergencial até 60 dias após o rompimento		agosto de 2020	setembro de 2020
Trecho	Pontos	Rio Paraopeba: distância (km) e local	Máximo	Máximo	Mínimo	Resultado	Resultado
montante	BP036	-10 Brumadinho (a montante)	sem dados	9,22	2,14	0,92	0,83
	BPE2	20 Captação RMBH em Brumadinho	sem dados	28,52	1,19	0,71	0,72

Turbidez (NTU)							
Limite Classe 2 DN 1/08: 100 NTU			2000-2018 (Série Hist.)	Série emergencial até 60 dias após o rompimento		agosto de 2020	setembro de 2020
Trecho	Pontos	Rio Paraopeba: distância (km) e local	Máximo	Máximo	Mínimo	Resultado	Resultado
montante	BP036	-10 Brumadinho (a montante)	609	439	34,1	14,1	13,2
	BPE2	20 Captação RMBH em Brumadinho	sem dados	30240	407	13,5	12,8

Figura 8 - Boletim Setembro IGAM. Fonte: IGAM, 2019.

### Considerações Finais

O rompimento da Barragem da mina do Córrego do Feijão em

Brumadinho/MG, acarretou impactos ambientais negativos sem precedentes para o rio Paraopeba. A empresa VALE responsável pela barragem vem utilizando

uma técnica eficaz para o tratamento de água, por meio de uma estação de tratamento de água fluvial, que em poucos meses de operação vem se apresentando como um processo bastante eficiente. Isso demonstra que estão sendo tomadas as ações necessárias para o tratamento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Logo, o presente estudo conclui que as técnicas utilizadas para o tratamento da água, bem como o procedimento de dimensionamento e construção da ETAF, além de demonstrar a eficiência no tratamento da água, atende plenamente aos requisitos de qualidade de água para os parâmetros considerados. A diminuição da turbidez e retirada dos metais pesados da água vem contribuindo com o restabelecimento dos usos do rio Paraopeba, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Essas medidas são parte preponderante do processo de mitigação dos danos no sistema ecológicos de toda a bacia do rio Paraopeba, visando a retomada das atividades humanas que dependem do rio, bem como a reparação dos problemas sociais gerados por esse acidente.

#### Referências Bibliográficas

- AEDAS - Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social. **Relatório Preliminar da Situação de Acesso à Água pelas Comunidades da Bacia do Paraopeba**. Novembro, 2020.
- ALBUQUERQUE FILHO, L. H. **Análise do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto. 2004.
- ALLONDA AMBIENTAL. **Tratamento da água do rio Paraopeba poluído por rejeito**. Disponível em: <<https://allonda.com/case/tratamento-de-agua-do-rio-paraopeba-poluido-por-rejeito/>>. Acesso em 29/09/2020.
- ALLONDA AMBIENTAL. **Tratamento de Água do Córrego do Ferro-Carvão Brumadinho-MG**. Fevereiro, 2018.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/rioparaopeba>>. Acesso em 08 de outubro de 2020.
- ANM – Anuário Mineral Brasileiro. **Principais Substância Metálicas**. Agência Nacional de Mineração. 2018.
- ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários**. Experiência brasileira. ABES. 299p. 2002.
- ÁVILA, J. P.; SAWAYA, M. As barragens de rejeitos no Brasil: Sua evolução nos últimos anos. *In*: DE MELLO, F. M. & PIASENTIN, C. (Orgs). **História das barragens do Brasil: Séc. XIX, Séc XX e Séc. XXI**. (1ª ed., s/cap., pp. 369 - 395). Rio de Janeiro, Brasil: CBDB, 524p, 2011.
- BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 225 p.
- BRASIL, Senado Federal. **Constituição da república federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a

- Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Diário da União, Brasília, maio/2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário da União*, Brasília, março/2005.
- DABROWSKI, K.; RINCHARD, J.; LEE, K. J.; BLOM, J. H.; CIERESZKO, A.; OTTOBRE, J. Effects of diets containing gossypol on reproductive capacity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Biol. Repro.**, v. 62, n. 2, p. 227 - 234, 2004.
- DUARTE, A. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2008.
- ESPÓSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. Tese de Doutorado em Geotecnia – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2000.
- FAY, E. F.; SILVA, C. M. M. S. Comportamento e Destino de Agrotóxicos no Ambiente Solo-Água. In: **Agrotóxico e Ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- FERNANDES, F. R. C; ARAÚJO, E. R. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: **Conflitos Ambientais na Indústria Mineira e Metalúrgica: o passado e o presente**. Évora, CETEM, CICP, Rio de Janeiro, p 65–88. 2016.
- FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. de C. Remediação de Drenagem Ácida de Mina Usando Zeólitas Sintetizadas a Partir de Cinzas Leves de Carvão. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 735 – 740, 2006.
- GARAU, C.; MASALA, F.; PINNA, F. Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison. **Cities**, 56, 35-46, 2007.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4a Ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOYER, R. A. Lead toxicity: Current concerns. **Environ. Health Perspect.**, v. 100, p. 177 –187, 1996.
- GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4. p.345-390, 2005.
- GUIMARÃES, G.C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Qualidade da Água no Rio Paraopeba. **Boletim Informativo do Cidadão**, n. 3, setembro, Belo Horizonte, 2019.
- HUNZICKER, A. C. M. **O rompimento da barragem do Fundão: repercussões nos saberes e práticas das professoras da escola de Bento Rodrigues**. Dissertação de mestrado em educação: Mestrado Profissional em Educação e Docência - Promestre. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte. 2019.
- KALLÓ, I.; MOHÁCSIK, P.; VIDA, B.; ZEÖLD, A.; BARDÓCZI, Z.; ZAVACKI, A. M.; FARKAS, E.; KÁDÁR, A.; HRABOVSKY, E.; DRIGO,

- R. A.; DONG, L.; BARNA, L.; PALKOVITS, M.; BORSAY, B. A.; HERCZEG, L.; LECHAN, R. M.; BIANCO, A. C.; LIPOSITS, Z.; FEKETE, C.; GEREBEN, B. A Novel Pathway Regulates Thyroid Hormone Availability in Rat and Human Hypothalamic Neurosecretory Neurons. **PLoS ONE**. v. 7, n. 6, 2012.
- LESMANA, S. O.; FEBRIANA, N.; SOETAREDO, F. E.; SUNARSO, J.; ISMADJI, S. Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater. **Biochemical Engineering Journal**. V. 44, n. 1, p. 19-41, 2009.
- LUZ, A. B. D.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 858 p.
- LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 989 p, 2004.
- MENDES, C. M.; OLIVEIRA, V. V. Rompimento das barragens em Mariana (2015) e em Brumadinho (2019): regimes de interação no contexto das organizações. *In: Encontro Anual da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Comunicação*. 28., p. 1-23, 2019.
- NADEEM S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology Advances**. v. 32, n. 2, p. 429 – 448, 2014.
- NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soils by Trace Metals. **Nature**, v. 333, n. 6169, p. 134-139, 1988.
- PABALAN, R. T.; BERTETTI, F. P. Cation-exchange properties of natural zeolites, *In: BISH, D. L.; MING, D. W. (ed). Reviews in Mineralogy and geochemistry*. v. 45, p. 453-518, 2001.
- PANSINI, M. Natural Zeolites as cation exchanges for environmental protection. **Mineralium Deposita**. v. 31, p. 563 - 575, 1996.
- PERES, A. E. C. Processamento Mineral – Métodos de Concentração. *In: ABM. Minério de ferro: processos de obtenção e sua utilização na Siderurgia*. Belo Horizonte, Capítulo 6, p. 196-251, 2003.
- PUREWATER. **Tratamentos de efluentes com zeólitas**. Disponível em: <<http://purewaterrefluentes.com.br/pr-odutos/zeolita-para-filtro-de-agua.html>>. Acesso em 05/10/2020.
- RAMOS, H. M. P. **O impacto do descarte inadequado dos resíduos de saúde aos catadores de materiais recicláveis de Ceilândia-DF**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília. UnB, 2017.
- RELATÓRIO FINAL DA CPI. Comissão Parlamentar de Inquérito. **Rompimento da Barragem de Brumadinho**. Câmara dos Deputados. Outubro, 2019.
- RIBEIRO, A. C. Tectonic history and the biogeography of the freshwater fishes from the coastal drainages of eastern Brazil: an example of faunal evolution associated with a divergent continental margin. **Neotrop. Ichthyol.**, 4(3):225-246, 2006.
- RÍOS, C. A.; WILLIAMS, C. D.; ROBERTS, C. L. Removal of heavy metals from acid mine drainage (AMD) using coal fly ash, natural clinker and synthetic zeolites. **Journal of Hazardous Materials**. v. 156, p. 1 - 3, 2008.
- SHARMA, K.; SHARMA, S. D. Chemical composition and *in sacco* degradability of some fodder tree leaves, shrub leaves and herbaceous plants. **Indian J.**

- Anim. Sci.**, v. 76, n. 7, p. 538 – 541, 2006.
- SILVA, A. C.; VIDAL, M.; PEREIRA, M. G. Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. **Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p. 133- 136, 2001.
- TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. Ed. – São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.
- TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. A Sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Anta Gorda (PR). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 3, n.1, p. 01 - 21, 2005.
- TOMINAGA, L. K.; ROSSINI-PENTEADO, D.; AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R.; GUEDES, A.C.M. Desastres Naturais e Riscos em São Luiz do Paraitinga (SP). *In: ABGE, Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*. 2010.
- TRONCOSO, J. H. Geotechnics of tailings dams and sediments. *In: International Congress of Environmental Geotechnics*, 18, p. 1405-1423, 1997.
- VALE. **O que a Vale está fazendo em Brumadinho**. Disponível em: <[http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes\\_brumadinho/Paginas/default.aspx?utm\\_source=Google&utm\\_medium=CPC&utm\\_campaign=2019|Search|Barragens|Brumadinho&utm\\_content=Link8](http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/default.aspx?utm_source=Google&utm_medium=CPC&utm_campaign=2019|Search|Barragens|Brumadinho&utm_content=Link8)>. Acesso em 29/09/2020.
- VAN SANTVOORT, G. P. T. M. (Ed.). **Geotextiles and geomembranes in civil engineering**. CRC Press, 1994.
- VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C.A.L. A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality criteria standards. *In: XXVII Congreso interamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental*, 2001.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.