



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

BÁRBARA ALVARENGA DE MORAIS

**ESTUDOS DE CASOS REAIS DE APLICAÇÃO DE SECAGEM EM REJEITOS DE
MINÉRIO DE FERRO VISANDO A DESTINAÇÃO COMO INSUMOS DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

ARAXÁ-MG

2022

BÁRBARA ALVARENGA DE MORAIS

**ESTUDOS DE CASOS REAIS DE APLICAÇÃO DE SECAGEM EM REJEITOS DE
MINÉRIO DE FERRO VISANDO A DESTINAÇÃO COMO INSUMOS DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
- Unidade Araxá, como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Minas.

Orientador: Dr. Alexander Martin
Silveira Gimenez
Coorientadora: Rayanne de Jesus
Andrade Fidelis

ARAXÁ-MG

2022

BÁRBARA ALVARENGA DE MORAIS

**ESTUDOS DE CASOS REAIS DE APLICAÇÃO DE SECAGEM EM REJEITOS
DE MINÉRIO DE FERRO VISANDO A DESTINAÇÃO COMO INSUMOS DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas
Gerais - Unidade Araxá, como
requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia
de Minas.

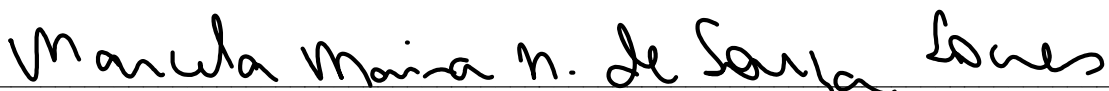
Data de Defesa: Araxá, 11 de fevereiro de 2022.



Presidente e Orientador: Prof. Dr. Alexander Martin Silveira Gimenez
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG Unidade Araxá

RAYANNE DE JESUS ANDRADE FIDELIS:09477492680 Assinado de forma digital por RAYANNE
DE JESUS ANDRADE FIDELIS:09477492680
Dados: 2022.02.17 10:24:44 -03'00'

Membro Titular e Coorientadora: Eng. Rayanne de Jesus Andrade Fidelis
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG Unidade Belo Horizonte



Membro Titular: Profª. Marcela Maira Nascimento de Souza Soares
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG Unidade Araxá



Membro Titular: Prof. Dr. Fábio de São José
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG Unidade Araxá

DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus pais, Irlei e Celi por sempre me apoiarem.

Aos meus irmãos, Wesley e Heli, que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar o dom da vida e poder correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus pais, Irlei e Celi, por estarem sempre ao meu lado me apoiando, onde, por muitas vezes abriram mão dos seus sonhos para viverem o meu, e por serem meus maiores exemplos.

Aos meus irmãos, Heli e Wesley, por todo carinho, me incentivando ao longo de toda minha vida.

À minha avó, Alcione, pelos conselhos e sabedoria, que com seu abraço me manteve sempre em busca do meu melhor.

À toda minha família, pelo companheirismo e torcida, que esteve presentes nesses anos, tornando os dias mais leves.

Ao meu companheiro, Italo, por todo amor e carinho, estando comigo nos dias mais difíceis do último ano letivo.

Aos meus amigos da graduação, Amanda, Guilherme, Hênila, Larissa, Milena, em especial à Daiane minha grande amiga e ao Nizernon que mesmo não concluindo o curso esteve sempre presente, vocês foram fundamentais para essa conquista.

Ao meu orientador, Alexander, e minha coorientadora, Rayanne, pela orientação, paciência, dedicação e pela confiança depositada em mim e no meu trabalho. A vocês toda minha gratidão e admiração.

À cada pessoa que passou pela minha vida ou que ainda faz parte dela, deixando aprendizado, bons momentos e experiências.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

No cenário mundial, é perceptível o crescimento acelerado da mineração nas últimas décadas, contribuindo de maneira expressiva para a economia de diversos países, inclusive do Brasil, onde o minério de ferro se destaca, ainda mais considerando os volumes de sua produção. Essa atividade é responsável pela movimentação de grandes volumes e massas de resíduos provenientes dos processos de extração e beneficiamento mineral, o que acarreta em diversos impactos gerados pelas extensas áreas de armazenamento. Isso implica diretamente na supressão vegetal, afastamento da fauna, poluição das águas e solos, assoreamento, mobilização humana, entre outros. Pesquisas buscam direcionar os rejeitos e estéreis de mineração em produtos diversos, em que se destacam os materiais de construção civil: em pavimentos, fabricação de cimento e cerâmicas vermelhas (telhas e tijolos), entre outros. A construção civil é tida como potencial receptora de resíduos diminuindo o consumo de recursos naturais, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa e tendo reflexos nos custos. Os processos de tratamento de minério de ferro ocorrem essencialmente em via úmida, fator que inviabiliza o direcionamento direto desses rejeitos para materiais de construção, uma vez que estes são confeccionados com insumos secos. Esta pesquisa teve como objetivo levantar quais são as técnicas possíveis e/ou em uso de desaguamento de rejeito de minério de ferro no final do processo de tratamento para sua posterior aplicação na construção civil. Com isso, realizou-se um levantamento bibliográfico que buscou compreender como reduzir o acúmulo de rejeito a partir de alternativas ambientalmente adequadas. Além disso, foram realizadas entrevistas com profissionais da área a fim de coletar informações e dados referente ao atual cenário de disposição e reaproveitamento de resíduos de suas unidades. Conclui-se que há grandes barreiras que dificultam o reaproveitamento de rejeito de minério, como o grande volume de material produzido, além de técnicas mais eficazes e com menor impacto ambiental na disposição. As pesquisas têm buscado soluções e muito ainda necessita ser investigado para que a disposição à seco favoreça um reaproveitamento em larga escala sobretudo na Construção Civil.

Palavras-chave: Impactos ambientais; mitigação de impactos; reaproveitamento de rejeitos; minério de ferro; materiais de construção.

ABSTRACT

The accelerated worldwide growth of mining in recent decades is noticeable, contributing significantly to the economy of several countries, including Brazil, where iron ore stands out, even more considering the volumes of its production. This activity is responsible for the movement of large volumes and masses of waste from the extraction and mineral processing processes, which causes several impacts generated by the extensive storage areas. This directly implies plant suppression, scaring away fauna, water and soil pollution, silting, human mobilization, among others. Research seeks to direct mining waste and waste into various products, in which civil construction materials stand out: in pavements, in the manufacture of cement and red ceramics (tiles and bricks), among others. Civil construction is seen as a potential recipient of waste, reducing the consumption of natural resources, reducing the emission of greenhouse gases and having an impact on costs. The iron ore treatment processes essentially take place in the wet process, a factor that makes it impossible to direct these tailings to construction materials, since they are made with dry inputs. This research aimed to find out what are the possible and/or in use techniques for dewatering iron ore tailings at the end of the treatment process for its subsequent application in civil construction. With this, a bibliographic survey was carried out that sought to understand how to reduce the accumulation of tailings from environmentally appropriate alternatives. In addition, interviews were carried out with professionals in the area in order to collect information and data regarding the current scenario of disposal and reuse of waste from their units. It is concluded that there are great barriers that make it difficult to reuse ore tailings, such as the large volume of material produced, in addition to more effective techniques with less environmental impact on disposal. Research has sought solutions and much still needs to be investigated so that dry disposal favors large-scale reuse, especially in Civil Construction.

Keywords: environmental impacts; impact mitigation; reuse of tailings; iron ore; construction materials.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Etapas da extração e beneficiamento de minério.	16
Figura 2: Rejeitos de sulfeto cinzento em córrego que flui pela cidade de Huanuni, Bolívia.	17
Figura 3: Pilha de Estéril - Vale Mina Conceição em Itabira/MG.	18
Figura 4: Mapa do Quadrilátero Ferrífero.	19
Figura 5: Disposição ribeirinha de rejeitos na mina de Ok Tedi na Papua Nova Guiné.	24
Figura 6: Esquematização dos métodos de disposição marinha de rejeitos de mineração. (A) Disposição costeira em águas rasas de rejeito; (B) Disposição submarina de rejeitos e (C) Disposição em alto mar de rejeitos.	25
Figura 7: Barragem Eustáquio. Barragem de rejeitos oriundos do beneficiamento de minério de ouro no município de Paracatu/MG.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Mecanismos de filtração e modelos de filtros.....	22
-------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDTD – Biblioteca Brasileira Digital de Teses e Dissertações

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

CTD – Disposição costeira em águas rasas

DSTP – Disposição em alto mar

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ERIC – *Education Resources Information Center*

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISSA – *International Slurry Surfacing Association*

QF – Quadrilátero Ferrífero

ROM – *Run of mine*

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

RTD – Disposição ribeirinha de rejeitos

STD – Disposição submarina

USIMINAS – Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. Atividade de Mineração.....	15
2.2. Minério de ferro no Brasil	18
2.3. Beneficiamento de minério de ferro	20
2.3.1. Separação sólido-líquido	22
2.3.1.1. Filtragem.....	22
2.4. Disposição de rejeitos.....	23
2.5. Impactos ambientais	27
2.6. Reaproveitamento de rejeito de minério de ferro na construção civil.....	27
3. METODOLOGIA.....	29
4. ESTUDO DE CASO	29
4.1. Companhia Siderúrgica Nacional (CSN)	30
4.1.1. Sobre a empresa.....	30
4.1.2. Gestão Ambiental	30
4.2. Usiminas Mineração	32
4.2.1. Sobre a empresa.....	32
5. DISCUSSÃO.....	33
6. CONCLUSÃO.....	35
BIBLIOGRAFIA	36

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico tem exigido, cada vez mais, demandas de recursos para o crescimento econômico em larga escala, o que tem levado ao elevado consumo de diversos materiais, sobretudo de metais como o ferro. Dessa forma, a indústria mineira tem se alavancado consideravelmente nas últimas décadas, por ser a principal fonte desses materiais (RANÄNGEN; LINDMAN, 2017).

O Brasil possui uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo e sua exploração implica em impactos ambientais, devido à geração de grandes massas e volumes de resíduos. O rejeito gerado no processo de beneficiamento de minério de ferro é uma espécie de resíduo sólido de rápido acúmulo, devido à crescente demanda mundial por ferro, aço e indústrias relevantes em todo o mundo (APAZA *et al.*, 2021; ZHANG; TANG; LIU, 2021).

Dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) apontam que para cada tonelada de minério de ferro processado no Brasil, são produzidos 400kg de rejeitos, ocupando grandes áreas, além de necessitar de uma gestão eficiente e com elevado custo, tanto de transporte quanto do próprio armazenamento (IPT, 2020; LI *et al.*, 2010). Só em 2020 foram geradas 494,3 milhões de toneladas de resíduos minero-metalúrgicos. Neste mesmo ano, a empresa destinou cerca de 751 mil toneladas de resíduos não minerais, dos quais 40,5 mil podem ser classificados como perigosos e 710,8 mil como não perigosos. Desse montante, 59% tiveram uma destinação sustentável para reprocessamento, reciclagem e/ou reuso (VALE, 2022).

Dentre as formas de armazenamentos de rejeitos gerados nas etapas de beneficiamento de minérios, as barragens são as estruturas mais utilizadas para o descarte desses materiais. O armazenamento desse material nas barragens está associado não só aos problemas ambientais, mas também aos riscos relacionados à segurança da população. As barragens devem ser mantidas em boas condições de operação, atendendo aos mais rigorosos padrões de segurança (ESPOSITO; DUARTE, 2010).

Dois graves acidentes com estruturas de disposição de rejeitos marcaram a mineração no Brasil nos últimos anos. O primeiro ocorreu em novembro de 2015, devido ao rompimento de uma barragem de rejeitos localizada no município de Mariana/MG, causando 19 mortes. Cerca de 35 milhões de metros cúbicos de rejeitos vazaram da barragem, devastando uma grande área e causando graves problemas sociais, econômicos e ambientais. Além disso, a lama com vestígios

de metais atingiu a bacia do Rio Doce e oceano Atlântico. Nessa situação, grande parte da lama liberada foi retirada de uma das áreas afetadas (Barra Longa). Esse material foi alocado em aterros abertos. O segundo rompimento, mais recente, ocorrido em Brumadinho/MG em janeiro de 2019, na barragem de rejeitos B1 na mina Córrego do Feijão, liberou 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração no rio Paraopeba e tem sido considerado o desastre mais fatal (264 mortes e 6 pessoas desaparecidas) envolvendo barragens de rejeitos, além dos impactos socioeconômicos e ambientais (CPRM, 2019; DA SILVA SOUZA *et al.*, 2021; MENDES *et al.*, 2019)

A fim de reduzir os impactos ambientais associados a gestão e promover a reutilização desses rejeitos, algumas soluções foram propostas. Uma delas é usá-los para a produção de materiais para a construção civil, uma vez que encontrar fontes sustentáveis de matérias-primas para o setor tornou-se um tema de grande importância. A utilização desses materiais na construção civil pode agregar valor a este subproduto e minimizar os riscos ambientais (ZHAO; FAN; SUN, 2014).

Exemplificando, a Vale inaugurou em 2020, uma Fábrica de Blocos do Pico, primeira planta piloto de produtos para a construção civil cuja matéria-prima principal é o rejeito da atividade de mineração. A fábrica foi instalada na Mina do Pico, no município de Itabirito/MG e promoverá a economia circular na operação de beneficiamento do minério de ferro. A expectativa é que, a cada ano, cerca de 30 mil toneladas de rejeito deixem de ser dispostas em barragens ou pilhas para serem transformadas em 3,8 milhões de produtos pré-moldados de larga aplicação na indústria da construção civil. Dentre os produtos gerados estão pisos intertravados, blocos de concreto estruturais, blocos de vedação, placas de concreto, manilhas, blocos de vedação, dentre outros. A empresa estima um investimento de cerca de R\$ 25 milhões em pesquisa e desenvolvimento tecnológico na planta e conta com a cooperação técnica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (VALE, 2020).

Para a aplicação do rejeito de minério de ferro, é necessário submeter esse material a etapas de separação sólido-líquidos, que em muitos casos, são operações críticas na usina de beneficiamento de minérios, visto que requer elevado investimento e controle. As etapas de separação sólido líquido buscam adensar o rejeito, separando as partículas em suspensão do líquido, fazendo com que a parte pesada sedimente e o líquido suba (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2017).

Face ao exposto, este trabalho teve como objetivo levantar quais são as técnicas possíveis e/ou em uso de desaguamento de rejeito de minério de ferro no final do processo de tratamento para sua posterior aplicação na construção civil. Com isso, realizou-se um levantamento bibliográfico que buscou compreender como reduzir o acúmulo de rejeito a partir de alternativas ambientalmente adequadas. Além disso, foram realizadas entrevistas com profissionais da área a fim de coletar informações e dados referentes ao atual cenário de disposição e reaproveitamento de resíduos de suas unidades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta uma breve revisão bibliográfica a respeito dos rejeitos gerados no beneficiamento de minério de ferro e as suas possíveis aplicações, visando a destinação como insumo de materiais de construção civil.

2.1. Atividade de Mineração

A mineração é uma das atividades que visa extrair economicamente bens minerais da crosta terrestre, utilizando técnicas adequadas para cada situação. Estas técnicas visam minimizar os impactos ao meio ambiente, dentro dos princípios da conservação mineral, e têm como compromisso a recuperação das áreas mineradas durante a extração e após a desativação, dando a estas áreas um outro uso apropriado (BARRETO, 2001).

O minério é toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais, que podem ser aproveitados economicamente. Esses minerais aproveitáveis como bens úteis, são chamados de minerais-minério. O mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério é denominado ganga (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2010).

De acordo com Sampaio *et al.* (2010), a atividade de mineração é realizada seguindo as etapas elencadas a seguir, e sintetizadas na Figura 1.

- i) Prospecção;
- ii) Exploração
- iii) Extração (transporte e disposição de estéril; transporte do minério para usinas);
- iv) Beneficiamento (britagem, moagem, etc);
- v) Metalurgia (hidrometalurgia, pirometalurgia, biometalurgia, eletrometalurgia e processos combinados).
- vi) Descarte do rejeito (disposição, barragens, *bags*, pilhas, etc).

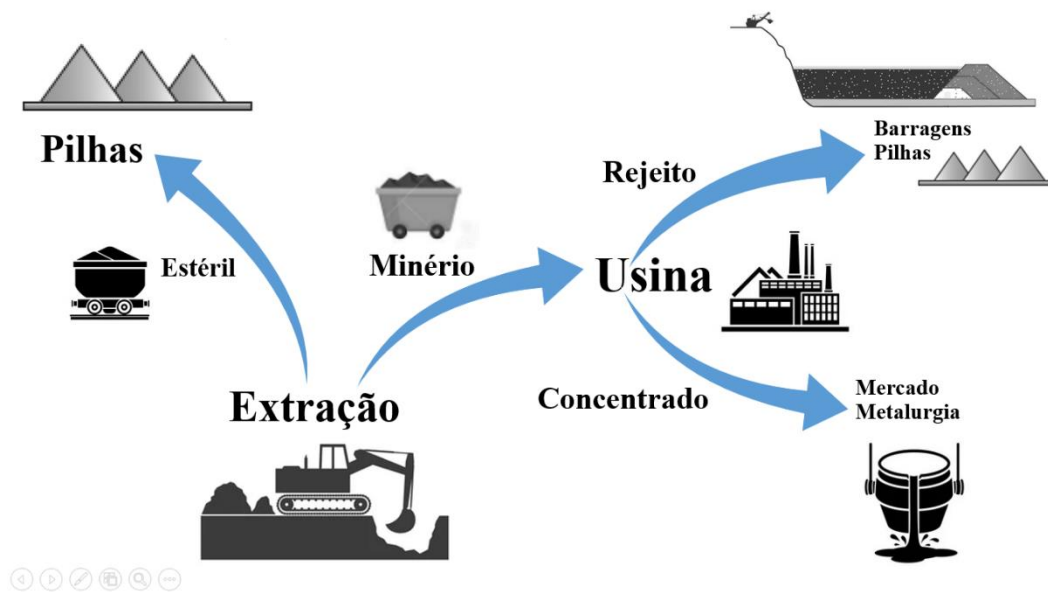


Figura 1: Etapas da extração e beneficiamento de minério.

Fonte: Própria autora.

Sampaio *et al.* (2010) definem o tratamento ou beneficiamento de minérios como um grupo de operações, aplicadas aos bens minerais, visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes, sem, contudo, modificar a identidade química dos minerais. Na língua inglesa, os termos equivalentes mais utilizados são: “*ore/mineral dressing*”, “*ore/mineral beneficiation*” e “*mineral processing*”.

O mundo moderno não poderia funcionar sem os produtos de origem mineral, que são componentes essenciais na fabricação de aviões, cerâmicas, computadores, materiais de construção, metais e tinta. Além disso, baseando-se em uma escala global, a indústria de mineração fornece emprego direto para mais de 40 milhões de pessoas, e apoio indireto para mais de 250 milhões de pessoas (AZAPAGIC, 2004).

Esses produtos são obtidos a partir do minério concentrado. Para a concentração, é necessário que os minerais estejam fisicamente liberados. Isto implica que uma partícula deve apresentar, idealmente, uma única espécie mineralógica. Para se obter a liberação do mineral, o minério é submetido a uma sequência de operações de redução de tamanho (cominuição), que pode variar de centímetros até micrometros. Como as operações de redução de tamanho são caras (consumo de energia, meio moedor, revestimento etc.), deve-se fragmentar só o estritamente necessário para a operação seguinte. Para evitar uma cominuição excessiva, faz-se uso de operações de separação por tamanho ou classificação (peneiramento, ciclonação etc.), nos circuitos de cominuição (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2010).

A indústria mineira, no entanto, produz enormes volumes de resíduos. São diversas plantas existentes em todo o país que produzem uma enorme quantidade de resíduos, que se compara a mesma ordem de magnitude que a dos processos geológicos fundamentais da Terra, cerca de várias milhares de toneladas por ano (KOSSOFF *et al.*, 2014), e na proporção de rejeito comparado ao concentrado é comumente muito alta, variando em torno de 200:1 (LOTTERMOSER, 2007).

Os rejeitos são subprodutos, teoricamente, de baixo teor do mineral de interesse gerados nas etapas de beneficiamento de minérios. Os rejeitos são depositados frequentemente a céu aberto de forma subterrânea ou subaquática e em áreas confinadas (barragens ou bacias) dotadas de estrutura de contenção, como ilustrado na Figura 2 (MACHADO, 2007).



Figura 2: Rejeitos de sulfeto cinzento em córrego que flui pela cidade de Huanuni, Bolívia.
Fonte: Hudson-Edwards *et al.* (2001)

Quanto à morfologia, os rejeitos variam de angulares a muito angulares, com formatos altamente variáveis e difícil de generalizar, porque sofre interferência direta e específica do processo (BJELKEVIK, 2005). Sarsby (2000) definiu tamanhos de partículas de rejeitos de rocha dura como em grande parte livres de cascalho ($<2\text{mm}$) e sem argila ($<3,9\mu\text{m}$), com areia ($625\mu\text{m}$ a 2mm) sendo mais comum do que o lodo ($3,9\text{-}625\mu\text{m}$). A densidade das partículas varia de acordo com o tipo de rocha mãe. Uma faixa generalizada para a densidade aparente de rejeitos é dada como $1,8\text{-}1,9\text{t/m}^3$ com uma massa específica de $2,6\text{-}2,8\text{t/m}^3$ (BJELKEVIK, 2005; SARSBY, 2000).

Além disso, durante o processo de extração de bens minerais, surge também uma expressiva quantidade de materiais de pouco ou nenhum valor econômico, como o caso do estéril. A remoção desse material da área de lavra e sua disposição final representam apenas custos no desenvolvimento de uma mina com implicações, não só de ordem econômica, mas, também,

no que diz respeito à segurança e ao meio ambiente (ARAGÃO; OLIVEIRA FILHO, 2011). A Figura 3 ilustra uma pilha de estéril da Mina Conceição, pertencente à Vale, localizada na cidade de Itabira/MG.



Figura 3: Pilha de Estéril - Vale Mina Conceição em Itabira/MG.
Fonte: Vale (2021).

2.2. Minério de ferro no Brasil

O Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo, atrás somente da Austrália (HAO *et al.*, 2018; MORAES; RIBEIRO, 2018; SILVA; MAZZINGHY, 2021). Em 2020, Austrália e Brasil produziram 900 milhões de toneladas e 400 milhões de toneladas, respectivamente (GARSIDE, 2021).

No país destacam-se como principais regiões produtoras de minério de ferro, o Quadrilátero Ferrífero (MG), a Província Mineral de Carajás (PA) e o Maciço de Urucum (MS) (MORAES; RIBEIRO, 2018).

QUADRILATÉRO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) situa-se no centro-sudeste do estado de Minas Gerais, ocupando uma área aproximada de 7.000km². Esta região, ilustrada na Figura 4, é produtora de ouro, ferro, manganês, sendo responsável pela maior produção nacional de ferro (cerca de 60% da produção brasileira) (OMACHI, 2015).

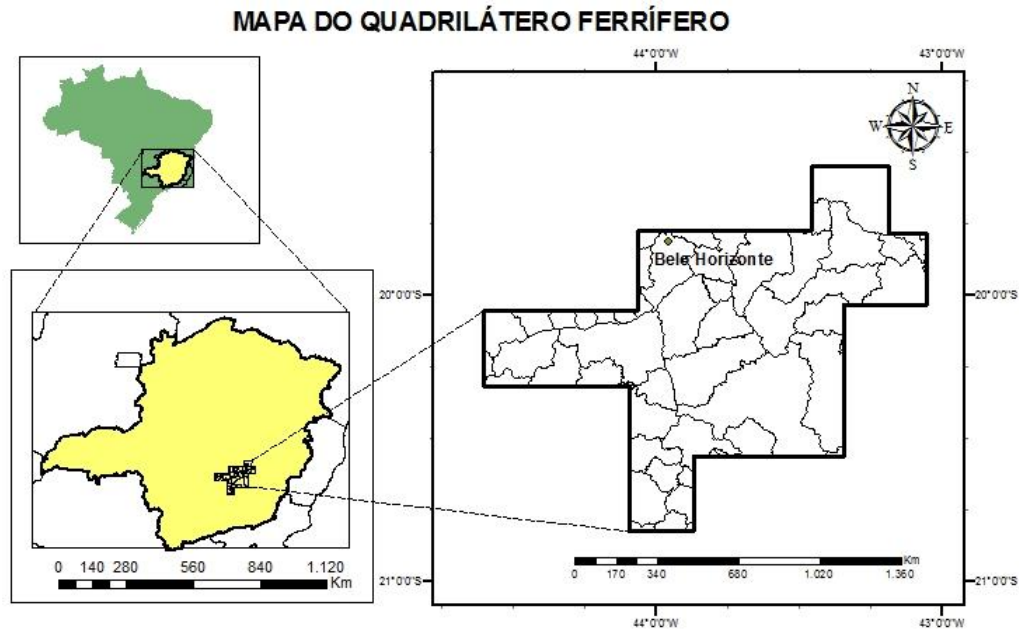


Figura 4: Mapa do Quadrilátero Ferrífero.

Fonte: <http://mesosaurus.blogspot.com/2016/01/mapa-do-quadrilatero-ferrifero.html>.

O minério de ferro explotado no QF divide-se em dois tipos principais: itabiríticos e hematítico. Normalmente, o minério itabirítico é definido pela alternância entre bandas de óxidos de ferro e bandas de sílicatos, com teores variando entre 20 e 55% de ferro. Em relação à textura esse tipo de minério é considerado compacto e friável. Os corpos de minério hematíticos são mais homogêneos e compostos por basicamente hematita, isto é, são mais ricos em ferro, apresentando teores superiores a 64%. São encontrados, geralmente, em proporções variáveis nas formas de lentes imersas nas camadas de itabirito. A textura desse tipo de minério de ferro varia entre compacto e pulverulento (foliado, lineado ou granular) (SANTIAGO, 2017; CARVALHO *et al.*, 2013).

PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

A Serra dos Carajás, localiza-se no estado do Pará no norte do Brasil. Nessa região foi descoberta a maior reserva de minério de ferro do mundo. Em questão de teor, possui um minério de alta qualidade. As formações ferríferas da Província Mineral dos Carajás são constituídas basicamente por três principais tipos de minério, os quais a nomenclatura é associada às propriedades físicas, são elas: (i) hematita; (ii) itabiritos ou jaspilitos e (iii) canga (SANTIAGO, 2017).

MACIÇO DO URUCUM

A região conhecida como Província Mineral do Urucum, situa-se na zona rural de Corumbá, no estado de Mato Grosso do Sul. O Maciço do Urucum possui grandes reservas minerais, em relação ao ferro, a terceira maior do Brasil. Salienta-se que apesar da região possuir uma das maiores reservas do país, a questão locacional não contribui para a elaboração de um plano viável de logística (SANTIAGO, 2017).

2.3. Beneficiamento de minério de ferro

Para a seleção da rota de beneficiamento de minério de ferro adequada existem alguns fatores importantes que devem ser considerados, uma vez que influenciam diretamente no processo. Esses fatores podem ser divididos, de forma geral, em fatores intrínsecos e extrínsecos ao minério a ser processado. Entre os fatores intrínsecos ao minério, destacam-se as características físico-químicas do ROM (*Run of Mine*); a distribuição granulométrica, granulometria de liberação das partículas minerais, os teores químicos e as associações mineralógicas. Já dentre os fatores extrínsecos, salienta-se as características físico químicas desejadas para o transporte e etapas de metalurgias subsequentes. Adicionalmente, os fatores econômicos envolvidos no tratamento desse bem mineral serão também, naturalmente, levados em consideração na definição da rota de beneficiamento (ANDRADE, 2018).

Os minérios que atendem naturalmente às especificações químicas do mercado, normalmente minérios com elevado teor de ferro, são processados em circuitos de cominuição, classificação por tamanho a úmido e desaguamento. As operações de classificação por tamanho a úmido e desaguamento favorecem a remoção de partículas finas argilosas, onde concentram-se as impurezas, principalmente fósforo e alumina (SILVA, 2016).

Por outro lado, no beneficiamento de minérios com baixo teor de ferro são necessárias operações de concentrações, geralmente empregando os métodos densitários, de concentração magnética e flotação. Quando a liberação das partículas de mineral minério das partículas de ganga ocorre em faixas de tamanho mais grosseiras, geralmente opta-se pelo método gravítico. Já em cenários que o minério requer moagem fina, por exemplo os minérios itabiríticos, na maioria das vezes, a concentração é realizada por separação magnética de alta intensidade a úmido e flotação catiônica reversa, sendo bastante comum uma combinação destes métodos (ANDRADE, 2018).

Os produtos do beneficiamento de minério de ferro têm três classificações que variam conforme a sua granulometria e características (MOURÃO, 2008). São elas:

- *Granulado (Lump ore)*: é o material grosseiro gerado apenas pela cominuição e classificação do ROM com granulometria entre 6,35mm e 31,70mm;
Sinter feed: é o material que necessita ser submetido ao processo de aglomeração para ser usado em alto fornos e possui tamanho de partículas variando entre 0,15mm e 6,35mm;
- *Pellet feed*: é o material que, assim como o *sínter feed*, necessita passar por processo de aglomeração para ser usado em alto fornos com granulometria inferior a 0,15mm.

Em linhas gerais, o beneficiamento de minério de ferro engloba processos de fragmentação, classificação, concentração, separação sólido-líquido e disposição de rejeitos. Entretanto, esses processos podem variar dependendo das características do minério. No que se refere a concentração, os métodos mais comuns são separação/concentração gravítica, separação magnética, flotação e seleção mecanizada, a qual é realizada através de dispositivos automáticos de detecção, identificação e separação (ANDRADE, 2018).

A maioria dos métodos de concentração são realizados a úmido buscando uma maior eficiência e com isto, torna-se necessário à implantação de processos de separação sólido-líquido. Sendo assim, as principais operações de separação sólido-líquido são: sedimentação, filtragem, centrifugação e secagem (ANDRANDE, 2018).

Vale ressaltar que em cada do processo de beneficiamento de minério de ferro são necessárias operações de manuseios de material e amostragem. A primeira engloba o transporte dos materiais entre os processos e também até as áreas de estocagem, enquanto a segunda garante o controle do processo de beneficiamento (ANDRADE, 2018).

Ao final do processo de beneficiamento mineral é necessário a destinação dos materiais que não se transformam em produtos, rejeitos, em um local pré-determinado. Normalmente, a quantidade de rejeitos gerada no beneficiamento de minério de ferro é alta, e a disposição é realizada, dependendo dos objetivos econômicos da mineração, em superfície ou é vinculada no processo de extração de minério, a céu aberto ou de forma subterrânea (LOZANO, 2006).

2.3.1. Separação sólido-líquido

O processo de separação sólido-líquido abrange todas as operações unitárias onde ocorrem o desaguamento, evaporação e secagem do minério. No desaguamento apenas métodos mecânicos são empregados, enquanto que na evaporação e secagem há o emprego de calor (VALADÃO, 2008).

A separação sólido-líquido está geralmente associada com: a recuperação de água para reutilização no processo; a adequação da porcentagem de sólidos da polpa exigidas pelas operações unitárias subsequentes; redução da umidade dos produtos de transporte e comercialização e preparação de rejeito para transporte e disposição. Nas usinas de beneficiamento mineral as principais operações unitárias de separação sólido-líquido são: peneiramento, ciclonagem, centrifugação, espessamento, filtragem, evaporação e secagem. A aplicação industrial de determinada operação dependerá das características do minério e de avaliações técnicas e econômicas (GUIMARÃES, 2011).

2.3.1.1. Filtragem

A filtragem é a operação unitária de separação sólido-líquido na qual o principal mecanismo é a passagem de polpa através de um meio filtrante, poroso, havendo retenção de sólidos e passagem de líquido. Os sólidos retidos pelo meio filtrante constituem a torta, enquanto o líquido que atravessa o meio filtrante é denominado filtrado (CHAVES, 2004; FERREIRA, 2011; VALADÃO, 2008).

Para que a filtragem da polpa seja possível, é necessária a existência de uma força incidente sobre as partículas através de um meio poroso. Essa força pode ser obtida através de gravidade, vácuo, pressão ou centrifugação (GUIMARÃES, 2011). A Tabela 1 resume os mecanismos de filtragem e os principais filtros aplicados no beneficiamento mineral.

Tabela 1: Mecanismos de filtragem e modelos de filtros.

Tipos de filtragem	Características	Modelos de filtros
A vácuo	Criada uma pressão negativa debaixo do meio filtrante	Filtro de tambor, filtro de disco convencional, filtro horizontal de mesa e filtro horizontal de correia
Sob pressão	É aplicada pressão positiva na polpa	Filtro prensa horizontal e filtro prensa vertical

Centrífuga	Utiliza a força centrífuga para forçar a passagem do líquido	Centrífugas verticais e decaners
Hiperbárica	São combinados vácuo e pressão	Filtro de disco encapsulado ou hiperbárico
Capilar	Utiliza a ação de capilares de meios cerâmicos porosos para efetuar o desaguamento	Ceramec

Fonte: Adaptado Guimarães (2011).

Em usinas de beneficiamento de minério de ferro, normalmente são realizadas filtrações a vácuo e sob pressão. No processo de filtração a vácuo ocorre a aplicação de pressão negativa abaixo de meio filtrante, realizada por bombas de vácuo. Os filtros a vácuo são sempre contínuos, entretanto realizam diversas tarefas, ao longo de um ciclo, tais como: formação de torta, secagem, lavagem e descarga da torta (GUIMARÃES, 2011).

A filtração sob pressão, por sua vez, é caracterizada pela aplicação de pressão positiva na polpa e por possuir um ciclo descontínuo, ou seja, a sua operação é conduzida em batelada (VALADÃO, 2008). Dentre uma das principais vantagens da filtração sob pressão, destaca-se a produção de tortas com menor taxa de umidade, em comparação com outras tecnologias de filtração (GUIMARÃES, 2011).

A filtração pode ser empregada em rejeitos, visando a disposição destes materiais em pilhas. Assim, para a filtração de rejeitos é possível utilizar diversos tipos de filtros (filtro horizontal de correia, filtro de disco convencional, filtro prensa horizontal etc.) visando a obtenção de tortas com umidade entre 6% e 12% para posterior disposição do rejeito em pilhas.

2.4. Disposição de rejeitos

A disposição de rejeitos provenientes do beneficiamento de minério pode ser feita direta e indiretamente. Na primeira estratégia ocorre o lançamento de rejeitos diretamente em ambientes aquáticos, podendo ser realizada através de dois métodos diferentes, a disposição ribeirinha de rejeitos e a disposição submarina de rejeitos (ADIANSYAH *et al.*, 2015).

A disposição ribeirinha de rejeitos (RTD) consiste na descarga direta desses resíduos em rios. É considerada em circunstâncias em que há, entre outros fatores, topografia acidentada, alta pluviosidade, atividade sísmica e elevados níveis de água subterrânea (FRANKS *et al.*, 2011). Embora apresente baixos custos iniciais, a aplicação deste método acarretou impactos ambientais irreversíveis em todo mundo. Por esta razão a RTD é relativamente incomum,

contudo, ainda é praticada em partes da Indonésia e Papua Nova Guiné (ADIANSYAH *et al.*, 2015; RUSDINAR *et al.*, 2013).

A mina Ok Tedi em Papua Nova Guiné, uma das maiores minas de ouro e cobre do mundo, é um exemplo de mina onde o descarte ribeirinho ainda é praticado (MMSD, 2002). De acordo com a Ok Tedi Mining Limited (2021), desde 1986 os rejeitos são descartados em dois sistemas tributários do rio Ok Tedi, o rio Sulphide Creek e rio Harvey Creek. O descarte de rejeitos na mina de Ok Tedi pode ser observado na Figura 5.



Figura 5: Disposição ribeirinha de rejeitos na mina de Ok Tedi na Papua Nova Guiné.

Fonte: Gilberthorpe (2013).

Outro método de disposição direta de rejeitos é o lançamento de rejeitos em ambiente marinho. Essa prática tem sido empregada como uma maneira adicional de disposição de resíduos de mineração. Em suma, existem três tipos distintos de descarte de rejeitos no mar, a disposição costeira em águas rasas (CTD), disposição submarina (STD) e disposição em alto mar (DSTP). A disposição costeira em águas rasas trata-se do descarte de rejeitos próximo à superfície da água em regiões costeiras na zona eufótica. Normalmente é adotada em países costeiros em minerações onde o rejeito apresenta caráter inerte (RAMIREZ-LLODRA *et al.*, 2015).

A disposição submarina de rejeitos é realizada através de dutos subaquáticos em profundidade relativamente rasa (menor que 100 metros), mas submersa na zona eufótica. O lançamento promove um fluxo de gravidade que deposita o rejeito no fundo mar em áreas mais profundas abaixo da zona eufótica (RAMIREZ-LLODRA *et al.*, 2015). Essa prática ainda é empregada em bacias de fiordes na Noruega (DAVIES; NEPSTAD, 2017). A disposição em alto mar

consiste no lançamento de rejeitos em águas relativamente profundas (maior que 100 metros) por meio de dutos submersos abaixo da zona eufótica, na borda de um declive. Os rejeitos criam um fluxo de gravidade que deposita o material no fundo do mar abaixo de 1.000 metros de profundidade (RAMIREZ-LLODRA *et al.*, 2015). A Figura 6 ilustra a esquematização dos três métodos de disposição marinha.

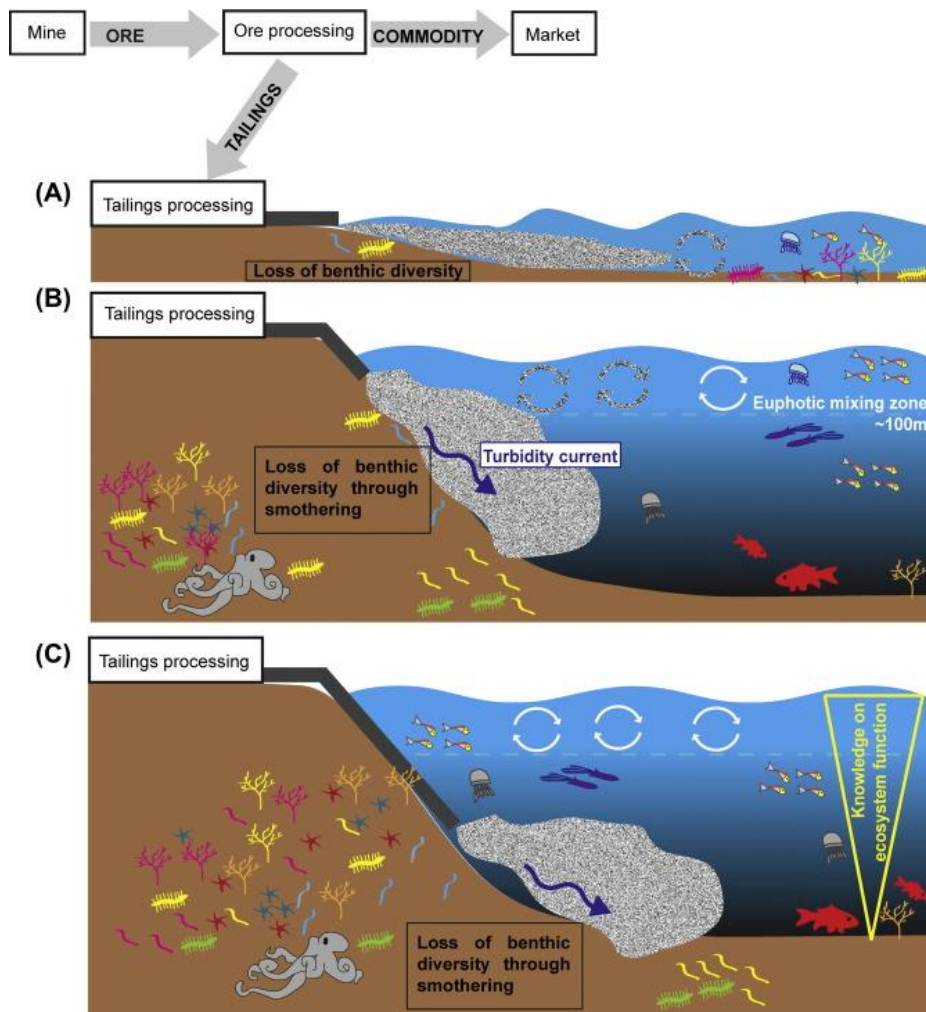


Figura 6: Esquematização dos métodos de disposição marinha de rejeitos de mineração. (A) Disposição costeira em águas rasas de rejeito; (B) Disposição submarina de rejeitos e (C) Disposição em alto mar de rejeitos.

Fonte: Ramirez-Llodra *et al.* (2015).

A disposição marinha de rejeitos possui manutenção mínima, estabilidade geoquímica e geotécnica, além de outra série de vantagens para o desenvolvimento de resíduos. É suportada do ponto de vista técnico, entretanto, a prática é complexa, principalmente do ponto de vista ambiental, visto que os rejeitos podem ocasionar problemas para o ecossistema aquático (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021).

A segunda estratégia de descarte de rejeitos é a disposição indireta. Nessa estratégia, os rejeitos são destinados a um reservatório, célula ou barragem (ADIANSYAH *et al.*, 2015). As barragens

são o método mais utilizado para a disposição de rejeitos de mineração (BASCETIN A. *et al.*, 2016). Não existe um inventário global acessível e preciso com informações acerca de barragens de rejeito, entretanto alguns estudos estimam que o número de minas no mundo seja da ordem de 18.000 (AZAM; LI, 2010), ou 30.000, de acordo com fonte mais recente (ROCHE; THYGESEN; BAKER, 2017). Exemplificando, a Figura 7 ilustra a barragem Eustáquio da Kinross Brasil Mineração S/A, mineradora de ouro no município de Paracatu/MG. A barragem em questão tem capacidade de 750 milhões de metros cúbicos.



Figura 7: Barragem Eustáquio. Barragem de rejeitos oriundos do beneficiamento de minério de ouro no município de Paracatu/MG.

Fonte: Inácio (2020).

Entretanto, as barragens de rejeitos, em geral, ocupam grandes áreas com considerável impacto visual ao longo da sua vida útil (FONTES *et al.*, 2019). Outros impactos ambientais inerentes a estas estruturas incluem desmatamento na fase de construção (AKIWUMI; BUTLER, 2008; SILVA *et al.*, 2021), poluição das águas superficiais e subterrânea durante a operação e após o fechamento do empreendimento mineiro (KRUPSKAYA; GOLUBEV; YU FILATOVA, 2019), geração de poeira de rejeitos (BLIGHT, 2008; OJELEDE; ANNEGARN; KNEEN, 2012), graves danos ambientais (BUCH *et al.*, 2021) e riscos humanos em caso de ruptura (ROTTA *et al.*, 2020).

Uma opção para assegurar o gerenciamento seguro de rejeitos é a disposição seca. O empilhamento de rejeitos está sendo aplicado em cenários com área e recursos hídricos limitados e quando as condições topográficas e geotécnicas da região contra indicam barragens ou reservatórios convencionais (GOMES; DE TOMI; ASSIS, 2016). Embora estudos tenham

demonstrado a viabilidade técnica da filtragem de rejeitos, a implantação desta técnica requer alto custo de aquisição e operação.

2.5. Impactos ambientais

Durante o desenvolvimento industrial do Brasil, uma quantidade enorme de resíduos se acumulou nos lixões industriais do país, gerando graves danos ao meio ambiente e estão causando cada vez mais desastres ambientais com muitas vítimas e consideráveis danos também econômicos (MYMRIN *et al.*, 2021).

No setor da mineração, o que ocorre no Brasil e em diversas regiões do mundo são extrações por meio das minas a céu aberto. Nesse processo, ocorre todo o desmatamento da região a ser lavrada e a retirada de todo o solo fértil. Para um solo com baixo teor de minério, é denominado material “estéril” pelas mineradoras, que normalmente é acumulado em grandes pilhas (MILANEZ, 2017).

Mesmo com uma regulamentação ambiental vigente há décadas, o setor da mineração muitas vezes resulta em impactos ambientais adversos, sobretudo, no hemisfério sul do planeta (CARVALHO, 2017; MALLETT *et al.*, 2021), ainda mais há uma diminuição na qualidade de alguns minerais e metais, o que acarreta em um maior volume de resíduos (MUDD; JOWITT, 2018).

A reutilização de resíduos industriais como matéria-prima provoca uma redução significativa nas matérias-primas tradicionais e no consumo de energia. Além disso, o desenvolvimento de compósitos com funções semelhantes às dos materiais tradicionais é mais atraente do ponto de vista ambiental e econômico (MYMRIN *et al.*, 2021).

2.6. Reaproveitamento de rejeito de minério de ferro na construção civil

Como já mencionado, os graves acidentes e desastres de vazão de resíduos são frequentemente causados pelo rompimento das barragens de rejeito e também durante as inundações, o que causa perdas econômicas e danos ambientais. Portanto, desenvolver alternativas para a destinação dos rejeitos de minério de ferro de forma adequada é crucial (ZHANG *et al.*, 2020).

A construção civil é tida como uma receptora de resíduos por proporcionar maneiras de reciclar e reutilizar esses materiais de forma a produzir produtos mais sustentáveis. Isso, também

pouparia espaço de aterros sanitários e uma redução na extração de matérias-primas naturais, importantes vantagens apontadas para o reaproveitamento dos rejeitos (ISMAIL; AL-HASHMI, 2008; ZHAO; FAN; SUN, 2014).

Diversas pesquisas têm estudado o uso de rejeitos de minério de ferro nos diversos setores da construção civil, como na pavimentação (APAZA *et al.*, 2021; MYMRIN *et al.*, 2021), na utilização em cerâmicas (DA SILVA *et al.*, 2014; DAS *et al.*, 2012) materiais cimentícios (BEIXING *et al.*, 2014; LUO *et al.*, 2016) tijolos (LUO *et al.*, 2020; MENDES *et al.*, 2019) e concreto (MENDES PROTASIO *et al.*, 2021; SHETTIMA *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2020).

Na pavimentação, as pesquisas têm obtido misturas asfálticas que atendem às exigências dos órgãos regulamentadores como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da *International Slurry Surfacing Association* (ISSA), na utilização de misturas contendo rejeito de minério de ferro como material de enchimento alternativo (fíler) (APAZA *et al.*, 2021; SILVA, 2010) e também agregado calcinado contendo resíduos de minério de ferro em camadas de pavimentos (FRIBER, 2015) mostrando que o uso potencial de resíduos de minério de ferro diminui o consumo de recursos naturais e converte essas misturas asfálticas em boas alternativas em termos ambientais.

Em estruturas de concreto, o rejeito mineral é utilizado como material substituinte dos agregados miúdos (ISMAIL; AL-HASHMI, 2008; SHETTIMA *et al.*, 2016) mostrando que essas misturas de concreto apresentaram maiores resistências à compressão e à flexão do que as misturas de concreto convencional. Devido às características químicas e minerais dos rejeitos de minério, muitas tentativas têm sido feitas para utilizar esses materiais para a produção de materiais cimentícios, como clínquer de cimento Portland e cimento composto de geopolímero (WEN-YONG *et al.*, 2010; ZHANG; TANG; LIU, 2021), como também a base de escória (BEIXING *et al.*, 2014).

Em telhas e tijolos, esses rejeitos são precursores de geopolimerização e agregados, e têm demonstrado potencial como pigmento devido às suas composições químicas, podendo levar a produtos de cor homogênea. Por conter pigmentos inorgânicos, compostos por óxidos, principalmente óxidos de ferro, fornecem matéria-prima para a produção de pigmentos vermelhos, amarelos, pretos e marrons não afetando as propriedades físicas, como resistência mecânica ou porosidade (FONTES *et al.*, 2018; GALVÃO *et al.*, 2018; HOSPODAROVA; JUNAK; STEVULOVA, 2015). Dentre as pesquisas publicadas que analisaram o incremento

de rejeito de minério de ferro em tijolos, Yisa *et al.* (2016) estudou variados tipos de rejeitos na confecção de tijolos lateríticos e posteriormente foram submetidos à ensaio de resistência à compressão aos 7 e 21 dias. Os resultados mostraram que a mistura contendo rejeito de minério apresenta um valor maior de força do que um convencional.

3. METODOLOGIA

De forma a atingir o objetivo proposto, fez-se um levantamento bibliográfica acerca da atividade mineral, das técnicas possíveis e/ou em uso para eliminação de fluidos dos rejeitos de ferro. Os termos de busca escolhidos foram: “desaguamento de rejeitos”, “impactos ambientais”, “mitigação de impactos”, aproveitamento de rejeitos de minério de ferro” e “construção civil”.

O estudo contou inicialmente com uma pesquisa bibliográfica, usando plataformas como Engineering VillageTM, Google Scholar, SciELO, Portal Periódico da CAPES, ERIC e BDTD. Desta forma, foi implementada uma abordagem para a pesquisa, onde, inicialmente foi feito um levantamento do estudo de tratamento de minérios, bem como os principais impactos gerados com a disposição de rejeitos de minério de ferro.

Os critérios de inclusão tiveram como objetivo buscar títulos e resumos pertinentes ao assunto, usando documentos datados de 2015 a 2021. Logo após selecionado o material, foi feita uma leitura analítica e crítica de toda a literatura, destacando as partes importantes e estas sintetizadas e parafraseadas. Por fim, definiu-se tópicos a serem abordados, a organização e a conexão entre as ideias, além da melhor forma de apresentação dos dados.

De forma a complementar o trabalho, foram feitas entrevistas com profissionais da área que atuam diretamente na atividade mineral em duas grandes companhias do país. Fez-se um levantamento sobre cada empresa, a fim de conhecer toda a história, gestão ambiental, caracterização do material produzido, reaproveitamento e disposição do rejeito. Outras informações também foram obtidas e discutidas no tópico seguinte.

4. ESTUDO DE CASO

Foram realizadas duas entrevistas com profissionais de duas grandes companhias brasileiras. A primeira é a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) que ocupa a 2^a posição entre as principais

empresas mineradoras instaladas no QF em Minas Gerais. A segunda é a Usiminas, que ocupa a 6ª posição do mesmo ranking (ANM, 2018).

4.1. Companhia Siderúrgica Nacional (CSN)

4.1.1. Sobre a empresa

A Companhia Siderúrgica Nacional foi fundada em 1941, mas só começou a operar em 1946, sendo importante para a industrialização brasileira. Inicialmente pertencia ao Estado, mas passou pelo processo de privatização sob a égide neoliberal, sendo controlada pelo Grupo Vicunha. A CSN é considerada um dos mais eficientes complexos siderúrgicos integrados do mundo. Suas instalações estão em 18 estados brasileiros e também em dois outros países – Alemanha e Portugal. Tem atuações em diferentes setores comerciais: siderurgia, mineração, logística, cimento e energia. Atualmente, entre seus ativos, a empresa conta com uma usina siderúrgica integrada; cinco unidades industriais, sendo duas delas no exterior; minas de minério de ferro, calcário, dolomita e estanho; uma forte distribuidora de aços planos; terminais portuários; participações em ferrovias; e participação em duas usinas hidrelétricas. A multinacional conta com mais de 20 mil colaboradores (CSN, 2021).

A CSN foi a primeira produtora integrada de aço plano no Brasil. Seu aço viabilizou a implantação das primeiras indústrias nacionais, núcleo do atual parque fabril brasileiro. Privatizada em 1993, a Companhia vem, desde então, modernizando-se e diversificando sua atuação. A CSN tem uma visão de sustentabilidade que aumenta a eficiência dos processos industriais e estabelece ganhos com a economia circular, trazendo benefícios para todos os envolvidos nessa cadeia de geração de valor (CSN, 2021).

4.1.2. Gestão Ambiental

Hoje, as instalações da CSN nos mais diversos setores em que atua estão sujeitas a diversas leis, regulamentos e licenças no Brasil, relativos principalmente à proteção e integridade da saúde, da segurança e do meio ambiente (CSN, 2021).

A legislação brasileira de prevenção, mitigação e remediação de impactos socioambientais continua a mudar. Isso inclui novos parâmetros de lançamento de efluentes líquidos e emissões atmosféricas, regras para preservação da fauna e da flora, novos regulamentos de gestão hídrica e de resíduos sólidos, novas restrições por parte dos órgãos ambientais quanto às ampliações e

expansão do negócio, bem como aumento das exigências de preservação de florestas nativas e criação de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) como compensação ambiental pelos projetos de expansão industrial e de mineração (CSN, 2021).

A empresa vem desenvolvendo projetos para a disposição adequada dos seus resíduos, na busca por informações básicas sobre as características físicas e químicas dos resíduos e os prováveis riscos de contaminação de solos e águas subterrâneas. Dessa forma, atua com a proteção ao meio ambiente, prevenção de poluição e acidentes buscando influenciar toda a sua cadeia produtiva. De forma prática, desenvolve e incentiva programas de proteção do meio ambiente e prevenção à poluição, fomentando a economia circular por meio do uso sustentável e consciente dos recursos naturais, da preservação da biodiversidade (CSN, 2021).

4.1.3. Entrevista com profissionais da empresa

De acordo com G.S., profissional entrevistado da companhia, o minério de ferro produzido possui um teor de corte de 47%. Entre os métodos de concentração empregados no processo de beneficiamento estão a concentração magnética e flotação, para que o produto alcance as especificações desejadas.

Quanto à polpa de rejeito, a porcentagem de sólidos varia de 10 a 20%. Todo o rejeito produzido é disposto em pilhas. Mas na unidade em que o colaborador trabalha, não há estudos/projetos de reaproveitamento de rejeitos. O entrevistado explica que a maior dificuldade encontrada hoje em dia pelas empresas na implantação de projetos que visam o reaproveitamento de rejeito é o aproveitamento em larga escala do produto derivado do rejeito gerado. E complementa, que isso ainda é um desafio enorme, e que o método mais viável para destinação do rejeito filtrado, é realizando um empilhamento à seco.

Outro profissional contatado foi J.B., assistente técnico que atua diretamente na área também de exploração de minério de ferro, com extração principalmente de hematita e itabirito. A unidade possui um teor de corte de 60%, superior à outra unidade. Além dos dois processos citados pelo outro entrevistado, também há a concentração gravítica para o beneficiamento na empresa. A porcentagem de sólidos supera os 30% e também são dispostos em formato de pilha. A filtragem de rejeito é o método utilizado na separação sólido-líquido. A unidade conta com um reaproveitamento de 75% da água utilizada nas atividades. Não há ainda projetos e estudos para o reaproveitamento desses resíduos e aponta que a viabilidade econômica é a maior dificuldade encontrada na implantação desses projetos. O assistente técnico completa que esses

estudos são de suma importância para evitar desperdícios e pela limitação de áreas de disposição.

4.2. Usiminas Mineração

4.2.1. Sobre a empresa

A estatal Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A (Usiminas), foi fundada em abril de 1956, na cidade mineira de Ipatinga, tendo como cenário o Plano de Desenvolvimento do governo JK. Ao longo dos anos foi recebendo investimentos do exterior, principalmente do Japão. Nos anos 70, a companhia teve marcante participação no fornecimento de materiais e insumos para importantes setores que cresciam na época como o automobilístico, o setor naval e construção civil. Com isso, buscou ampliar, desenvolver e expandir a sua capacidade produtiva. No entanto, a crise da década de 1980 afetou a empresa, obrigando-a a adotar um plano de economia interna por meio do controle de seus investimentos (OLIVEIRA, 2019).

O mesmo autor ainda destaca que a Usiminas também faz parte da *joint-venture* UNIGAL em conjunto com a empresa japonesa *Nippon Steel Corporation*, controlando 60% de seu capital. Essa parceria fez com a companhia brasileira tivesse acesso à tecnologia de ponta, tornando possível a produção de aços de alto valor agregado destinados à indústria automobilística, sobretudo na década de 80 e 90. Já para a empresa asiática, a parceria significou a venda de tecnologia e a oportunidade de atender as montadoras de origem japonesa localizadas no Brasil.

A partir dos anos 2000, a estratégia da empresa foi formar alianças estratégicas e parcerias com outras empresas brasileiras como a Codeme e Metform, a fim de expandir sua capacidade produtiva e se modernizar, tendo como motivação a aproximação com o setor de construção civil. Assim como a CSN, passou a atuar em outros segmentos como o de mineração e logística por meio da parceria com a *Sumimoto Corporation* do Japão, de forma a se obter a sua própria matéria-prima (OLIVEIRA, 2019).

4.2.2. Entrevista com profissionais da empresa

Para coletar informações e dados importantes sobre a Usiminas, entrevistou-se M.R., especialista em Mineração de uma unidade da companhia. O minério de ferro também é o principal material explorado, do tipo itabirito friável, com teor de corte em torno de 40%. Concentração magnética, flotação e jigagem são os métodos de concentração empregados no beneficiamento para que o produto alcance as especificações desejadas. A porcentagem de sólidos da polpa de rejeito supera os 30%, sendo depositados também em formato de pilhas. Em sua unidade, o rejeito é filtrado através de um filtro prensa para separação sólido-líquido. Nesse processo de beneficiamento mineral, há o reaproveitamento de 100% da água utilizada. Porém, assim como apontado pelo profissional da CSN, na Usiminas também não há projetos e nem estudos para o reaproveitamento do rejeito gerado. O colaborador acrescenta que uma destinação que consiga absorver todo rejeito gerado é um dos principais desafios encontrados, devido ao alto volume anual gerado pelo setor de minério de ferro. Para ele, é preciso encontrar uma destinação sustentável para os rejeitos gerados pela mineração, pois não é possível conviver mais com as estruturas de armazenamento desses materiais. Conseguir reaproveitar esses materiais é solucionar um grande problema ambiental e mitigar os riscos para sociedade. Logo, qualquer prática de aproveitamento de rejeitos é de suma importância para o setor mineral.

5. DISCUSSÃO

Cada vez mais busca-se uma mineração mais sustentável e com práticas que minimizam os impactos ambientais causados pelo setor, como o desaguamento dos rejeitos minerais. A ampliação do conhecimento, amplas investigações e constantes pesquisas têm encontrado soluções capazes de fazer com que ocorra um maior reaproveitamento dos rejeitos ou destinação adequada, bem como uma destinação mais eficaz para rejeitos espessados, alta concentração (pastas) ou rejeitos filtrados. Além disso, há excelentes projetos tecnológicos com o foco nas operações de recuperação da água industrial utilizada no processo, levando em consideração as características físico-químicas dos rejeitos, para um reuso adequado (DASH et al., 2011; GOMES; DE TOMI; ASSIS, 2016; MAMGHADERI et al., 2021).

Na construção civil, tida como importante receptora na reciclagem de materiais, diversas pesquisas têm estudado o uso de rejeitos de minério de ferro nos seus diversos setores, como na pavimentação (APAZA et al., 2021; MYMRIN et al., 2021), na utilização em cerâmicas

(DA SILVA *et al.*, 2014; DAS *et al.*, 2012) materiais cimentícios (BEIXING *et al.*, 2014; LUO *et al.*, 2016) tijolos (LUO *et al.*, 2020; MENDES *et al.*, 2019) e concreto (MENDES PROTASIO *et al.*, 2021; SHETTIMA *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2020), visto que essa investigação e novas descobertas conduzem para uma mineração mais sustentável.

Pelas entrevistas, observou-se a partir dos relatos dos profissionais que as empresas necessitam de projetos e estudos capazes de encontrar soluções viáveis para o grande volume de rejeito gerado pelas companhias. Assim, com o reaproveitamento em outros setores também reduz a necessidade de encontrar áreas para destinação desse material.

Quanto à destinação em pilhas, Boccamino (2017) desenvolveu uma pesquisa da geometria para empilhamento de rejeitos desaguados de minério de ferro. Realizando uma análise global, pode-se concluir que em especial para uma disposição da parcela de rejeito arenoso, filtrado, estando próxima da umidade ótima de compactação, pode ser empilhada de maneira segura e direta. Sendo, portanto, uma alternativa em potencial para a redução de novas barragens para contenção de rejeitos. Nas análises com lama espessada e ou filtrada também se observou que são materiais que apresentam potencial para ser empilhado, porém pode requerer ações adicionais para garantir a segurança e a eficiência da operação.

No campo da pesquisa, investigação e patente, Carmignano (2021) realizou um mapeamento do sistema de inovação da mineração de ferro em MG. O autor destacou que o número de pedidos de patentes com rejeitos é pequeno: são apenas cinco pedidos identificados, em um universo de 152 patentes. Deve-se ressaltar uma limitação deste levantamento, que foi a não identificação dos objetos dos pedidos de patentes, que se encontram em período de sigilo. E complementa que os dados mostram que as mineradoras e os seus fornecedores perceberam a importância de realizar pesquisa com rejeitos de mineração; este campo tem chamado atenção de inventores, universidades e centros de pesquisa.

No Brasil, existe uma concentração de pedidos de patentes de empresas de mineração. Do grande montante de mineradoras instaladas no país, apenas 11 depositaram patentes, em um período de 15 anos. A Vale S.A. é a líder e maior depositante de pedidos de patentes, com mais de 73% dos pedidos apresentados. Se tratando de patentes que envolvem rejeitos de mineração de minério de ferro, esta empresa também é a principal depositante de pedidos de patentes junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) (CARMIGNANO, 2021).

Ao longo da pesquisa foram realizados contatos com profissionais de outras importantes empresas atuantes na mineração de ferro, no entanto, na grande maioria não obtivemos respostas ao contato e em um caso o profissional preferiu não responder ao ser informado das questões a serem abordadas.

6. CONCLUSÃO

As técnicas de desaguamento se mostram como uma técnica atrativa e mitiga diversos perigos associados à disposição hidráulica, devido ao elevado custo e risco ambiental e social gerado pelos grandes acúmulos de polpas de minérios finos. A incorporação de rejeitos de minério de ferro ainda é algo a ser bastante investigado e necessário. Os últimos acidentes envolvendo o rompimento de barragens de rejeito, chamaram bastante a atenção em buscar alternativas de disposição desse material. Como discutido, o número de pesquisas cresce a cada ano, mas ainda são poucas patentes de produtos que se mostram eficazes no setor, carecendo mais investigações, testes e análises.

Cada vez mais, as tecnologias estão auxiliando na busca por processos e técnicas capazes de tornar o reaproveitamento de rejeitos uma realidade em larga escala no cenário mundial. As pesquisas têm buscado incorporá-lo em diversos produtos e testado seu potencial, sobretudo na Construção Civil.

Do ponto de vista mecânico e estrutural, produtos como tijolos e cerâmicas, produzidos com rejeito mineral têm apresentado resistências satisfatórias, e do ponto de vista ambiental, também têm apresentado propriedades que favorecem utilização em diversas aplicações por serem não inertes e não perigosos.

Como evidenciado nas entrevistas com os profissionais das duas empresas citadas no trabalho, o reaproveitamento de rejeito de minério de ferro demonstra uma viabilidade técnica e ambiental. Porém, é um dos maiores desafios a serem encarados pelo setor, devido ao grande volume de rejeito produzido anualmente. Cabe ao meio científico o papel investigativo e as grandes, médias e pequenas companhias minerais envolvidas, o apoio e suporte necessário para que o reaproveitamento seja uma realidade. Assim, pode-se agregar valor a um material previamente descartado, com alternativas sustentáveis, devolvendo à cadeia produtiva sem causar danos humanos ou ambientais.

BIBLIOGRAFIA

- ADIANSYAH, J. S. et al. A framework for a sustainable approach to mine tailings management: Disposal strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 1050–1062, 2015.
- AKIWUMI, F. A.; BUTLER, D. R. Mining and environmental change in Sierra Leone, West Africa: A remote sensing and hydrogeomorphological study. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 142, n. 1–3, p. 309–318, 2008.
- ANDRADE, W. F. D. E. **Beneficiamento de Minério de Ferro: A importância da caracterização tecnológica na definição de rota de processo**. [s.l: s.n.].
- ANM. **Anuário Mineral Brasileiro - Principais substâncias metálicas** Versão 1, , 2018.
- APAZA, F. R. A. et al. Evaluation of the performance of iron ore waste as potential recycled aggregate for micro-surfacing type cold asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 266, p. 121020, 10 jan. 2021.
- ARAGÃO, G. A. S.; OLIVEIRA FILHO, W. L. DE. Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 2, p. 193–198, 2011.
- AZAM, S.; LI, Q. Tailings dam failures: A review of the last one hundred years. **Geotechnical News**, v. 28, n. 4, p. 50–53, 2010.
- AZAPAGIC, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 6, p. 639–662, 2004.
- BARRETO, M. L. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: desafios para o Brasil**. 3^a ed. [s.l: s.n.].
- BASCETIN A. et al. New Technologies on Mine Process Tailing Disposal. **Journal of Geological Resource and Engineering**, v. 4, n. 2, p. 63–72, 2016.
- BEIXING, L. et al. Iron tailings-slag based cementitious materials prepared by cascade grinding [J]. **Journal of Building Materials**, v. 17, n. 2, p. 206–211, 2014.
- BJELKEVIK, A. Water cover closure design for tailings dams. **Forskningsrapport**, p. 82 + 2 appendices, 2005.
- BLIGHT, G. E. Wind erosion of waste impoundments in arid climates and mitigation of dust pollution. **Waste Management and Research**, v. 26, n. 6, p. 523–533, 2008.
- BOCCAMINO, G. D. **Desenvolvimento de geometria para empilhamento de rejeitos desaguados de minério de ferro - estudo de caso para os rejeitos gerados na ITM-I da Mina do Pico**. [s.l.] Universidade de Ouro Preto, 2017.
- BUCH, A. C. et al. Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. **Journal of Hazardous Materials**, v. 403, n. September 2020, p. 123852, 2021.
- CARMIGNANO, O. R. D. R. **Inovação no setor de mineração de ferro em Minas Gerais**

com foco na destinação de rejeitos. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

CHAVES, A. P. **Teoria e Prática de Tratamento de Minérios.** 2ª ed. São Paulo: Signus, 2004. v. 2

CPRM. **Monitoramento Especial da Bacia do Rio Paraopeba.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/paraopeba/RT_01_2019_PARAOPEBA.pdf%3E>. Acesso em: 8 jan. 2022.

CSN. **CSN - Companhia Siderúrgica Nacional.** Disponível em: <<https://www.csn.com.br/quem-somos/sustentabilidade/gestao-ambiental/>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

DA SILVA, F. L. et al. Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic. **Ceramics International**, v. 40, n. 10, p. 16085–16089, 1 dez. 2014.

DA SILVA SOUZA, T. et al. Cytogenotoxicity of the water and sediment of the Paraopeba River immediately after the iron ore mining dam disaster (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 775, p. 145193, 25 jun. 2021.

DAS, S. K. et al. Iron Ore Tailing: A Waste Material used in Ceramic Tile Compositions as Alternative Source of Raw Materials. **Transactions of the Indian Ceramic Society**, v. 71, n. 1, p. 21–24, 1 jan. 2012.

DASH, M. et al. Studies on the effect of flocculant adsorption on the dewatering of iron ore tailings. **Chemical Engineering Journal**, v. 173, n. 2, p. 318–325, 15 set. 2011.

DAVIES, E. J.; NEPSTAD, R. In situ characterisation of complex suspended particulates surrounding an active submarine tailings placement site in a Norwegian fjord. **Regional Studies in Marine Science**, v. 16, p. 198–207, 2017.

ESPOSITO, T. DE J.; DUARTE, A. P. Risk-factor classification of tailings and industrial waste dams. **REM-REVISTA ESCOLA DE MINAS**, v. 63, n. 2, p. 393–398, 2010.

FERREIRA, D. H. O. **Principais Etapas do Tratamento de Minérios Itabiríticos do Quadrilátero Ferrífero.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

FONTES, W. C. et al. Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 395–412, 2018.

FONTES, W. C. et al. Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to “brown porcelain”. **Construction and Building Materials**, v. 206, p. 111–121, 2019.

FRANKS, D. M. et al. Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. **Resources Policy**, v. 36, n. 2, p. 114–122, 2011.

FRIBER, M. A. **Estudo da viabilidade de utilização do agregado calcinado contendo resíduo de mineração na utilização em camadas de pavimento** Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, , 2015.

GALVÃO, J. L. B. et al. Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 412–422, 1 nov. 2018.

GILBERTHORPE, E. Community development in Ok Tedi, Papua New Guinea: The role of anthropology in the extractive industries. **Community Development Journal**, v. 48, n. 3, p. 466–483, 2013.

GOMES, R. B.; DE TOMI, G.; ASSIS, P. S. Iron ore tailings dry stacking in Pau Branco mine, Brazil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 5, n. 4, p. 339–344, 2016.

GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2011.

HAO, X. et al. The import competition relationship and intensity in the international iron ore trade : From network perspective. v. 57, n. 26, p. 45–54, 2018.

HOSPODAROVA, V.; JUNAK, J.; STEVULOVA, N. Color pigments in concrete and their properties. **Pollack Periodica**, v. 10, n. 3, p. 143–151, 2015.

HUDSON-EDWARDS, K. A. et al. Sources, distribution and storage of heavy metals in the Río Pilcomayo, Bolivia. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 72, n. 3, p. 229–250, 2001.

INÁCIO, B. **Ministério Público instaura inquérito para verificar condições de barragem em Paracatu**. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/cidades/ministério-público-instaura-inquérito-para-verificar-condições-de-barragem-em-paracatu-1.776491>>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ISMAIL, Z. Z.; AL-HASHMI, E. A. Reuse of waste iron as a partial replacement of sand in concrete. **Waste Management**, v. 28, n. 11, p. 2048–2053, 1 nov. 2008.

KOSSOFF, D. et al. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229–245, 1 dez. 2014.

KRUPSKAYA, L. T.; GOLUBEV, D. A.; YU FILATOVA, M. Features of technological water pollution during the development of the tin-ore raw materials in the borders of the tailings dam “dalnegorsky GOK”. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 274, n. 1, 2019.

LI, C. et al. Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings: Part 1. The recovery of iron from iron ore tailings using magnetic separation after magnetizing roasting. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, n. 1–3, p. 71–77, 15 fev. 2010.

LOTTERMOSER, B. G. *Mine wastes: characterization, treatment, environmental impacts*. Berlin. 2007.

LUO, L. et al. Utilization of Iron Ore Tailings as Raw Material for Portland Cement Clinker Production. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2016, p. 1596047, 2016.

LUO, L. et al. Preparation, characteristics and mechanisms of the composite sintered bricks produced from shale, sewage sludge, coal gangue powder and iron ore tailings. **Construction and Building Materials**, v. 232, p. 117250, 30 jan. 2020.

MAMGHADERI, H. et al. Investigation on the effects of chemical pretreatment on the iron ore tailing dewatering. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 625, p. 126855, 20 set. 2021.

MENDES, B. C. et al. Technical and environmental assessment of the incorporation of iron ore tailings in construction clay bricks. **Construction and Building Materials**, v. 227, p. 116669, 10 dez. 2019.

MENDES PROTASIO, F. N. et al. The use of iron ore tailings obtained from the Germano dam in the production of a sustainable concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123929, 1 jan. 2021.

MMSD. **Mining for the Future Appendix H: Ok Tedi Riverine Disposal Case Study**. Mining, Minerals and Sustainable Development, , 2002.

MORAES, S. L. DE; RIBEIRO, T. R. Brazilian iron ore and production of pellets. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, v. 00, n. 00, p. 1–8, 2018.

MYMRIN, V. et al. Physical-chemical processes of sustainable construction materials structure formation with iron ore processing tailings and aluminum anodizing sludge. **Construction and Building Materials**, v. 298, p. 123698, set. 2021.

OJELEDE, M. E.; ANNEGARN, H. J.; KNEEN, M. A. Evaluation of aeolian emissions from gold mine tailings on the Witwatersrand. **Aeolian Research**, v. 3, n. 4, p. 477–486, 2012.

OLIVEIRA, G. C. DE. **O processo de Internacionalização do Setor Siderúrgico Brasileiro: um estudo das empresas CSN, Usiminas e Gerdau**. [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2019.

RAMIREZ-LLODRA, E. et al. Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. **Marine Pollution Bulletin**, v. 97, n. 1–2, p. 13–35, 2015.

RANÄNGEN, H.; LINDMAN, Å. A path towards sustainability for the Nordic mining industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 43–52, 10 maio 2017.

ROCHE, C.; THYGESEN, K.; BAKER, E. **Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident**. **UNEP Rapid Response Assessment**. United Nations Environment Programme. [s.l.: s.n.].

RODRIGUES, C. C. F.; OLIVEIRA, F. J. DE. Separação Sólido Líquido no Beneficiamento de Minério. p. 1–7, 2017.

RODRÍGUEZ, F. et al. Submarine tailings in Chile—a review. **Metals**, v. 11, n. 5, p. 1–17, 2021.

ROTTA, L. H. S. et al. The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 90, n. April, p. 102119, 2020.

RUSDINAR, Y. et al. Long Term Performance of Hydrogeochemical Riverine Mine Tailings Deposition at Freeport Indonesia. **Mine Water and the Environment**, v. 32, n. 1, p. 56–70, 2013.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B. DA. **Tratamento de Minérios**. 5ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

SARSBY, R. W. **Environmental geotechnics**. 1ª ed. London: Thomas Telford, 2000.

SHETTIMA, A. U. et al. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 72–79, 1 set. 2016.

SILVA, A. A. **Reavaliação de Circuito de Flotação Convencional de Minério de Ferro** Euphytica. [s.l: s.n.].

SILVA, R. G. O. DA. Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de ferro. 2010.

SILVA, E. J. D. A.; MAZZINGHY, D. B. Evaluation of compressive strength in geopolymer mortars produced using iron ore tailings ground by tumbling ball mills. p. 1–6, 2021.

SILVA, M. R. C. et al. Case Studies in Construction Materials Valorization of kaolin mining waste from the Amazon region (Brazil) for the low-carbon cement production. **Cases Studies in Construction Materials**, v. 15, n. October, p. 14, 2021.

VALADÃO, G. E. S. Separação Sólido-líquido. **EEUFMG**, p. 80, 2008.

VALE. **Vale S.A. inaugura fábrica que transforma rejeitos da mineração em produtos para a construção civil.** Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-inaugura-fabrica-que-transforma-rejeitos-da-mineracao-em-produtos-para-a-construcao-civil.aspx>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

VALE. **Resíduos.** Disponível em: <<http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/Residuos.aspx>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

WEN-YONG, L. I. U. et al. Experimental research on preparation of cementing materials with iron tailings. **Metal Mine**, v. 39, n. 12, p. 175, 2010.

YISA, G.; AKANBI, D.; AGBONKHESE, O. Effect of Iron Ore Tailing on Compressive Strength of Manufactured Laterite Bricks and Its Reliability Estimate. **Civil and Environmental Research**, v. 8, n. 8, p. 49-58–58, 2016.

ZHANG, N.; TANG, B.; LIU, X. Cementitious activity of iron ore tailing and its utilization in cementitious materials, bricks and concrete. **Construction and Building Materials**, v. 288, p. 123022, 21 jun. 2021.

ZHANG, W. et al. Effects of iron ore tailings on the compressive strength and permeability of ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 260, p. 119917, 10 nov. 2020.

ZHAO, S.; FAN, J.; SUN, W. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 540–548, 15 jan. 2014.