

## **VIABILIDADE DO USO DO REJEITO DE MINÉRIO DE ZINCO COMO ESTABILIZANTE EM COMPONENTES DE TERRA**

### ***FEASIBILITY OF THE USE OF ZINC ORE WASTE AS A STABILIZER IN EARTHEN COMPONENTS***

**MARESTI, Júlia Seffrin, Aluna ICV, Universidade Federal de Minas Gerais**

juseffrin1@gmail.com

**NAVARRO, Anna Carolina, Aluna ICV, Universidade Federal de Minas Gerais**

annacmnavarro@gmail.com

**MENDONÇA, Isabela Karoline, Graduanda, Universidade Federal de Minas Gerais**

isabelakaroline4@gmail.com

**LIMA, Darlan Rodrigues de, Doutorando, Universidade do Minho,**

darlanarq@gmail.com

**BESSA, Sofia Araújo Lima, Professora da Escola de Arquitetura, Universidade  
Federal de Minas Gerais**

sofiabessa@ufmg.br

#### **Resumo**

O Brasil está entre os quinze maiores produtores mundiais de minério de zinco, possuindo uma produção bruta de mais de 2 milhões de toneladas anuais. Apesar das grandes vantagens econômicas provenientes dessa alta produção, elevadas quantidades de rejeito são produzidas durante seu beneficiamento, ocasionando problemas ambientais e socioeconômicos, principalmente no que diz respeito à sua disposição em barragens. Dessa forma, a intenção deste projeto foi analisar a viabilidade da estabilização física de blocos de terra comprimida (BTC), com rejeito de minério de zinco (RMZ) e com a cal, a fim de minimizar sua disposição em barragens. O solo utilizado foi caracterizado por ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade, além de reatividade pelo azul de metileno. Os BTC foram produzidos em prensa hidráulica, estabilizados com 10%, 20% e 30% de RMZ em adição, além de 10% de cal, e foram submetidos, depois do período de cura de 28 dias, a análises de resistência à compressão e absorção de água. A partir dos resultados dos ensaios, pode-se aferir que a estabilização de BTC com RMZ atende aos critérios técnicos estabelecidos pelas normas brasileiras de componentes construtivos similares.

**Palavras-chave:** Estabilização; BTC; Cal; Rejeito de mineração de zinco.

#### ***Abstract***

*Brazil is one of the fifteen largest world producers of zinc ore, having a gross production of over 2 million tons per year. Despite the great economic advantages from this high production, high*

*amounts of waste are produced during its processing, causing environmental and socioeconomic problems, especially regarding its disposal in dams. Because of that, the intention of this project was to analyze the feasibility of physical stabilization of compressed earth blocks (CEB) with zinc ore tailings (ZOT) and lime to minimize their disposal in dams. The soil used was characterized by granulometry, liquidity and plasticity limit tests, and reactivity by methylene blue. Hydraulic press CEB stabilized with 10%, 20%, and 30% ZOT in addition and 10% lime were subjected, after the 28-day cure period, to the analysis of compressive strength and absorption. From the results of the tests, it can be verified that there is technical feasibility to produce ZOT stabilized CEB.*

**Keywords:** *Stabilization; CEB; Lime; Zinc ore.*

## 1. Introdução

O zinco está entre os metais não ferrosos mais consumidos no mundo, sendo o 24º elemento mais abundante na crosta terrestre (VALERIANO et al. 2018). O Brasil, por sua vez, é o décimo segundo maior produtor mundial desse minério, aproximadamente 280 mil toneladas de concentrado por ano (IBRAM, 2012).

A mineração de zinco pode ser encontrada, principalmente, nos estados de Minas Gerais e de Rondônia, e foi responsável por uma arrecadação de mais de 515 milhões de reais em 2019 (ANM, 2020), tendo grande importância econômica para o PIB nacional. No entanto, em seu beneficiamento, milhares de toneladas de rejeito são produzidas anualmente, podendo passar de uma projeção de 1,3 milhões de toneladas em 2010 para 3,4 milhões em 2030 (IPEA, 2012). Essa projeção se torna preocupante visto que a extração do minério gera resíduos que, com frequência, são armazenados em barragens de contenção, construídas especificamente para a retenção de milhares de metros cúbicos de rejeitos e de água.

Essas barragens são responsáveis pelo desmatamento de grandes áreas verdes e pela diminuição da flora e fauna local, além de apresentarem um grande risco de contaminação do solo. A má gestão dos subprodutos da mineração pode causar grandes catástrofes como a ocorrida em Mariana, em 2015, e em Brumadinho, em 2019, ambas no estado de Minas Gerais. As falhas ocorrem, muitas vezes, devido ao uso de métodos menos seguros e mais propensos a acidentes, de supervisão precária e/ou negligência ou por falta de monitoramento constantes, inclusive após a desativação das barragens (SABBO, ASSIS, BERTERQUINI, 2017).

Sendo assim, é de suma importância que os rejeitos possam ser reaproveitados a fim de minimizar seus impactos ambientais e gerar maior sustentabilidade no processo produtivo. A utilização do rejeito de minério, associado a materiais que causam menor impacto ambiental, é uma solução que prioriza a racionalização e o uso sustentável dos recursos naturais, além de garantir um manejo adequado dos resíduos. O rejeito de minério de ferro ainda é o mais utilizado, visto que o ferro é o minério mais extraído no Brasil, o que torna o país o segundo maior produtor de minério de ferro e com o maior investimento no setor mineral (USGS, 2020; IBRAM, 2012; IBRAM, 2020).

De modo geral, muitos pesquisadores têm buscado analisar a aplicação dos rejeitos de minério na cadeia produtiva das atividades de construção civil (NOCITI, 2011; BASTOS, 2013; FRANCO et al., 2014; GUERRA, 2014; MENDONÇA et al, 2019; PINTO, 2019) e, para tanto, a adição de rejeitos em blocos de terra comprimida (BTC) se apresenta como uma possibilidade.

O zinco metálico é empregado, principalmente, como proteção do aço contra corrosão, prolongando a vida do aço em até cinco vezes, de forma mais eficiente e com bom custo-benefício (ICZ, 2021). Por essa razão, buscou-se a utilização do rejeito de minério de zinco como forma de avaliar se este apresentaria a característica de proteção para o BTCs.

Os BTCs podem ser considerados ambientalmente corretos e possuem baixa energia incorporada, pois não necessitam de queima para obter resistência satisfatória para uso como vedação, além de não necessitarem de que a matéria-prima percorra grandes

distâncias, pois podem ser produzidos localmente. Além disso, a construção com terra possui baixa emissão de dióxido de carbono e garante um bom controle da umidade das edificações por ser um material poroso.

A terra é também um material de fácil acesso e por isso sua utilização na construção civil permite baixos investimentos financeiros, além de, no caso do BTC, não necessitar de mão de obra especializada. A escolha pela cal também se deu por ser uma alternativa mais econômica e ambientalmente amigável, visto que sua extração demanda um menor valor energético e impacto ambiental do que o cimento, além de já ser um produto já utilizado por outros autores como estabilizante de solos (AZEVEDO, 2010; GUTIERREZ et al., 2014; FRANÇA et al., 2018).

Ainda assim, se faz necessária a análise dos rejeitos ora empregados em relação ao seu potencial de contaminação do meio ambiente. As operações de extração e de beneficiamento dos minérios podem extravasar contaminantes e atingirem a topografia, a flora, a fauna, além dos sistemas hídrico e morfofisiológico do solo (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006).

Sendo assim, esse estudo busca avaliar a viabilidade da produção de blocos de terra comprimida (BTC) com rejeito de mineração de zinco (RMZ) a fim de apresentar uma nova possibilidade construtiva que una sustentabilidade e economia através de materiais e processos ambientalmente amigáveis e de fácil acesso, a fim de tornar a construção civil mais acessível e com menor impacto.

## 2. Materiais e métodos

A pesquisa foi dividida em três etapas, sendo: i) a coleta e a caracterização dos materiais; ii) a produção de blocos de terra comprimida (BTC) com utilização de rejeito de mineração de zinco (RMZ) e iii) a avaliação do desempenho técnico dos blocos por análise mecânica e de absorção.

### 2.1. Caracterização dos materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizada terra proveniente da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH); a cal foi adquirida em estabelecimentos comerciais da RMBH e as amostras de RMZ, do tipo fração fina, foram cedidas por uma mineradora da RMBH.

Para a realização dos ensaios de granulometria, as amostras de rejeito foram secas em estufa, em temperatura a 100 °C, até a constância de massa. A determinação da distribuição granulométrica foi realizada por granulômetro a laser Cilas 1090 Laser Particle Size Analyzer. Duas amostras do rejeito foram caracterizadas e pode-se observar que o tamanho médio da partícula do rejeito apresentou valores entre 22 e 48 µm.

Pela mineralogia da amostra de RMZ, foi possível determinar que o rejeito de zinco é composto principalmente do mineral de carbonato de cálcio e magnésio, a dolomita (93%). A amostra analisada não apresentou banda amorfa, o que pode ser um indício de que o rejeito é composto por material predominantemente cristalino.

O RMZ também foi submetido a análises de lixiviação e de solubilização (NBR 10004, 10005, 10006). Tais dados apresentaram-se de grande relevância em relação aos cuidados específicos no pós-tratamento desse rejeito e mesmo na avaliação do encapsulamento desse rejeito pela matriz cimentícia. As amostras foram classificadas com Classe II-A (não perigosa e não inerte) por conter dois elementos que estão acima do limite permitido, pela normalização vigente, no ensaio de solubilização: fenóis totais e ferro. Não foi observada a presença de metais pesados em quantidades acima do limite permitido pela normalização brasileira.

O solo foi extraído manualmente a partir de 50 cm de profundidade, para descartar a presença de material orgânico. Posteriormente, as amostras de solo foram secas em estufa ( $100 \pm 5$  °C). A composição química do solo foi determinada pelo espectrômetro de fluorescência de raios X, marca *Shimadzu*, por pastilhas prensadas. A mineralogia da amostra foi determinada por meio da técnica de difração de raios x, realizada com equipamento *Shimadzu*, modelo XRD-7000.

Identificou-se o intervalo plástico do solo por meio da determinação dos limites de liquidez, por meio da NBR 6457 (1986) e NBR 6459 (1984), e de plasticidade por meio da NBR 7180 (1988) e NBR 6457 (1986) do material. A caracterização granulométrica foi realizada para os dois materiais (solo e RMZ) segundo as indicações da NBR NM 248 (2003).

O solo também foi submetido ao ensaio de reatividade pelo azul de metileno, seguindo a Norma Portuguesa NP EN 933-9 (2000). Este ensaio tem por objetivo analisar a atividade dos solos argilosos e como complemento dos valores obtidos no ensaio dos limites de Atterberg (limite de plasticidade e limite de liquidez). Os elementos não argilosos do solo, praticamente, não participam no fenômeno de adsorção, interessando apenas a fração argilosa do solo na determinação de VBS, que é a quantidade (g) necessária de corante para recobrir com uma camada monomolecular, as superfícies externa e interna de todas as partículas argilosas presentes em 100 g de solo numa solução aquosa. A medição é feita por dosagem, procedendo a adições sucessivas de azul de metileno até que as partículas argilosas fiquem saturadas. O VBS consiste, então, numa avaliação global da fração argilosa ( $< 2 \mu\text{m}$ ), conforme a equação (VELHO, et al., 2003):

$$\text{VBS} = N / P_s \text{ (g/100 g); SE} = 20,93 \text{ VBS (m}^2\text{/g)}$$

Na qual,

VBS = volume de azul de metileno adsorvido por 100 g de solo em solução aquosa;

N = volume de azul adicionado no ensaio ( $\text{cm}^3$ );

P<sub>s</sub> = peso do material seco utilizado no ensaio (g).

## 2.2. Produção dos BTC

Na segunda fase do estudo, foram propostas quatro diferentes proporções de materiais para a produção dos blocos, com e sem RMZ, e com adição de cal. Foram definidos diferentes traços com diferentes dosagens de rejeito de minério de zinco para que fosse possível analisar sua viabilidade como estabilizante. A cal foi mantida com valores fixos correspondente a 10% em adição à mistura, conforme pode ser observado na Tabela 1.

<b>Materiais</b>	<b>BTC-0</b>	<b>BTC-10</b>	<b>BTC-20</b>	<b>BTC-30</b>
Solo	100%	90%	80%	70%
RMZ	0%	10%	20%	30%
Cal	0%	10%	10%	10%

**Tabela 1: Proporção dos materiais usados nos BTCs.** Fonte: elaborado pelos autores.

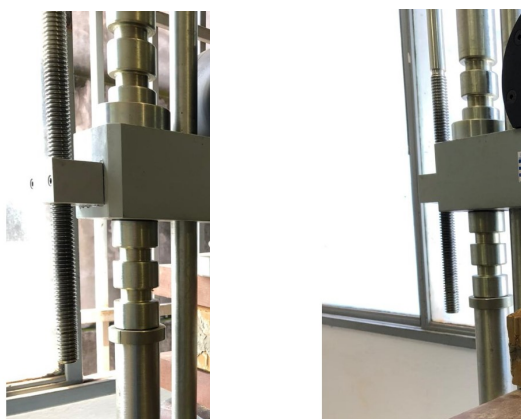
Os materiais foram pesados em balança com resolução de 10g e, com o intuito de se obter uma composição homogênea, foram misturados em uma argamassadeira industrial com capacidade para 60 L. A água foi adicionada até a consistência ideal para moldagem dos BTC, tendo sido definida a quantidade a partir de pequenas adições de água e análise da textura com o teste da bola.

Após ser homogeneizada a mistura foi colocada em uma prensa hidráulica PH4C 40x40T, da Hidral-Mac, para produção dos BTC, seguindo as recomendações da NBR 10833 (ABNT, 2012). Foram produzidos nove blocos para cada traço, sendo seis destinados ao ensaio de resistência à compressão (NBR 10836, 1994) e três para os ensaios de absorção (NBR 10836, 1994), totalizando, assim, 36 espécimes

Para o ensaio de absorção (Figura 1), foram moldados três blocos para cada traço. Após 28 dias de cura em ambiente de laboratório, os BTCs tiveram as suas massas secas (massa inicial) aferidas e foram imersos em água por 72 h. Para o ensaio de resistência à compressão (Figura 2), foram moldados seis blocos e produzidos três (mini) prismas para cada traço, de acordo com a NBR 10836 (ABNT, 1994).



**Figura 1: Ensaio de absorção.** Fonte: arquivo dos autores.



**Figura 2: Ensaio de resistência a compressão.** Fonte: arquivo dos autores.

Os blocos foram sobrepostos de dois em dois e unidos por pasta de cimento. A área de contato com o equipamento foi mantida, com a inserção de placas grossas de madeira, a fim de preservar as definições da norma.

### 3. Resultados e discussões

Pelo ensaio de caracterização do solo, pode-se obter os valores apresentados na Tabela 2. Os ensaios de caracterização do solo dizem respeito à transição de estados físicos de acordo com o percentual de umidade. Dessa forma, o solo estudado torna-se plástico a partir do acréscimo de 20,38% de água, em relação à massa seca total, e líquido a partir de 46,00%.

Embora o índice de plasticidade obtido esteja 7% acima do indicado pela NBR 10833 (ABNT, 2012) para a fabricação de blocos, o material foi corrigido posteriormente com o RMZ, sem prejuízo para o processo de moldagem dos BTC com a composição solo-RMZ proposto, inclusive melhorando algumas propriedades.

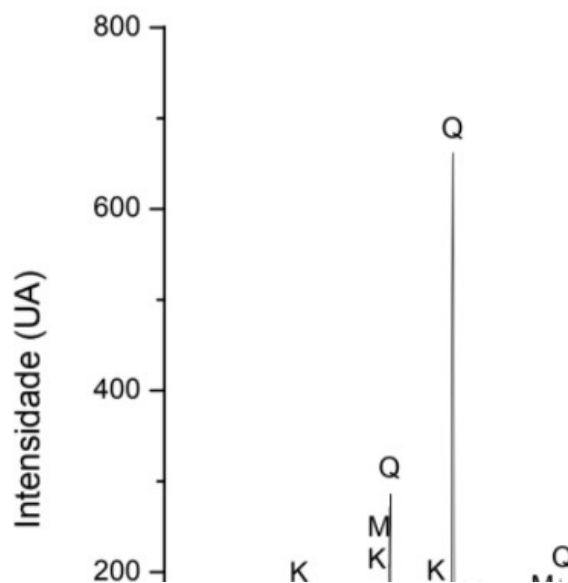


Figura 3: Solo - Difratograma. Fonte: arquivo dos autores.

Parâmetros	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
Solo	46,00%	20,38%	25,62%
NBR 10833	≤ 45%	-	≤ 18%

Tabela 2: Resultado do ensaio de caracterização do solo. Fonte: elaborado pelos autores

O valor de VBS, obtido no ensaio de reatividade do solo pelo azul de metileno, ficou em 1,57 g/ 100 g. Por esse valor pode-se aferir que se trata de um solo com tendência

arenosa e com argilas de baixa reatividade, como a montmorilonita (VELHO, et al., 2003), o que reforça a necessidade de estabilização.

Em relação aos resultados do ensaio de resistência à compressão, aos 28 dias, a partir dos resultados obtidos na Tabela 3, pode-se observar que o bloco com 10% de adição de cal e 20% de RMZ apresentou o maior valor resultado no ensaio de resistência à compressão e ficou acima do que a amostra de referência, o que mostra que a incorporação do RMZ foi satisfatória. O BTC com 30% de RMZ também obteve uma média maior que o valor encontrado para os blocos de vedação, em geral.

É importante ressaltar que não há norma brasileira específica para BTC. Quando esses componentes são estabilizados com o cimento, pode-se utilizar os parâmetros das normas de solo-cimento. No caso desta pesquisa, não seria equivalente, pois os BTC foram estabilizados com a cal. Portanto, os resultados foram comparados com as normas para blocos e tijolos cerâmicos (NBR 15270, 2017), blocos de solo-cimento (NBR 10833, 2012) e o adobe (NBR 16814, 2020), uma vez que são os componentes de vedação normatizados no Brasil.

De acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2017) a resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação deve atender aos valores mínimos de 1,50 MPa e o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. Para os tijolos maciços e os blocos vazados de solo-cimento, a resistência à compressão individual deve ser  $\geq 1,7$  MPa e os valores de absorção de água individuais não devem ser superiores à 22% (NBR 8491, 1984; NBR 1834, 1994). A resistência à compressão individual do adobe deve ser  $\geq 1,50$  MPa, cujo valor é definido pela NBR 16814 (ABNT, 2020).

<b>Grupo</b>	<b>Média (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
<b>10 cal - 0% RMZ</b>	1,09	0,16	14,98
<b>10 cal - 10% RMZ</b>	1,45	0,30	20,39
<b>10 cal - 20% RMZ</b>	1,91	0,39	20,48
<b>10 cal - 30% RMZ</b>	1,61	0,18	11,32

**Tabela 3: Resultados do ensaio de resistência à compressão.** Fonte: elaborado pelos autores.

Os resultados do ensaio de absorção de água são apresentados na Tabela 4. Pode-se notar que, à semelhança do ensaio anterior, a adição de 20% ou 30% de RMZ foi satisfatória para reduzir os valores de absorção em oito pontos percentuais. Esses valores também se enquadram nos parâmetros estabelecidos pela NBR 15270 (ABNT, 2017) que define a absorção ideal dos blocos cerâmicos, entre 8% e 22%. O que se pode observar é que o RMZ, devido às suas partículas finas, deve atuar preenchendo os espaços vazios e criando uma melhor compactação entre as partículas do bloco, favorecendo, assim, a sua resistência mecânica.



Grupo	Média (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
10 cal - 0% RMZ	28,10	0,92	3,27
10 cal - 10% RMZ	25,31	0,53	2,11
10 cal - 20% RMZ	20,00	0,50	2,50
10 cal - 30% RMZ	20,43	1,86	9,12

**Tabela 4: Resultados do ensaio de absorção.** Fonte: elaborado pelos autores.

De forma preliminar, pode-se afirmar que os BTC produzidos com 10% de adição de cal e com 20% ou 30% de RMZ, poderiam ser utilizados, em relação à viabilidade técnica, como elemento de vedação para alvenarias.

#### 4. Considerações finais

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os BTC produzidos com até 30% de RMZ e estabilizados com a cal, poderiam ser utilizados, de acordo com critérios mecânicos, como elementos de vedação.

Além disso, foi possível concluir que houve compatibilidade do uso do RMZ com a cal, que pode ter se dado por conta da composição do rejeito, rico em dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ ), o destacando-se o potencial uso do RMZ com a cal em componentes de terra.

#### Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas 2020. Brasília: ANM, 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_2020\\_ano\\_base\\_2019\\_revisada2\\_28\\_09.pdf](https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2020_ano_base_2019_revisada2_28_09.pdf)>. Acesso em: janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica- Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_. NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_. NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_. NBR 13555: Solo-cimento: Determinação da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_. NBR 16814: Adobe - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AZEVÊDO, André Luis Cairo. Estabilização de solos com adição de cal: um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem após a adição de cal. Manuscrito. UFOP, 2010.

BASTOS, Lucas Augusto de Castro. Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para infraestrutura rodoviária. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. Universitas: Ciências da saúde, v. 4, n. 1, p. 83-100, 2006.

FRANÇA, Bruno Rangel; Azevedo, Afonso Rangel Garcez; MONTEIRO, Sergio Neves; GARCIA FILHO, Fabio; MARVILA, Markssuel, Teixeira; ALEXANDRE, Jonas; ZANELATO, Euzébio Bernabé. Durability of soil-cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. Materials Research, v. 21. São Carlos, 2018.

FRANCO, Luiza Carvalho; SANTOS, Diego Haltiery dos; ROSA, Paula Ponciano Gomes; SILVA, Guilherme Jorge Brigolini; PEIXOTO, Ricardo Fiorotti. Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2014.

GUERRA, André Nillo Lopes Pires. Caracterização e utilização de rejeito de minério de ferro PELLET FEED em pavimentos de blocos intertravados de concreto. Manuscrito. UFMG, 2014. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A2SJ7R/1/disserta\\_\\_o\\_guerra\\_2014.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A2SJ7R/1/disserta__o_guerra_2014.pdf)>. Acesso em: janeiro, 2021.

GUTIERREZ, R. S. R.; IZAGUIRRE, V. M. G.; MUJICA, J. A. E. Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. Nova Scientia, Universidad de la Salle Bajío. 2014.

ICZ - INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. 2021. Zinco. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/zinco.php>>. Acesso em: janeiro, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. 1.ed. Brasília, 2016.

\_\_\_\_\_. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. 7.ed. Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. Apresentação Setor Mineral 2020. Brasília, 2020. Disponível em: <[http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2021/02/Apresentacao\\_Resultados\\_Setor\\_Mineral\\_2020-1.pdf](http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2021/02/Apresentacao_Resultados_Setor_Mineral_2020-1.pdf)>. Acesso em: fevereiro, 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas: Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

MENDONÇA, Isabela, Karoline; VIMIEIRO, Jhade Iane Cunha; BELO, Bárbara Ribeiro; LOURA, Rejane Magiag; BESSA, Sofia Araújo Lima; BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. Absortância solar de argamassas coloridas produzidas com rejeito de minério de ferro. In: VI Congresso de Engenharia Civil, 2019, Juiz de Fora. Anais do VI CONENGE. Juiz de Fora: UFJF, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL. Relatório Técnico número 25, versão 3. Perfil do Minério de Zinco. Brasil, 2010.

NOCITI, Denyse Meirelles. Aproveitamento de Rejeitos Oriundos da Extração de Minério de Ferro na Fabricação de Cerâmicas Vermelhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - FEG, Unesp. São Paulo, 2011.

NORMA PORTUGUESA. NP EN 933-9 2000. Ensaio Para Determinação das Propriedades Geométricas dos Agregados. Parte 9: Análise dos Finos - Ensaio do Azul de Metileno. Comité Europeu de Normalização, 2000.

PINTO, T. C.; SILVA, L. F.; MORALES, C. R.; FRANCISCO, F. G. O; GONÇALVES, J. L. N.; GALÉRY, R. Uso do rejeito de minério de ferro como agregado no desenvolvimento de um cimento sustentável. XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belo Horizonte, 2019.

SILVA, Ana Paula da; AKASAKI, Jorge Luís. Produção de tijolos de solo-cal + resíduos agroindustriais. UNESP. São Paulo.

SABBO, Gabriela Rodrigues; ASSIS, Milena Maria Graciano de; BERTERQUINI, Aline Botini Tavares. Barragens de Retenção de Rejeitos de Mineração. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 02, n. 01, p. 3-15, jan./ago. 2017. Disponível em: <<http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/viewFile/2542/147>>. Acesso em: janeiro, 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, USGS. Iron Ore Statistics and Information, Mineral Commodity Summaries 2020. Estados Unidos: USGS, 2020. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-iron-ore.pdf>>. Acesso em: janeiro, 2021.

VALERIANO, Claudio de Morisson; DIAS, Paulo Henrique Amorim; CARVALHO, Manuela de Oliveira; HEILBRON, Monica. Zinco e Chumbo. Recursos Minerais de Minas Gerais - Zinco e Chumbo. CODEMGE, 2018.

VELHO, J. L., FERREIRA, M. Q.; VEIGA, A.; AMADO, C. Análise da aplicação dos ensaios de azul de metileno e de identificação em solos. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº esp. V, 2003, CD-ROM, pp. G42-G45.