

## Uso do rejeito de mineração de ferro para uso em taipa de pilão: análise da literatura

### Use of iron mining tailings in rammed earth: a literature survey

**Gabriela Tavares de Lanna Lage, mestranda em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais.**

gabrielatlanna@gmail.com

**White José dos Santos, Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.**

white.santos@demc.ufmg.br

**Sofia Araújo Lima Bessa, Doutora em Engenharia Urbana, Universidade Federal de Minas Gerais**

salbessa@gmail.com

#### Resumo

A região de Minas Gerais é reconhecida como uma das maiores áreas de extração de minério de ferro do Brasil, que é o segundo maior produtor mundial. Durante a extração do mineral toneladas de rejeito são geradas e estocadas em barragens. Paralelamente, um desafio no setor da Engenharia Civil e da Arquitetura é apresentar soluções construtivas que tenham um menor impacto ambiental. Dentre estas, tem-se a taipa de pilão como uma técnica construtiva com grande potencial sustentável devido a possibilidade de menor energia incorporada do que técnicas convencionais. Por conta dessa possibilidade de interação, a proposta do artigo é analisar a possibilidade da utilização de rejeito de minério de ferro (RMF) como estabilizante físico, atuando como corretor granulométrico da taipa de pilão. Não foram encontradas investigações a respeito do uso do RMF em taipa de pilão na construção civil. Constatou-se a possibilidade da viabilidade do uso do RMF para correção granulométrica de solos da taipa de pilão ou como substituto de algum material base. Isto acontece devido as características físicas, químicas e mineralógicas do RMF serem adequadas à técnica, sobretudo quando requerem porcentagens de areia, areia fina ou silte.

**Palavras-chave:** rejeito de minério de ferro; taipa de pilão; estabilização de solos; sustentabilidade; utilização de resíduos.

#### Abstract

*The Minas Gerais region is recognized as one of Brazil's largest iron ore extraction areas, the world's second-largest producer. During mineral extraction, tons of tailings are generated and stored in dams.*

*In parallel, a challenge in the Civil Engineering and Architecture sector is presenting construction solutions with a lower environmental impact. Among these, rammed earth is a construction technique with great sustainable potential due to the possibility of lower embodied energy than conventional techniques. Because of this possibility of interaction, this paper proposes to analyze the potential use of iron ore tailings (IOT) as a physical stabilizer, acting as a granulometric corrector of rammed earth. No investigations were found regarding using RMF in rammed earth in civil construction. It was found that it is possible that the use of IOT may be viable for soil size correction in rammed earth or as a substitute for base material. This is due to the physical, chemical, and mineralogical characteristics of RMF being suitable for this technique, especially when sand, fine sand, or silt percentages are required.*

**Keywords:** Iron ore tailings; rammed earth; soil stabilization; sustainability; waste reuse.

#### 1. Introdução

Desde a Revolução industrial há uma demanda cada vez maior de minerais (SCHATZMAYR *et al.*, 2022). Durante os processos de extração e beneficiamento de minérios, grandes quantidades de resíduos são produzidas (IPEA, 2012). Estima-se que para cada tonelada de minério de ferro processada no Brasil, são gerados cerca de 400 kg de rejeito (IPT, 2016). Segundo a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (DIÁRIO DO COMÉRCIO, 2021) o produto mais exportado em Minas Gerais em 2020 foi o minério de ferro e seus concentrados (37%). Uma das alternativas mais utilizadas na destinação desses rejeitos é a construção de barragens de mineração, onde esses materiais ficam dispostos na forma de polpa ou de lama (IPEA, 2012). No Brasil, há pouco mais de 800 barragens de mineração e destas, apenas 50% estão inseridas na política nacional de segurança de barragens (ANM, 2020).

Além do considerável volume de resíduos produzidos no país, a forma como o RMF é estocado tem provocado ameaças ao ambiente e à população. A deposição de RMF em barragens tornou-se uma preocupação constante devido à má gestão e aos riscos inerentes. No estado de Minas Gerais ocorreram, nos últimos anos, dois dos maiores desastres ambientais do Brasil. Em 2015, o rompimento da Barragem de Fundão, em Bento Rodrigues, subdistrito do município de Mariana, que provocou o deslocamento de RMF por 663 km até o litoral (LACAZ; PORTO; PINHEIRO, 2017) e, em 2019, o rompimento da Barragem B1, na mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, que provocou a morte de mais de 270 pessoas (COSTA *et al.*, 2021).

De forma paralela, há o fato de que o setor da construção civil é reconhecido como um dos principais geradores de impacto ambiental. Segundo (CABRAL *et al.*, 2008) as técnicas de construção convencionais do século XXI necessitam de grande quantidade de material inerte, que é extraído de sedimentos aluviais e formações rochosas e causam alterações drásticas no meio ambiente, além de materiais com alto conteúdo energético incorporado (JOHN, 2001; ZAMI *et al.*, 2022). Ademais, a construção civil é o principal setor de geração de resíduos,

que tem grande potencial poluidor agregado, já que estes frequentemente são gerenciados de maneira incorreta e acumulados no meio ambiente.

Desta forma, é acordo que há um desafio no setor da Engenharia Civil e Arquitetura de apresentar soluções construtivas mais sustentáveis (SIEFFERT; HUYGEN; DAUDON, 2014). Dentre as técnicas construtivas com grande potencial sustentável encontra-se a taipa de pilão, devido a possibilidade de ser produzida com baixa energia incorporada (GIUFFRIDA; CAPONETTO; CUOMO, 2019; MELLAIKHAFI *et al.*, 2021), advinda da viabilidade de executá-la com solo local, promovendo limitado transporte de materiais (BECKETT; CIANCIO, 2013).

A estabilização da taipa de pilão visa colaborar com o aumento de sua resistência e durabilidade, sendo uma prática frequente nos países desenvolvidos que utilizam a técnica (HALL; ALLINSON, 2009a). Entretanto, o uso de cimentantes para a estabilização tem sido criticado pelo seu impacto ambiental (ARRIGONI *et al.*, 2017).

Sendo assim, há uma lacuna acerca da possibilidade de se utilizar alguns resíduos como estabilizantes já que os materiais alternativos tendem reduzir a energia incorporada da taipa entre 50 e 100% (GIUFFRIDA; CAPONETTO; CUOMO, 2019).

Dentro do setor da construção civil o uso do RMF já vem sendo estudado e empregado com diversas finalidades: como substituto parcial do cimento (CHENG *et al.*, 2016; SHETTIMA *et al.*, 2018); e como substituto da areia para concreto (PROTASIO *et al.*, 2021); na produção de tijolos cerâmicos (LI *et al.*, 2019; MENDES *et al.*, 2019); como pigmento de tintas (GALVÃO *et al.*, 2018); como agregado de argamassa de revestimento (CARRASCO *et al.*, 2017; FONTES *et al.*, 2016; MORAIS *et al.*, 2021); como adição mineral em argamassas estruturais (ALMADA, B. *et al.*, 2022; ALMADA, B. S. *et al.*, 2022; DUARTE *et al.*, 2022; LINHARES *et al.*, 2021). como estabilizante de blocos de terra comprimida (NAVARRO *et al.*, 2019); como estabilizante para pavimentação (SCHATZMAYR *et al.*, 2022).

Estudos demonstram, entre diversas características do RMF, o comportamento inerte e o formato de partículas angulares e irregulares, superfície porosa e rugosa, além da presença relevante de minerais, como o ferro (SHETTIMA *et al.*, 2018; ZHAO; FAN; SUN, 2014). Alguns estudos demonstram compatibilidade entre o rejeito e o solo (NAVARRO *et al.*, 2019; SCHATZMAYR *et al.*, 2022), o que pode ser devido ao fato de que ambos são advindos de processos de decomposição de rochas ou pelo fato de ambos (solo e rejeito) serem ricos em sílica (SiO<sub>2</sub>). Entretanto, não há ainda referências na literatura a respeito do uso do RMF como estabilizante para a taipa de pilão.

Desta forma, é importante realizar um levantamento sobre as características do RMF e verificar a possibilidade da sua incorporação à técnica de taipa de pilão. Portanto, são objetivos deste artigo: i) realizar uma revisão da literatura sobre o RMF com foco em estabilização de solos; ii) mapear os produtos já usados como estabilizantes físicos da taipa de pilão com o RMF; e iii) avaliar a possibilidade de uso do RMF como estabilizante de solos em taipa de pilão baseado em características físicas e granulométricas.

## 2. Procedimentos Metodológicos

O método empregado tem como base a pesquisa bibliográfica, de forma a realizar uma revisão da literatura sobre as propriedades do RMF como estabilizante físico, principalmente em relação à granulometria e à composição química, bem como sobre o uso de diferentes materiais utilizados como estabilizantes para a taipa de pilão.

Os métodos a serem utilizados são: i) a coleta de dados documentais (identificação, localização, compilação e fichamento) (Tabela 1); e ii) a análise e a interpretação dos dados, representados através de tabelas. A coleta de dados teve como fonte documental cinco bases de dados: i) Scopus; ii) ScienceDirect; iii) Sielo; iv) Horizon Research; v) MDPI.

Tabela 1: Critérios para levantamento de dados sobre o rejeito de minério de ferro.

Foco	Critério	Condições
Rejeito de minério de ferro	Data de publicação	Período entre 2013-2021
	Palavras-chave	“Iron ore tailings” ou “IOT” e “Waste” e “Civil construction” ou “Soil stabilization”
	Tipo de documento	Artigos de periódicos ou anais de eventos
	Idioma	Inglês, português ou espanhol
Taipa de pilão	Data de publicação	Período entre 2013-2021
	Palavras-chave	“Rammed Earth” e “Residue” ou “Waste” ou “Recycling” ou “Particle size distribution”
	Tipo de documento	Artigos de periódicos ou anais de eventos
	Idioma	Inglês, português ou espanhol

Fonte: autores.

## 3. Resultados e discussões

A estabilização do tipo cimentícia na taipa de pilão vem sendo amplamente utilizada nos últimos anos como forma de melhorar sua durabilidade. O uso de cimento ou cal como estabilizantes colaboram com aumento da resistência à compressão da taipa de pilão, além de reduzir a retração e a desagregação das paredes (ARRIGONI; BECKETT; *et al.*, 2017). A construção de taipa de pilão estabilizada com cimento alcança valores de 1/3 da energia incorporada de uma construção de alvenaria convencional e menos de ¼ da energia incorporada em uma construção de concreto armado (REDDY; JAGADISH, 2003). Dessa forma a taipa de pilão com baixa adição de cimento é considerada uma construção sustentável (KARIYAWASAM; JAYASINGHE, 2016).

Entretanto, segundo Arrigoni *et al.*, (2017) a incorporação de cimento, principalmente com a adição de clínquer, como estabilizante da taipa de pilão, diante da análise de ciclo de vida, eleva o impacto ambiental da técnica construtiva se comparada a taipa de pilão não estabilizada. Desta forma, o autor recomenda o uso de materiais alternativos ao cimento para atuar como estabilizantes da taipa de pilão, de forma a diminuir os valores de energia incorporada à taipa de pilão estabilizada (ARRIGONI; BECKETT; *et al.*, 2017).

Em relação ao uso dos resíduos, há estudos que indicam que os impactos ambientais podem ser semelhantes entre a taipa de pilão não estabilizada e a taipa de pilão estabilizada com resíduos, quando o solo local não é apropriado por si só (ARRIGONI; BECKETT; *et al.*, 2017). Ademais, o uso de resíduos como forma de melhorar as propriedades da taipa de pilão já foi apresentado por vários autores, entre os encontrados na literatura tem-se as cinzas volantes, carboneto de cálcio e escórias de aço (SIDDIQUA; BARRETO 2018; KOSARIMOVANHED; TOUFIGH 2020; LIU *et al.*, 2018;). Além de guar e fibra de vidro (TOUFIGH; KIANFAR 2019) e cinza da casca do arroz (MILANI, LABAKI 2012).

A maioria dos resíduos encontrados como estabilizantes para a taipa de pilão na literatura representam estabilização por tratamento químico: “agrega ao solo diversas substâncias capazes de formar compostos estáveis com os elementos da argila” (NEVES *et al.*, 2010, p. 13) ou cimentícia: adição de material que atua através da solidificação dos grãos de areia e argila, “de forma a obter um esqueleto interno que faça oposição à capacidade de absorção de água pela argila” (NEVES *et al.*, 2010, p. 13).

Ressalta-se que alguns autores (LIN *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2013) entendem como estabilização apenas a adição de produtos cimentantes e tratamentos químicos, porém tal proposição não é consenso. Este artigo apresenta uma abordagem mais ampla, na qual a estabilização de solos pode ser entendida também como uma ação mecânica/física, como por exemplo, a correção granulométrica do solo (GIUFFRIDA; CAPONETTO; CUOMO, 2019; HALL; ALLINSON, 2009b; NEVES *et al.*, 2010).

A correção granulométrica do solo corresponde à mescla de diferentes materiais para se obter proporções mais adequadas entre as dimensões dos grãos (NEVES *et al.*, 2010). Uma das formas mais comuns e recomendadas de estabilização de solos para a taipa de pilão é por meio da correção granulométrica com adição de areia - em casos de solo argiloso (ABNT, 2022; HOFFMANN; MINTO; HEISE, 2011; KOUTOUS; HILALI, 2019b; MELLAIKHAFI *et al.*, 2021; NEVES *et al.*, 2010). Para a realização da taipa de pilão ou qualquer construção com terra, uma das características mais importantes a se atentar em relação ao material é a sua distribuição granulométrica em relação ao bom empacotamento das partículas (HALL; ALLINSON, 2009a) pois este influencia diretamente na densidade e resistência das paredes (LIN *et al.*, 2017).

Para a boa execução da técnica faz-se necessário solos mais arenosos, mas com coesão adequadas à compactação. Autores sugerem frações de solos para a taipa de pilão, assim como é possível encontrar sugestão de teores em algumas normas técnicas (Tabela 1). Há uma enorme variação em relação aos teores, o que deve ser por conta de as características dos solos serem muito diversas, visto ser um material natural (DELGADO; GUERRERO, 2007).

Tabela 2: Recomendações relativas aos teores das frações do solo.

Tipo de fonte	Fonte	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Cascalho (%)
Artigos	Walker <i>et al.</i> , 2005	5 a 20	10 a 30	45 a 80	
	Delgado e Guerrero 2007	10 a 15	10 a 25	-	-
Documentos técnicos	IS 2110	-	-	<35	-
	SADAC 983	5 a 15	15 a 30	50 a 70	

IETcc	10 a 40	20 a 40	10 a 40	10 a 20
HB 195	5 a 20	10 a 30	45 a 75	
NBR 17014	20 a 35		50 a 80	-
CraTerre	15 a 25	20 a 35	40 a 50	0 a 15

Fonte: autores.

Um mínimo teor de argila é necessário, pois adiciona coesão à terra, entretanto o excesso está relacionado ao aumento da retração à dificuldade de trabalhabilidade (HOFFMANN; MINTO; HEISE, 2011) e ao aumento da demanda de água. Elevados teores de areia são importantes para reduzir o teor de umidade, aumentar a densidade seca da mistura e ainda tem a capacidade de melhorar a resistência à compressão da taipa de pilão (KOUTOUS; HILALI, 2019a).

Ao se discutir o grau de compactação por adequada distribuição granulométrica deve ser levada em consideração uma fração equilibrada de argila, silte, areia e cascalho. Porém, o adequado preenchimento dos vazios, a fim de alcançar um eficiente empacotamento de partículas (HALL; ALLINSON, 2009a), é uma propriedade pouco explorada na bibliografia analisada.

Foram encontrados alguns autores que apresentaram análises do uso de resíduos com ação filer (Tabela 3), sendo os resíduos mais frequentemente encontrados os decorrentes da demolição de concreto e de tijolos (ARRIGONI *et al.*, 2018; JAYASINGHE; FONSEKA; ABEYGUNAWARDHENE, 2016; MEEK; BECKETT; ELCHALAKANI, 2020; SHAABAN, 2021).

Tabela 3: Tipos de materiais encontrados que fazem o papel de estabilização física para a taipa de pilão.

Resíduo	Autores	Proporção	$f_c$ (MPa)*
Solo vulcânico residual	(LIN <i>et al.</i> , 2017)	solo residual: 1	2,18
Granito completamente decomposto (GCD)	(LIN <i>et al.</i> , 2017)	granito decomposto:1	0,54
Agregado de concreto reciclado (ACR)	(ARRIGONI <i>et al.</i> , 2018)	ACR: 1; cimento: 0,05; cinza volante: 0,05	6,70
Agregado de concreto reciclado (ACR)	(JAYASINGHE; FONSEKA; ABEYGUNAWARDHENE, 2016)	solo: 1; ACR: 1; cimento: 0,2	6,30
Tijolo e concreto reciclado (TCR)	(MEEK; BECKETT; ELCHALAKANI, 2021)	TCR: 1; 0,5 cimento	8,90
Tijolo vermelho triturado (TVT)	(SHAABAN, 2021)	1 solo: 1; TVT: 0,66	0,97

Fonte: autores. \* $f_c$  corresponde a resistência à compressão aos 28 dias de secagem para todas as amostras

As proporções da utilização de resíduos nas misturas encontradas são consideráveis (a partir de 44%), o que é um indicativo de que o emprego de resíduo via substituição granulométrica promove a destinação de notável volume destes materiais, considerando as particularidades dos solos usados em cada estudo. Além disso a maioria dos traços apresentados atingem resultados de resistência a compressão satisfatórios de acordo com a literatura, que ficam entre 1 e 2 MPa (ABNT, 2022; ARRIGONI; BECKETT; *et al.*, 2017; SADCSTAN, 2014; WALKER; AUSTRALIA, 2002).

A investigação dos autores reitera a importância da distribuição granulométrica em construções com terra, visto que a curva granulométrica das amostras foi o único dado de caracterização em comum apresentado em todos os trabalhos analisados (Tabela 4). Através da média diâmetro dos grãos dos resíduos em destaque fica claro que a maioria dos materiais foi incorporado atuando como material arenoso, já que levando em consideração a Tabela 2, a maior demanda em termos granulométricos da taipa de pilão é justamente a areia.

Levando-se em consideração as características do solo necessários para atingir qualidade necessária para a taipa de pilão e as características dos materiais utilizados para estabilizar fisicamente o solo quando este não apresenta uma faixa granulométrica adequada, identifica-se como possibilidade a incorporação do RMF como estabilização físico para a técnica. Ainda que não tenha sido encontradas pesquisas que relacionem o resíduo de mineração de ferro com a taipa de pilão, entende-se que o RMF apresenta características adequadas para essa associação.

Tabela 4: Índice de diâmetro de grãos dos resíduos investigados

Material	Autores	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)
Solo vulcânico residual	(LIN <i>et al.</i> , 2017)	0.012	0.12	0.40
Granito completamente decomposto	(LIN <i>et al.</i> , 2017)	0.002	0.30	1.1
Agregado de concreto reciclado	(ARRIGONI <i>et al.</i> , 2018)	0.250	1.00	7.50
Agregado de concreto reciclado	(JAYASINGHE; FONSEKA; ABEYGUNAWARDHE NE, 2016)	0.150	0.45	1.25
Tijolo e concreto reciclado	(MEEK; BECKETT; ELCHALAKANI, 2021)	0.350	0.65	2.00
Tijolo vermelho triturado	(SHAABAN, 2021)	0.500	2.15	9.10

Fonte: autores.

O RMF é heterogêneo e apresenta diversidades físicas, químicas, mineralógicas, granulométricas e de dureza. Assim sendo, as jazidas e o tipo de beneficiamento do RMF podem influenciar na sua heterogeneidade. O RMF possui características inertes e pode atuar como filer (SHETTIMA *et al.*, 2018; ZHAO; FAN; SUN, 2014). Observa-se que as dimensões dos grãos variam desde areia até siltes e argilas, logo a correção granulométrica a ser feita deverá atender um arranjo ideal para um bom empacotamento das partículas, através da combinação entre diferentes tipos de solo e tipos de RMF com grãos com dimensões distintas.

Tabela 5. Diversidade da granulometria do RMF presentes na literatura

Autores	Origem	Faixa granulométrica
(PROTASIO <i>et al.</i> , 2021)	Brasil	0,01mm e 0,3 mm
(CARRASCO <i>et al.</i> , 2017)	Brasil	0,01mm e 0,1mm
(MAGALHÃES <i>et al.</i> , 2018)	Brasil	< 0,036mm
(FONTES <i>et al.</i> , 2016)	Brasil	<2,4mm
(DAUCE <i>et al.</i> , 2019)	Brasil	0,037mm e 6,3mm

(SHETTIMA <i>et al.</i> , 2018)	Malásia	,15mm e 1,5 mm
(ZHAO; FAN; SUN, 2014)	China	0,003mm e 0,5 mm
(LI <i>et al.</i> , 2019)	China	<0,046mm

Fonte: valores aproximados adaptados de: (CARRASCO *et al.*, 2017; DAUCE *et al.*, 2019; FONTES *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2019; MAGALHÃES *et al.*, 2018; PROTASIO *et al.*, 2021; SHETTIMA *et al.*, 2018; ZHAO; FAN; SUN, 2014)

Partindo das características iniciais do RMF discutidas, observa-se a forte possibilidade de uso como estabilizante para a taipa de pilão. Entretanto, apesar destes valores granulométricos serem um indicativo inicial de que as características do RMF podem ser compatíveis com estabilização de solos para a taipa de pilão, considera-se essencial que outras análises, como os limites de *Atterbeg*, sejam realizados, visto que são meios de caracterizar o solo já muito disseminados na literatura (CIANCIO; JAQUIN; WALKER, 2013; KOUTOUS; HILALI, 2019a).

#### 4. Conclusão ou Considerações Finais

Pode-se observar, pela análise dos documentos, a grande relevância da estabilização física para a taipa de pilão. Desta forma, tende-se a preservar a baixa energia incorporada da técnica e evitar, se possível, o uso de materiais cimentícios. O uso de resíduos para este propósito agrega muitas vantagens ambientais desde que seu uso esteja associado a uma escala regional, sem que seja gasta energia para o seu transporte. O uso da técnica de empacotamento de partículas tende a maximizar, também, as propriedades mecânicas e de durabilidade se usado junto à estabilização do tipo química.

Desta maneira, pode-se inferir que a taipa obtenha um adequado comportamento com o uso de RMF para uso com solos que demandem, principalmente, correção com características de areia, areia fina ou silte.

#### Referências

- ABNT. **NBR 17014: taipa de pilão: requisitos, procedimentos e controle**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2022.
- ALMADA, B. *et al.* **Evaluation of mechanical properties and durability indicators of mortars with addition of iron ore tailings**. 2022, Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/365476847\\_Evaluation\\_of\\_mechanical\\_properties\\_and\\_durability\\_indicators\\_of\\_mortars\\_with\\_addition\\_of\\_iron\\_ore\\_tailings](https://www.researchgate.net/publication/365476847_Evaluation_of_mechanical_properties_and_durability_indicators_of_mortars_with_addition_of_iron_ore_tailings)>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- ALMADA, B. S. *et al.* Study of mechanical, durability and microstructural properties of cementitious composite with addition of different iron ore tailings from Brazil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 18, p. 1947–1962, 1 maio 2022. Acesso em: 12 mar. 2023.

ARRIGONI, A.; BECKETT, C.; *et al.* Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth. **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 128–136, 1 jul. 2017.

ARRIGONI, A. *et al.* Rammed Earth incorporating Recycled Concrete Aggregate: a sustainable, resistant and breathable construction solution. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, p. 11–20, 1 out. 2018. Acesso em: 5 dez. 2022.

BECKETT, C.; CIANCIO, D. **Rammed earth: An overview of a sustainable construction material**. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/243972161>>.

CABRAL, A. E. B. *et al.* Determinação da influência do tipo de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição sobre o módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 1, n. 2, p. 171–192, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/riem/a/xWmKGRr7WZQzkCxmWj7gNrw/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

CARRASCO, E. V. M. *et al.* Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 31–38, 30 jan. 2017.

CHENG, Y. *et al.* Test research on the effects of mechanochemically activated iron tailings on the compressive strength of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 118, p. 164–170, 15 ago. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816307413#!>>. Acesso em: 16 out. 2021.

CIANCIO, D. *et al.* **First International Conference on Rammed Earth Construction: report**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1680/coma.15.00038>>.

CIANCIO, D.; JAQUIN, P.; WALKER, P. Advances on the assessment of soil suitability for rammed earth. **Construction and Building Materials**, v. 42, p. 40–47, 1 maio 2013. Acesso em: 17 dez. 2022.

COSTA, G. B. R. DA *et al.* Rompimento da barragem em Brumadinho: um relato de experiência sobre os debates no processo de desastres. **Saúde em Debate**, v. 44, n. spe2, p. 377–387, 5 jul. 2021. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/sdeb/a/MkPkWFhSZMBN5HR6SyV6C8f/?lang=pt>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

DAUCE, P. D. *et al.* Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 1, p. 1052–1059, 1 jan. 2019. Acesso em: 20 jan. 2023.

DIÁRIO DO COMÉRCIO. **Minas Gerais agrega valor com diversificação das exportações**. Disponível em: <<https://diariodocomercio.com.br/negocios/perfil-exportador-de-minas-gerais-se-mantem-por-decadas/>>. Acesso em: 5 fev. 2023.

DUARTE, M. S. *et al.* Influence of mechanical treatment and magnetic separation on the performance of iron ore tailings as supplementary cementitious material. **Journal of Building Engineering**, v. 59, p. 105099, 1 nov. 2022. Acesso em: 18 mar. 2023.

FONTES, W. C. *et al.* Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 988–995, 1 jun. 2016.

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.

GIUFFRIDA, G.; CAPONETTO, R.; CUOMO, M. An overview on contemporary rammed earth buildings: Technological advances in production, construction and material characterization. 30 jul. 2019, [S.l.]: **Institute of Physics Publishing**, 30 jul. 2019.

HALL, M.; ALLINSON, D. Analysis of the hygrothermal functional properties of stabilised rammed earth materials. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1935–1942, set. 2009a.

HALL, M.; ALLINSON, D. Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilised rammed earth materials. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 4, p. 740–747, mar. 2009b. Acesso em: 17 dez. 2022.

HOFFMANN, M.; MINTO, F.; HEISE, A. Taipa de pilão. In: NEVES, C.; FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. p. 1–79. Disponível em: <[www.redprotterra.org](http://www.redprotterra.org)>. Acesso em: 7 jun. 2021.

JAYASINGHE, C.; FONSEKA, W. M. C. D. J.; ABEYGUNAWARDHENE, Y. M. Load bearing properties of composite masonry constructed with recycled building demolition waste and cement stabilized rammed earth. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 471–477, 15 jan. 2016. Acesso em: 5 dez. 2022.

JIMÉNEZ DELGADO, M. C.; GUERRERO, I. C. The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 2, p. 237–251, fev. 2007. Acesso em: 17 dez. 2022.

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. 1. ed. Salvador: EDITORA DA UFBA, 2001. p. 26–44.

KARIYAWASAM, K. K. G. K. D.; JAYASINGHE, C. Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 519–527, 15 fev. 2016. Acesso em: 3 fev. 2023.

KOSARIMOVAAHED, M.; TOUFIGH, V. Sustainable usage of waste materials as stabilizer in rammed earth structures. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, 20 dez. 2020.

KOUTOUS, A.; HILALI, E. M. A Proposed Experimental Method for the Preparation of Rammed Earth Material. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 8, n. 7, 18 jul. 2019a. Disponível em: <[www.ijert.org](http://www.ijert.org)>. Acesso em: 18 dez. 2022.

KOUTOUS, A.; HILALI, E. M. Grain shape effects on the mechanical behavior of compacted earth. **Case Studies in Construction Materials**, v. 11, 1 dez. 2019b.

LACAZ, F. A. DE C.; PORTO, M. F. DE S.; PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 42, n. 0, 2017.

LI, R. *et al.* Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity. **Construction and Building Materials**, v. 213, p. 43–50, 20 jul. 2019. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061819308840?token=56721E37A69283D1909B6B317B4ED084623BC156E01825714F87EE58A9506BD07F348AC21F557735FFC7789E42E5DCFB&originRegion=us-east-1&originCreation=20220718160347>>. Acesso em: 28 fev. 2022.

LIN, H. *et al.* Characterization of coarse soils derived from igneous rocks for rammed earth. **Engineering Geology**, v. 228, p. 137–145, 13 out. 2017. Acesso em: 16 dez. 2022.

LINHARES, N. B. D. C. *et al.* Influence of Addition Contents of Iron Ore Tailings on Structural Mortar. **Journal of Management and Sustainability**, v. 11, n. 1, p. p74, 9 fev. 2021. Disponível em: <<https://ccsenet.org/journal/index.php/jms/article/view/0/44741>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

MAGALHÃES, L. F. DE *et al.* Iron Ore Tailing as Addition to Partial Replacement of Portland Cement. **Materials Science Forum**, v. 930, p. 225–230, 2018. Disponível em: <[www.scientific.net/MSF.930.125](http://www.scientific.net/MSF.930.125)>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MEEK, A. H.; BECKETT, C. T. S.; ELCHALAKANI, M. Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: Durability with and without water repellent. **Construction and Building Materials**, v. 265, 30 dez. 2020. Acesso em: 5 dez. 2022.

MEEK, A. H.; BECKETT, C. T. S.; ELCHALAKANI, M. Reinforcement corrosion in cement- and alternatively-stabilised rammed earth materials. **Construction and Building Materials**, v. 274, 8 mar. 2021. Acesso em: 5 dez. 2022.

MELLAIKHAFI, A. *et al.* Characterization of different earthen construction materials in oasis of south-eastern Morocco (Errachidia Province). **Case Studies in Construction Materials**, v. 14, 1 jun. 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, 10 dez. 2019. Acesso em: 3 fev. 2023.

MILANI, A. P. DA S.; LABAKI, L. C. Physical, Mechanical, and Thermal Performance of Cement-Stabilized Rammed Earth–Rice Husk Ash Walls. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 24, n. 6, p. 775–782, jun. 2012.

MINKE, G. **Manual de construção com terra: a terra como material de construção e seu uso na arquitetura**. [S.l.]: Solisluna Editora, 2022. v. 1.

MORAIS, C. F. *et al.* Thermal and mechanical analyses of colored mortars produced using Brazilian iron ore tailings. **Construction and Building Materials**, v. 268, 25 jan. 2021. Acesso em: 22 nov. 2022.

NAVARRO, A. C. *et al.* **Estabilização de blocos de terra comprimida com cal e rejeitos de mineração**. 2019, Belém: ENARC, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/341945721\\_Estabilizacao\\_de\\_blocos\\_de\\_terra\\_comprimida\\_com\\_cal\\_e\\_rejeitos\\_de\\_mineracao](https://www.researchgate.net/publication/341945721_Estabilizacao_de_blocos_de_terra_comprimida_com_cal_e_rejeitos_de_mineracao)>. Acesso em: 3 fev. 2023.

NEVES, C. *et al.* **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra: práticas de campo**. [S.l.]: Rede Ibero-americana PROTERRA, 2010. Disponível em: <<http://www.redproterra.org>>.

PROTASIO, F. N. M. *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, 1 jan. 2021. Acesso em: 3 fev. 2023.

REDDY, B. V. V.; JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 2, p. 129–137, 1 fev. 2003. Acesso em: 17 dez. 2022.

SADCSTAN. **SADC ZD HS 983: Rammed earth structures: code of practice**. . Zimbabwe: [s.n.], 2014. . Acesso em: 18 dez. 2022.

SCHATZMAYR, T. W. S. *et al.* Use of iron ore tailings and sediments on pavement structure. **Construction and Building Materials**, v. 342, 1 ago. 2022. Acesso em: 3 fev. 2023.

SHAABAN, M. Sustainability of Excavation Soil and Red Brick Waste in Rammed Earth. **Civil Engineering and Architecture**, v. 9, n. 3, p. 789–798, 2021. Disponível em: <<http://www.hrpub.org>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SHETTIMA, U. A. *et al.* **Strength and Microstructure of Concrete with Iron Ore Tailings as Replacement for River Sand**. 19 mar. 2018, Penang: EDP Sciences, 19 mar. 2018. p. 1–9. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/323852706\\_Strength\\_and\\_Microstructure\\_of\\_Concrete\\_with\\_Iron\\_Ore\\_Tailings\\_as\\_Replacement\\_for\\_River\\_Sand](https://www.researchgate.net/publication/323852706_Strength_and_Microstructure_of_Concrete_with_Iron_Ore_Tailings_as_Replacement_for_River_Sand)>. Acesso em: 16 jul. 2021.

SIDDIQUA, S.; BARRETO, P. N. M. Chemical stabilization of rammed earth using calcium carbide residue and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 364–371, 30 abr. 2018.

SIEFFERT, Y.; HUYGEN, J. M.; DAUDON, D. Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering-architecture collaboration. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 125–138, 15 mar. 2014. Acesso em: 23 nov. 2022.

SILVA, R. A. *et al.* Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 181–191, 2013. Acesso em: 17 dez. 2022.

TOUFIGH, V.; KIANFAR, E. The effects of stabilizers on the thermal and the mechanical properties of rammed earth at various humidities and their environmental impacts. **Construction and Building Materials**, v. 200, p. 616–629, 10 mar. 2019.

WALKER, P.; AUSTRALIA, S. **HB 195: The Australian earth building handbook**. . [S.l.: s.n.], 2002. . Acesso em: 18 dez. 2022.



ZAMI, M. S. *et al.* Geotechnical properties and strength of Al-Hassa White Soil suitable for stabilized earth construction. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 8, abr. 2022.

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. Acesso em: 26 set. 2022.

### **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (processo APQ05495-18) pelo auxílio financeiro à realização desta pesquisa.