ESTABILIZAÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA COM CAL E REJEITO DE MINERAÇÃO

NAVARRO, A. C.[1]; MARESTI, J. [2]; ARRUDA, E. A. M. [3]; HERMENEGILDO, G. C. [4] BESSA, S. A. L. [5]

(1) Universidade Federal de Minas Gerais/ UFMG – annacmnavarro@gmail.com; (2) UFMG – juseffrin1@gmail.com; (3) UFMG – eduardoarchetti@gmail.com; (4) UFMG – gabhicarmo@gmail.com; (5) UFMG – sofiabessa@ufmg.br

RESUMO

O Brasil é um dos maiores exportadores de minério do mundo, é preciso que repensar as formas de se utilizar os rejeitos gerados por essa atividade de forma que os impactos ambientais sejam minimizados. Nessa linha, este estudo propôs analisar a estabilização de blocos de terra comprimida (BTC) com cal e com rejeito de minério de ferro (RMF). O RMF foi caracterizado por meio de ensaios de granulometria, difratometria de raios x e análise química por fluorescência de raios x. O solo foi analisado, também, por meio de ensaio de limite de liquidez e de plasticidade. Para o estudo, foram produzidos BTCs estabilizados com 10% de cal e com substituição de 0%, 10%, 20% e 30% de solo por RMF. Após o período de cura de 28 dias, os BTCs foram submetidos a ensaios de resistência à compressão e de absorção. Após os ensaios, foi possível concluir que o uso de RMF nos BTCs contribuiu para a diminuição dos valores de absorção de água e no aumento da resistência à compressão, em comparação com os BTCs sem RMF.

Palavras-chave: estabilização, blocos de terra comprimida, cal.

STABILIZATION OF COMPRESSED EARTH BLOCKS WITH LIME AND ORE TAILINGS

ABSTRACT

Brazil is one of the largest exporters of ore in the world, it is necessary to rethink the ways of using the tailings generated by this activity so that the environmental impacts are minimized. In this line, this study proposed to analyze the stabilization of compressed earth blocks (CEB) with lime and with iron ore tailings (IOT). The IOT was characterized by granulometry, x-ray diffractometry and x-ray fluorescence chemical analysis. The soil was also analyzed by means of a liquid limit determination and plasticity limit. For the study, stabilized blocks were produced with 10% lime and replaced with 0%, 10%, 20% and 30% of soil by IOT. After the 28-day curing period, the CEBs were subjected to compressive strength and absorption tests. After the tests, it was possible to conclude that the use of IOT in the CEBs contributed to the reduction of the water absorption values and the increase in the compressive strength, in comparison with the CEBs without IOT.

Key-words: stabilization, compressed earth blocks, lime.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é um setor importante da economia brasileira e são vários os materiais extraídos, sendo o minério de ferro o produto mais explorado. A maior parte da exploração e da exportação brasileira são derivadas da mineração. De acordo com dados do relatório anual do IBRAM [1], no ano de 2017 o Brasil exportou um total de 403 bilhões de toneladas de minérios, que representou o equivalente a 13% do total de exportação brasileira e 30,5% do saldo comercial.

O processo de mineração consiste no "conjunto de atividades que, através do beneficiamento dos minérios tem como objetivo modificar as propriedades dos minerais de modo que sua identidade química seja preservada" [2], conforme Figura 01. Para cada 1 tonelada de minério disponível, estima-se que 1,5 toneladas de resíduo arenoso, em média, são gerados no processo de extração [2, 3]. Esses resíduos acabam sendo utilizados de diversas maneiras, seja na construção civil (em substituição à areia), na base para pavimentação ou então na soterração dos vales que a mineração acaba gerando.

Figura 1 - Esquema típico do processo de mineração de ferro.



Apesar de ser uma atividade extremamente importante para o país, muito se discute sobre os impactos ambientais advindos da prática mineradora. O próprio Código de Mineração do ano de 1967 (Decreto-Lei nº 227, fevereiro de 1967) dava aval para que a atividade gerasse grandes impactos, uma vez que se restringia a dizer que "a atividade de mineração deve evitar a poluição das águas e do ar". A falta de rigidez, quanto aos impactos gerados pela mineração, acabou ocasionando grandes desastres, como foi o caso da barragem de Mariana (MG) no ano de 2015, e de Brumadinho, em 2019, principalmente em detrimento da má gestão dos resíduos que são gerados.

Atualmente, no Brasil, existem 839 barragens de rejeitos registradas, sendo a maioria (66%) de pequeno porte (com volume total de reservatório inferior a 0,5 hm³) e concentrada no estado de Minas Gerais (43,5%). No que tange aos critérios de riscos existentes, a maioria (aproximadamente 77%) se encontra em categoria de risco baixo. Quanto ao dano potencial associado (DPA), 56,5% encontram-se baixo, porém 26,58% estão com DPA elevado [4,5].

A construção com terra está associada às baixas emissões de dióxido de carbono e à baixa energia incorporada na produção além da garantia da qualidade interior do ar da edificação, graças à sua capacidade de controle da umidade relativa. Além disso, os custos financeiros são baixos, assim como impactos de poluição derivados da proximidade entre local de obra e local de extração da matéria prima. Outro ponto positivo é sua baixa produção de resíduos afiliada à possibilidade de devolução da terra ao local de retirada [6].

Para tentar diminuir o impacto ocasionado pela atividade mineradora, este estudo propõe a estabilização de tijolos de bloco de terra comprimida (BTC) com rejeito de mineração. Dessa forma, o rejeito, descartado muitas vezes de forma errada, passa a ter um novo uso, diminuindo assim o impacto ambiental [7].

Sob perspectiva mundial, observa-se que, ao longo dos últimos cinquenta anos, uma das tecnologias com uso de terra que mais tem sido aprimorada é a dos blocos de terra comprimida (BTC) e que vem sendo cada vez mais utilizada em países como a Austrália e Estados Unidos [8]. As pesquisas sobre a incorporação de resíduos ao BTC têm evoluído na última década, sejam estes estabilizados com o cimento [9, 10] ou com a cal [11-13].

Considerando-se a necessidade de propor opções de uso do RMF como insumo na produção de componentes e aproveitando a potencialidade físicoquímica desse material rico em sílica, pretende-se, neste trabalho, estudar a viabilidade técnica do aproveitamento do RMF para uso em blocos solo-cal com a finalidade de obter um componente alternativo ao tradicional bloco de solo-cimento, de boas características físico-mecânicas, que possa ser utilizado para uso em construções.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo: i) A caracterização dos materiais; e ii) As análises do comportamento mecânico e do índice de absorção dos BTCs.

Na primeira fase do estudo, o solo foi extraído manualmente a partir de 50 cm de profundidade, para descartar a presença de material orgânico. O rejeito de minério de ferro (RMF) foi cedido pela Mineradora Samarco e armazenado em tonéis.

A cal utilizada foi do tipo CH-I e o ensaio de finura (para controle) foi realizado de acordo com a NBR 7175 [14]. 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 7180 [15], e de plasticidade por meio da NBR 6459 [16] do material. A caracterização granulométrica foi realizada segundo as indicações da NBR NM 248 [17] e realizada para os dois materiais (solo e RMF), a fim de prever a compatibilidade entre eles.

Para o estudo, foram produzidos BTCs estabilizados com 10% de cal em adição e com substituição de 0%, 10%, 20% e 30% de solo por RMF. A cal foi mantida com valores fixos correspondente a 10% em adição à mistura, conforme a Tabela 01.

Tabela 1 - Proporção dos materiais usados nos BTCs

Materiais	BTC-0	BTC-10	BTC-20	BTC-30
Solo	100%	90%	80%	70%
RMF	0%	10%	20%	30%
Cal	10%	10%	10%	10%

Os materiais foram pesados em balança com resolução de 10g e, a fim de se obter uma mistura homogênea, foram misturados em uma argamassadeira industrial com capacidade para 60 kg. A água adicionada correspondeu a aproximadamente 10% do total da mistura, tendo sido definida a quantidade a partir de pequenas adições do líquido juntamente com análise da textura e compactação.

A mistura, após ser homogeneizada, foi colocada na prensa hidráulica PH4C 40x40 T da Hidral-Mac para que os BTCs fossem produzidos, seguindo as recomendações da NBR 10833 [18] quanto à qualidade dos materiais empregados, apesar de que não se tratarem de blocos de solo-cimento. Foram feitos onze blocos para cada traço, sendo oito para o ensaio de resistência à compressão e três blocos para o ensaio de absorção, seguindo as recomendações da NBR 10836 [19], conforme pode-se observar na Figura 02. Os BTCs permaneceram em ambiente de laboratório até a idade de ensaio, aos 28 dias.

Para o ensaio de absorção, após os 28 dias, os BTCs ficaram imersos por 72 h após serem retirados da estufa, esfriados por 30 min e terem sido aferidas as suas massas secas (massa inicial).

Figura 2 - Ensaio de resistência à compressão (esq.) e de absorção (dir.) dos BTCs



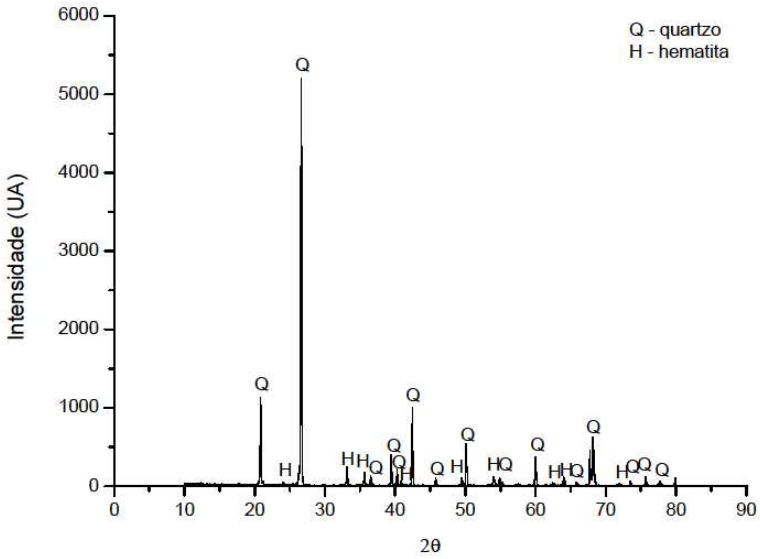

Para o ensaio de resistência à compressão, os blocos foram sobrepostos, no formato inteiro, e unidos com pasta de cimento 24 h antes do ensaio, ao invés de serem serrados ao meio para tal fim. Dessa forma, pretendeu-se evitar a perda de massa e a desagregação dos blocos com o corte, além de agilizar o ensaio.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo ensaio de granulometria, o RMF apresentou módulo de finura no valor de 0,13 e dimensão máxima característica no valor de 0,30. Esses valores permitiram que o RMF pudesse atuar como agregado e como fíler, principalmente pela sua acentuada característica cristalina, com picos de quartzo (Q) e hematita (H), como se observa no difratograma (Figura 3).

Pela análise química, o RMF apresentou: 48,92% de SiO_2, 48,70% de Fe_2O_3, 2,18% de Al_2O_3, 0,13% de SO_3 e 0,09% de MnO. Esses resultados atestam que o rejeito de mineração ainda pode conter elevados teores de ferro, mesmo após o processamento, resultado de uma extração pouco efetiva. Da mesma forma, foi observado um teor elevado de sílica, assim como outros autores [20, 21]. A finura da cal ficou no valor de 6,67%, compatível com a norma correlata (< 10%), ou seja, adequada para o ensaio.

Figura 3 - RMF – Difratograma



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%.

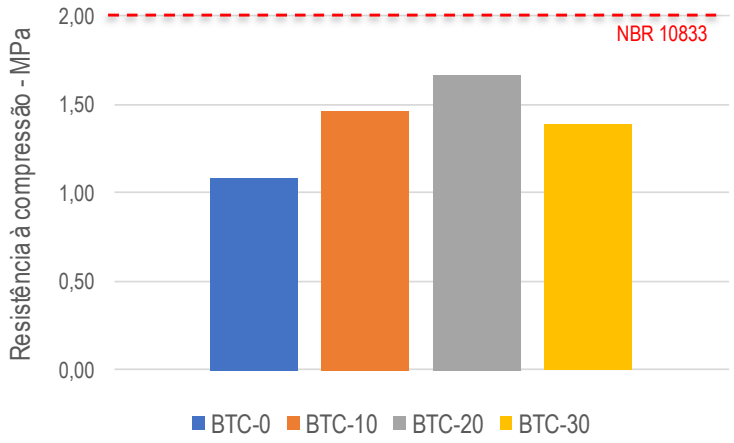
Tabela 2 - Resultado do ensaio de caracterização do solo.

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

Embora o Índice de Plasticidade obtido esteja 7% acima do indicado pela NBR 10833 [18] para a fabricação de blocos, o material foi corrigido posteriormente com RMF, sem prejuízo para o processo de moldagem dos BTCs com a composição solo-RMF proposto, inclusive melhorando algumas propriedades.

Em relação aos resultados do ensaio de resistência à compressão, aos 28 dias, pode-se observar que os valores encontrados não alcançam o valor de 2,00 MPa, mas que aumentaram à medida que o solo foi substituído por RMF (Figura 4). Os valores médios do grupo BTC-20 ficaram 53% acima do BTC-0, o que demonstra a efetividade do uso do RMF como estabilizante físico.

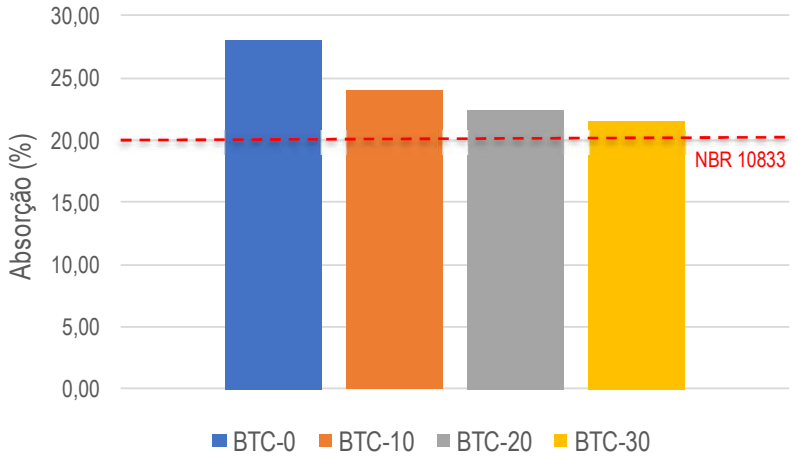
Figura 4 – BTCs com cal – ensaio de resistência à compressão



Figueiredo et al. [11] encontraram valores médios de 1,77 MPa, em blocos de solo-cal, e 1,27 MPa, nas misturas com 75% de resíduo de demolição em substituição ao solo, sendo os melhores resultados com 25% de substituição, no valor de 2,35 MPa, aos 28 dias.

Em relação ao ensaio de absorção, observa-se que a mistura com 30% de substituição de solo por RMF (BTC-30) obteve o melhor empacotamento e os valores se aproximaram dos 20% de absorção de água, valor requerido para os blocos de solo-cimento (Figura 5). Somente a estabilização do solo com a cal não se mostrou eficiente e os valores da mistura BTC-0 ficaram 40% acima dos valores recomendados pela NBR 10833.

Figura 5 – BTCs com cal – ensaio de absorção



Patricio et al. [12] também obtiveram melhores valores de absorção em blocos de solo-cal com teores de substituição de 20-25% de solo por resíduo de construção e demolição, aos 28 dias. Os autores acrescentaram que os valores de absorção tendem a diminuir com o aumento do tempo de cura, chegando ao melhor valor aos 90 dias.

4 - CONCLUSÕES

Após as análises, pode-se avaliar que o alto teor de sílica em estado cristalino e a elevada finura do RMF utilizado atuou na sua atuação como estabilizante físico dos BTCs, colaborando no preenchimento dos vazios deixados pelas partículas do solo, pela diminuição dos valores de absorção de água e pelo aumento da resistência à compressão, em comparação com os BTCs sem RMF.

Foi possível concluir que é possível utilizar a cal e o RMF como componentes de blocos para vedação, desde que haja a adequada impermealização dos sistemas construtivos de interface, como as fundações e a cobertura.

REFERÊNCIAS

1. IBRAM **Informações Sobre a Economia Mineral Brasileira.** Instituto Brasileiro de Mineração. Brasília, 2018.
2. SILVA, R. G. O. **Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de ferro.** 2010. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
3. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas** / Coord. Geral W. F. Pinheiro, O. B. Ferreira Filho, C. A. R. Neves; Equipe Técnica por Marina Marques Dalla Costa... [et. Al.]; – Brasília: DNPM, 2016. 31 p.
4. ANA. **Relatório de segurança de barragens.** Brasilia: Agencia Nacional de Àguas, 229p. Recuperado de http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/rsb-2016/relatorio-de-seguranca-de-barragens-2016.pdf.
5. SOUZA JUNIOR, T. F., MOREIRA, E. B., HEINECK, K. S. Barragens de contenção de rejeitos de mineração no Brasil. **HOLOS,** ano 34, vol. 05. DOI: 10.15628/holos.2018.7423.
6. PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. **Construction and Building Materials.** Volume 29, April 2012, Pages 512-519.
7. FERREIRA, W. L. **Adição de resíduos do setor mínero-metalúrgico na fabricação de tijolos solo-cal**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto, 2013.
8. MOREL, J., PKLA, A., WALKER, P. Compressive strength testing of compressed earth blocks. **Construction and Building Materials,** v. 21, 2007. p. 303–309.
9. JIMÉNEZ, Y. G. A.; IZAGUIRRE, V. M. G. Efectos de utilización de savias vegetales em bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión. LEGADO de Arquitectura y Diseño, 19, 2016. p. 101-110.

10. FRANÇA, B; AZEVEDO, A; MONTEIRO, S; GARCIA FILHO, F; MARVILA, M; ALEXANDRE, J; ZANELATO, E. Durability of soil-cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. Materials Research, v. 21. 2018.

11. FIGUEIREDO, S. S.; SILVA, C. G.; NEVES, G. A. Durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 64(3), 273-279, jul. set. 2011.

12. PATRICIO, S. M. R.; FIGUEIREDO, S. S.; BEZERRA, I. M. T.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil. **Cerâmica**, n. 59, 2013, p. 27-33.

13. 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.

14. ABNT. **NBR 7175:** Cal hidratada - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

15. ABNT. **NBR 7180:** Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

16. ABNT. **NBR 6459:** Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

17. ABNT. **NBR NM248:** Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

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

19. ABNT. **NBR 10836:** Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

20. SHETTIMA, A. U., HUSSIN, M. W., AHMAD, Y., MIRZA, J. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 72–79, 2016.

21. FONTES, W. C.; MENDES, J. C. SILVA, S. N.; PEIXOTO, R. A. F. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 988–995, 2016.