

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS EM BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

EVALUATION OF THE INCORPORATION OF STEEL WASTE IN SOIL-CEMENT BLOCKS

EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE RESIDUOS SIDERÚRGICOS EN BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

VICTOR FRANÇA CAMPOLINA | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
MATEUS GOMES BRETAS | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
FRANK ALISON DE CARVALHO, Me | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
RICARDO DE OLIVEIRA BRASIL COSTA, Me | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
BERNAT VINOLAS PRAT, Dr. | UFVJM - Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

RESUMO

O pó de balão e a escória de aciaria são dois resíduos gerados na indústria siderúrgica com potencialidade de uso como agregados na construção civil. O bloco de solo-cimento permite realizar construções de mais baixo custo e sustentáveis, melhorando também aspectos de ambiência. O uso de resíduos para produção da matriz de solo-cimento potencializa ainda mais a redução de custos e dos impactos ambientais. O objetivo deste trabalho é quantificar o aumento de desempenho nos blocos de solo-cimento devido à utilização de uma mistura de pó de balão e escória de aciaria. O percentual de incorporação da mistura dos dois resíduos variou de 0% a 8% do total da massa do solo. Os parâmetros avaliados foram a absorção de água e a resistência à compressão dos blocos. A substituição do resíduo pelo solo não alterou os valores de absorção de água, sendo sempre estes valores os exigidos pela normativa (absorção abaixo de 20%). No caso de substituição do solo pelo resíduo em uma quantidade de 8%, com respeito à massa total do solo, o aumento da resistência à compressão foi de 15%. Para todos os traços estudados, a resistência à compressão sempre foi superior à exigida pela normativa (>2,0 MPa). Conclui-se que o uso do bloco de solo-cimento nas construções com a utilização deste resíduo gera uma economia da obra e uma melhora nos aspectos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos siderúrgicos; solo-cimento; sustentável; bloco; ambiência

ABSTRACT

Balloon dust and steel slag are two residues generated in the steel industry with potential use as aggregates in civil construction. The soil-cement block allows more economy and sustainable constructions, also improving ambience's aspects. The use of waste to produce the soil-cement matrix further enhances the reduction of costs and environmental impacts. The objective of this work is to quantify the performance increase in soil-cement blocks due to the use of a mixture of balloon dust and steel slag. The percentage of incorporation of the mixture of the two residues varied from 0% to 8% of the total soil's mass. The evaluated parameters were the water absorption and the compressive strength of the blocks. The replacement of the residue by the soil did not modify the water absorption values, these values being always those required by the regulations (absorption below 20%). In the case of replacement of soil by residue in an amount of 8%, with respect to the total soil's mass, the increase in compressive strength was 15%. For all the



soil-cement recipes studied, the compressive strength was always higher than that required by the regulations (>2.0 MPa). It's concluded that the use of soil-cement block in constructions with the use of this residue generates economy of the work and an improvement in the environmental aspects.

KEYWORDS

Steel residues; soil-cement; sustainable; block; ambience

RESUMEN

Los polvos y la escoria de acería son dos residuos generados en la industria siderúrgica con potencial uso como áridos en la construcción. El bloque de tierra comprimida (BTC) con estabilización de cemento permite construcciones más económicas y sostenibles, mejorando también aspectos del ambiente. El uso de residuos para producir la matriz tierra-cemento mejora aún más la reducción de costos e impactos ambientales. El objetivo de este trabajo es cuantificar el aumento del rendimiento de los BTC debido al uso de una mezcla de polvo y escoria de acería. El porcentaje de incorporación de la mezcla de los dos residuos varió de 0% a 8% de la masa total de la cantidad de tierra. Los parámetros evaluados fueron la absorción de agua y la resistencia a la compresión de los BTC. La sustitución del residuo por la tierra no alteró los valores de absorción de agua, siendo éstos siempre los exigidos por la normativa (absorción inferior al 20%). En el caso de sustitución de tierra por residuo en una cantidad del 8%, con respecto a la masa total de tierra, el aumento de la resistencia a la compresión fue del 15%. Para todos los parámetros estudiados, la resistencia a la compresión fue siempre superior a la exigida por la normativa (>2,0 MPa). Se concluye que el uso de BTC en construcciones con aprovechamiento de este residuo genera economía en la obra y mejora los aspectos ambientales.

PALABRAS CLAVE

Palavras chave em espanhol vão aqui

1. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é responsável pela produção de grande quantidade de resíduos no Brasil (AMANCIO et al., 2020; CUNHA et al., 2006). Em 2018, para cada tonelada de aço produzida, foram gerados 628,5 kg de resíduos e coprodutos (PÁGIO et al., 2022), entre os quais o pó de balão, gerado em altos-fornos, além da escória de aciaria (LEOPOLDINO et al., 2019). O pó de balão, um resíduo sólido proveniente da indústria siderúrgica, é constituído basicamente de finos de carvão vegetal e minério (PAVERS et al., 2019). A escória de aciaria é um resíduo da fabricação do aço. Trata-se de líquido fundido, uma solução complexa de silicatos e óxidos que se solidifica após o resfriamento (OLIVEIRA, 2007). O pó de balão, assim como a escória de aciaria, é um produto que não possui atividade pozolânica (AMANCIO et al., 2020), porém ambos os materiais atendem às características físicas (resistência, durabilidade e granulometria) necessárias ao emprego como agregados na construção civil (CHAVES et al., 2020; RHODE et al., 2003). Na literatura científica, existem muitos estudos de reaproveitamento deste tipo de resíduo por meio de sua incorporação em: argamassas (LACERDA et al., 2016), concreto (MELO, 2020), pavimentação (COSTA et al., 2020; SANTOS et al., 2018) e correção do solo (OLIVEIRA et al., 2020). Shalabi (2017) estudou o emprego de escórias de aço como estabilizador de solos argilosos. Os resultados de sua pesquisa mostram que a escória de aço pode ser usada para melhorar as propriedades de engenharia da argila.

Em menor escala, também se encontram estudos da utilização desse material em produtos de solo-cimento. Em busca bibliográfica na plataforma da Scientific Electronic Library Online (SciELO), utilizando as palavras-chave 'resíduos siderúrgicos', 'pó de balão' e 'escória de aciaria', dos 49 artigos encontrados, só um se refere à utilização da escória de aço em blocos de solo-cimento (Castro, 2016). A utilização desse resíduo na produção de blocos de solo-cimento reduz os custos e promove melhoria ambiental na região de produção e utilização. Castro et al. (2016) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos, chegando à conclusão de que a utilização desses resíduos proporciona economia e a diminuição do passivo ambiental, além de ganhos para as características estéticas e tecnológicas do bloco de solo-cimento.

O solo é um dos materiais mais antigos utilizados na construção (GOMES et al., 2019; SANTOS; BESSA, 2020), pois se encontra em abundância. As construções com

esse material têm um custo mais baixo, além de serem mais sustentáveis (FRAGA et al., 2016). Outro aspecto importante é o conforto dentro dos cômodos. Estudos realizados por Minke (2015) mostram como esse tipo de material tem maior capacidade de absorção de umidade e inércia térmica. Ambos os fatores fazem com que, dentro dos cômodos, a variação de umidade e temperatura seja menor do que a de outros tipos de material, como paredes de tijolo cerâmico com reboco. Na avaliação realizada por Minke (2015), para uma variação da temperatura diurna exterior de 13°C, somada à radiação solar, a temperatura interna da casa de terra variou em apenas 4°C. Em contrapartida, na casa construída com bloco de concreto, a variação foi de 16°C.

Com a evolução das técnicas construtivas, apareceu um novo material, denominado solo-cimento, que é resultante da mistura homogênea e compactada de solo, cimento Portland e água (GIORGI et al., 2018; KIM et al., 2003). Depois de compactado, o material adquire resistência e durabilidade, em razão das reações de hidratação do cimento (GRANDE, 2003), sem necessidade de passar pelo processo de queima (NEGREIROS et al., 2018).

Os principais fatores que afetam as propriedades do solo-cimento são:

- Tipo de solo: solos bem graduados, com porcentagens de argila de 14 a 16%, são os ideais para produção de blocos de solo-cimento (VENKATARAMA; LATHA, 2014);
- Porcentagem de cimento: o aumento da porcentagem de cimento aumenta a resistência (GRANDE, 2003; WALKER; STACE, 1997);
- Energia de compactação: o aumento da energia de compactação melhora a resistência do produto de solo-cimento (MAHDAD; BENIDIR, 2008). Os valores ideais de pressão de compactação são de 4 até 10 Mpa (FAY et al., 2014);
- Umidade de compactação: o aumento da umidade de compactação quando os valores estão abaixo do valor ótimo de compactação aumenta a resistência (VENKATARAMA; PRASANNA, 2011);
- Homogeneidade da mistura: quanto mais homogênea for a mistura, melhor o desempenho do bloco de solo-cimento (PEDROTI, 2011).

Dos produtos que utilizam o solo-cimento como matéria-prima, um dos mais procurados é o bloco modular. Esse tipo de material diminui os custos de produção e permite construções mais sustentáveis (NASCIMENTO et al.,

2018), pois prescinde do processo de queima, ao contrário do bloco cerâmico. A grande disponibilidade de solo no entorno e/ou oriunda da movimentação de terra durante a fundação faz com que este tipo de solução construtiva apresente benefícios em todos os âmbitos da construção: nos custos, para o meio ambiente e para a ambiência da própria construção (VILEA et al., 2020, AUGUSTO et al., 2022).

Visando obter melhorias no produto do bloco de solo-cimento, é possível substituir parte do solo por agregados reciclados e/ou resíduos industriais (CRISTINA et al., 2018; BESSA et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2021). Há estudos de avaliação da reutilização de diversos resíduos na produção do bloco de solo-cimento, tais como rejeitos industriais (MENDES et al., 2019) e resíduos de concreto (SOUZA, 2008), os quais demonstram a possibilidade de se utilizar dosagens com menos de 6% de cimento na confecção desse produto. Ferreira et al. (2008) avaliaram as propriedades físico-mecânicas de blocos de solo-cimento após a adição de casca de arroz em lugar de 10% do cimento, atingindo resistências parecidas. Apesar de existir numerosos trabalhos sobre a utilização de resíduos na produção de blocos de solo-cimento, entre os quais alguns específicos sobre a utilização de pó de balão e escória de aciaria, até a data de conclusão deste artigo, não foram encontrados estudos acerca do grau de aumento da resistência dos blocos à compressão em função da porcentagem de utilização desse resíduo.

O objetivo deste trabalho, portanto, é avaliar como a reutilização da mistura de pó de balão com escória de aciaria melhora o desempenho dos blocos de solo-cimento em termos de resistência à compressão e de absorção de água. Os objetivos específicos são: 1) analisar, em termos físicos e mineralógicos, os componentes do resíduo da mistura de pó de balão e de escória de aciaria; 2) medir a resistência à compressão e absorção de água dos blocos de solo-cimento produzidos com diferentes porcentagens do resíduo (de 0% até 8%); 3) quantificar o aumento de resistência à compressão do bloco de solo-cimento em função da porcentagem de resíduo utilizada; e 4) Avaliar estatisticamente a correlação e significância estatística entre as seguintes variáveis: resistência à compressão, porcentagem de resíduo utilizado e absorção de água dos blocos de solo-cimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Sala de Construções Sustentáveis-Saudáveis, localizada no Laboratório

Integrado de Pesquisas Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Lipemvale), da Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, Minas Gerais. As análises de rompimento dos blocos de solo-cimento foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal da UFVJM. A análise do solo utilizado foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFVJM. A análise química por fluorescência de Raios-X da mistura do pó de balão com escória de aciaria foi realizada no Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais (Lamat), de responsabilidade do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) e da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG). Todos os processos, tanto a produção dos blocos de solo-cimento quanto os ensaios, foram realizados de acordo com a NBR 10834 (ABNT, 2013b).

2.1. Água

A água utilizada foi retirada das torneiras das bancadas do Laboratório de Construções Sustentáveis-Saudáveis, no prédio do Lipemvale, Campus II da UFVJM. É uma água classificada como potável, cuja origem são os poços tubulares profundos, que se encontram em região de característica mineralógica quartzítica. As suas características atendem às especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.2. Solo

O solo foi coletado no próprio campus da UFVJM, Campus JK, em Diamantina, MG. O solo escolhido como fonte de material foi o Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2018). Das quatro amostras de solo analisadas foram calculados as médias e os desvios-padrões das quantidades de areia, silte e argila contidas no solo. Os resultados foram: 77,75% e +/- 1,89% de areia; 1,5% e +/- 2,38% de silte; e 20,75% e +/- 0,5% de argila. O solo foi peneirado com a peneira nº 4, de 4,8 mm de abertura, para a retirada de matéria orgânica e de pedregulhos

2.3. Cimento

Para a produção de todos os blocos de solo-cimento, utilizou-se o cimento Portland CP IV 32 RS, de baixo calor de hidratação, do fabricante Cauê. O cimento foi adquirido em casa de material de construção na cidade de Diamantina, MG, e manteve-se dentro do prazo de validade durante a realização de ensaio. O material escolhido possui alto teor de Pozolana (entre 15 e 50%), o que

proporciona estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, além de ser altamente eficiente em solo-cimento (LIMA et al., 2016). Esse tipo de cimento apresenta os seguintes teores de compostos: de 3% a 7% de C3A, de 34% a 57% de C2S, de 21% a 44% de C3S e de 6% a 18% de C4AF (NEVILLE, 2015).

2.4. Resíduos

Os subprodutos foram doados pela Tubosete Ltda., empresa que beneficia escórias de siderúrgicas na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Os resíduos dessas escórias são o pó de balão, também chamado de pó de alto-forno, e a escória de aciaria. A matéria-prima é peneirada em várias granulometrias diferentes, desde dimensões maiores até bem finas. Após o peneiramento gradual, o material é passado por um ímã, para a retirada de metais com bom preço de mercado. O que sobra depois de tudo isso é o subproduto utilizado na proposta deste artigo, popularmente conhecido como pó de minério. Esses subprodutos se misturam durante o beneficiamento, ao fim do qual se obtém uma mistura arenosa de cor preta. A mistura dos dois resíduos (pó de balão + escória de aciaria) é a utilizada para produção de blocos de solo-cimento. O solo é substituído por uma porcentagem dessa mistura, considerada como resíduo.

2.5. Dosagens

O peso de cada bloco vazado é de, no máximo, 3.500g. Tendo em conta que, para cada traço, propõe-se a produção de quatro blocos, é preciso ter uma massa total aproximada de 14.000g para cada traço. Na Tabela 1, constam as quantidades de solo, de cimento e de resíduo utilizadas para cada traço, em massa e em percentual. Como observado, a porcentagem de cimento utilizada (12%) permanece inalterada. No caso em estudo, o solo é substituído pelo resíduo, em proporções variadas (de 0%, no caso do traço 1, até 8% em relação à massa total, no caso do traço 5). Em todos os casos, trabalhou-se com a mesma umidade de compactação (10%), isto é, ao material previamente seco foi adicionada uma quantidade de água igual, em peso, a 10% da soma total dos pesos de solo, cimento e resíduo. A umidade ótima de compactação para esse tipo de material tem valores compreendidos de 11% a 14% (SOUZA et al., 2008). Optou-se por trabalhar com uma umidade de 10% porque, tratando-se de um tipo de mistura muito arenosa, um aumento na umidade de compactação aumentaria a plasticidade do bloco,

inviabilizando sua desforma. O parâmetro de umidade de compactação se manteve sempre invariável em todos os traços dos blocos produzidos, para que não tivesse influência nos resultados.

Dosagem para a produção dos tijolos						
Traço	Solo		Cimento		Resíduo ⁽¹⁾	
	g	%	g	%	g	%
1	12.320	88,00	1.680	12,00	-	-
2	12.180	87,00	1.680	12,00	140	1,00
3	12.040	86,00	1.680	12,00	280	2,00
4	11.760	84,00	1.680	12,00	560	4,00
5	11.200	80,00	1.680	12,00	1.120	8,00

Tabela 01: Dosagem para a produção dos tijolos de solo-cimento.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: (1) 50 % de pó de balão e 50 % de escória de aciaria.

2.6. Produção dos blocos vazados de solo-cimento

Foram confeccionados, ao todo, vinte blocos de solo-cimento, separados em cinco traços. Cada traço continha quatro amostras. Para a produção dos blocos de solo-cimento, foram adotadas as seguintes etapas:

- a) de acordo com o traço que se desejava produzir (Tabela 1), foram adicionados o solo, o cimento e a quantidade necessária de resíduo que satisfizesse todas as proporções do traço. Todos os componentes adicionados estavam secos. Inicialmente, os componentes foram misturados manualmente, com o auxílio da enxada. Em seguida, foi adicionada a água, sempre no mesmo percentual de umidade (10%) e misturado todo o material novamente;
- b) após, a mistura de solo, cimento, água e resíduo foi homogeneizada novamente, de forma mecânica, com uso de equipamento específico, o triturador JAG 2500, da marca Sahara, que garante a decomposição de possíveis torrões de argila, melhorando a homogeneidade da mistura;
- c) a massa homogênea foi introduzida no silo do equipamento, para produção de blocos de solo-cimento, no caso, uma prensa manual da marca Sahara (Figura 1a);



Figura 1a: Prensa manual.
Fonte: acervo particular dos autores.



Figura 1b: Tijolo produzido.
Fonte: acervo particular dos autores.

- d) prensagem da massa homogênea dentro da forma de bloco que se encontra no equipamento de produção de blocos. O molde modular para produção do bloco possui espessura de 6,25cm, comprimento de 25cm, largura de 12,5cm e diâmetro de graute de 6,5cm. A prensagem foi feita com a aplicação de força de 800N na parte final da alavanca da máquina;
- e) desforma imediata do bloco e colocação em bancada próxima ao lugar de produção, até adquirir resistência, para facilitar o manuseio (Figura 1b);
- f) 24 horas após a produção, os blocos foram colocados dentro da sala, em ambiente controlado, para processo de cura, onde permaneceram por 28 dias em temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C e com umidade relativa superior a 90%, até os testes.

2.7. Teste de absorção

O primeiro teste realizado foi o teste de absorção de água, conforme as especificações da NBR 10836/2013 (ABNT, 2013c). Os blocos foram submersos em água por 48 horas, depois retirados e pesados (Pmolhado). Em seguida, os

blocos foram colocados em estufa a 105 °C, onde permaneceram por 48 horas. Ao serem retirados da estufa, os blocos foram pesados (Pseco). Posteriormente, foi calculada a porcentagem de absorção de água, mediante Equação 1, a seguir:

$$\% \text{ Absorção} = (X - Y) / Y \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo: X = Peso bloco molhado e Y = Peso bloco seco.

2.8. Capeamento

Antes do teste de resistência à compressão, procedeu-se ao capeamento dos blocos de solo-cimento. O capeamento permite que, durante o teste de resistência à compressão, as tensões aplicadas ao bloco sejam uniformes em toda a sua superfície. Este capeamento foi feito com pasta de cimento (traço: 1 de cimento para 1 de areia) de acabamento liso, dois centímetros de espessura e de elevada resistência (Figura 1c). Este capeamento tinha uma resistência teórica acima de 20MPa, muito superior à resistência teórica dos blocos de solo-cimento, de no máximo 4MPa.

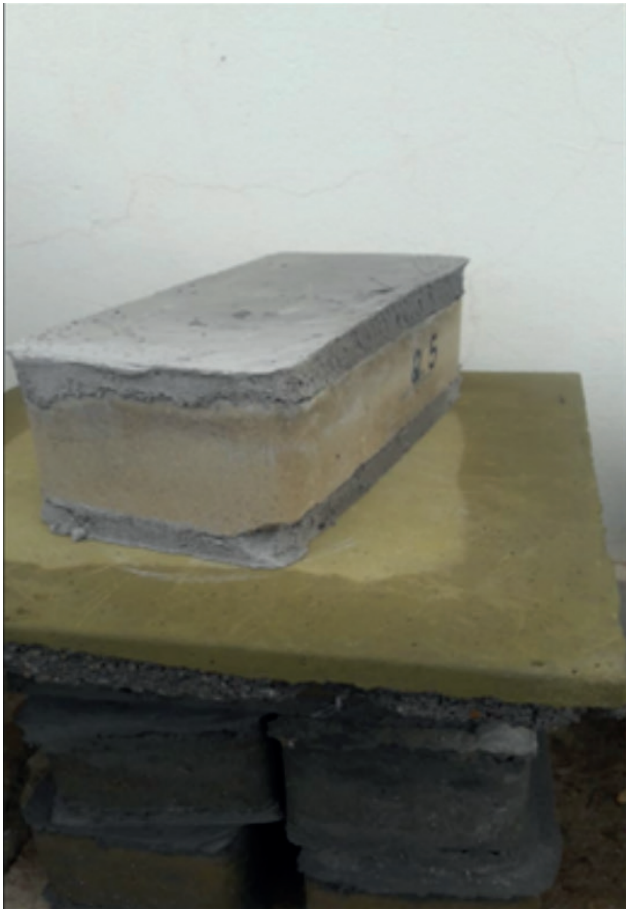


Figura 1c: Tijolo com capeamento.
Fonte: acervo particular dos autores.

2.9. Teste de rompimento

Para este teste, foi utilizada uma máquina de tensionamento do fabricante EMIC, mostrada na Figura 2a. O cálculo da resistência foi obtido mediante a seguinte equação:

$$\text{Resistência do bloco} = \text{Força rompimento} / \text{Área} \quad (2)$$

Cada bloco foi posicionado de forma a fazer com que todos os lados estivessem alinhados com a base da prensa. Os blocos foram sujeitos a uma tensão de compressão que aumentava gradativamente até o rompimento.

2.10. Análise estatística

Os dados dos testes de resistência e de absorção de água foram analisados por ANOVA, e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), com o auxílio do aplicativo SPSS Stastistic, versão 22.0. O SPSS também foi utilizado para o teste de Kolgomorov-Smirnov, que aferiu a



Figura 2a: Prensa EMIC para teste de rompimento.
Fonte: acervo particular dos autores.



Figura 2b: Bloco de solo-cimento posterior ao teste de rompimento.
Fonte: acervo particular dos autores.

normalidade das três variáveis em estudo, bem como para obtenção do coeficiente de correlação e do grau de significância da correlação entre as variáveis. Para a produção dos gráficos do modelo de correlação com a reta de regressão teórica, foi utilizado o aplicativo Microsoft Excel. Foi produzido um gráfico de correlação de resistência à compressão em função da porcentagem de resíduo utilizado e outro de resistência à compressão em função da absorção de água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se a composição do resíduo do pó de balão misturado com a escória de aciaria para a produção do bloco. Na Figura 3, apresenta-se a análise granulométrica dessa mesma mistura. Como observado na análise granulométrica, esse resíduo pode ser considerado, granulometricamente, como uma areia (tamanho de 0,06mm até 2mm).

3.1. Absorção de água e resistência à compressão

Composição química	Mistura de Pó de balão + Escória de aciaria (%)
CaO	17,00
SiO ₂	34,64
MgO	3,90
P ₂ O ₅	0,37
FeO	25,16
Al ₂ O ₃	12,19
Cr ₂ O ₃	0,11
F	0,00
K ₂ O	1,23
MnO	2,81
SO ₃	1,36

Tabela 02: Composição química do resíduo.
Fonte: Análise fornecida pela Empresa subministradora do resíduo (Tubosete Ltda.).

A imagem da Figura 2b mostra um bloco rompido após atingir seu limite de tensão. O tipo de rompimento é cônico, formato típico de um rompimento de peças de concreto e/ou solo-cimento submetidas a esforço de compressão. A Tabela 3 mostra os resultados dos dois ensaios (absorção de água e resistência), calculados a partir das equações (1) e (2).

As médias de absorção de água apresentaram valores muito similares nos diferentes tipos de traço (variações de no máximo +/- 2,5% em relação à absorção média de 15%). Já no caso de resistência à compressão, à medida que aumenta a porcentagem de resíduo, esta tem um acréscimo de resistência. Com a utilização de 8% de resíduo, atingiu-se uma resistência 15% maior do que a de uma mistura sem utilização de resíduo. As Tabelas 4 e 5 contêm as análises ANOVA realizadas para comparação das médias na absorção de água (Tabela 4) e na resistência à compressão (Tabela 5), com a utilização do teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o caso do estudo de absorção de água, observa-se (dados da Tabela 4) que, na comparação das médias, nenhum dos tipos difere da média, pois em todas as comparações realizadas o grau de significância foi maior que 0,05. Isso indica que a absorção não muda em função do aumento da utilização do resíduo. Como mostrado em outros estudos, a absorção depende da umidade de compactação da amostra e da pressão de prensagem. Neste estudo, a força de prensagem foi sempre a mesma (2 MPa), e a umidade de compactação (10%) também. As variações na absorção de água, sempre inferiores a 2,5%, são devidas ao fato de não haver uniformidade perfeita no processo de

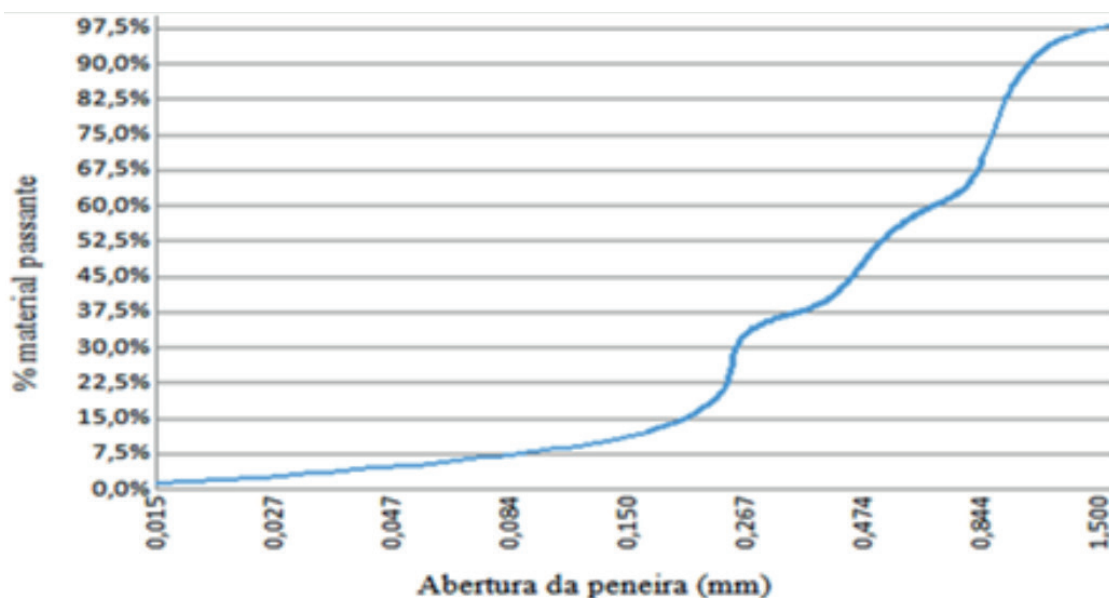


Figura 03: Análise granulométrica do resíduo.
Fonte: elaborada pelos autores.

CP/ Traço	Força rompimento (N)	Absorção de água (%)	Média da absorção	Resistência do bloco (Mpa)	Média da resistência
1.1	93219	15,73	15,39	2,98	3,11
1.2	103278	14,19		3,30	
1.3	94302	18,13		3,02	
1.4	97360	13,51		3,12	
2.1	103619	11,25	15,13	3,32	3,23
2.2	92354	19,09		2,96	
2.3	109123	12,69		3,49	
2.4	97860	17,47		3,13	
3.1	101167	14,06	14,93	3,24	3,30
3.2	100940	14,10		3,23	
3.3	105616	15,74		3,38	
3.4	105039	15,82		3,36	
4.1	104313	18,69	15,57	3,34	3,38
4.2	99682	13,63		3,19	
4.3	108900	15,73		3,48	
4.4	109500	14,23		3,50	
5.1	109710	15,87	14,68	3,51	3,51
5.2	112100	12,83		3,59	
5.3	104000	16,50		3,33	
5.4	112470	13,50		3,60	

Tabela 03: Forças de rompimento, absorção de água e resistência dos blocos de solo-cimento.

Fonte: elaborado pelos autores.

(I) Tipo	(J) Tipo	Diferença média (I-J)	Grau de Significância	Intervalo de Confiança 95%	
				Limite inferior	Limite superior
0% de Resíduo	1% de Resíduo	,265	1,000	-4,8563	5,3863
	2% de Resíduo	,460	,999	-4,6613	5,5813
	4% de Resíduo	-,180	1,000	-5,3013	4,9413
	8% de Resíduo	,715	,992	-4,4063	5,8363
1% de Resíduo	0% de Resíduo	-,265	1,000	-5,3863	4,8563
	2% de Resíduo	,195	1,000	-4,9263	5,3163
	4% de Resíduo	-,445	,999	-5,5663	4,6763
	8% de Resíduo	,450	,999	-4,6713	5,5713
2% de Resíduo	0% de Resíduo	-,460	,999	-5,5813	4,6613
	1% de Resíduo	-,195	1,000	-5,3163	4,9263
	4% de Resíduo	-,640	,995	-5,7613	4,4813
	8% de Resíduo	,255	1,000	-4,8663	5,3763
4% de Resíduo	0% de Resíduo	,180	1,000	-4,9413	5,3013
	1% de Resíduo	,445	,999	-4,6763	5,5663
	2% de Resíduo	,640	,995	-4,4813	5,7613
	8% de Resíduo	,895	,982	-4,2263	6,0163
8% de Resíduo	0% de Resíduo	-,715	,992	-5,8363	4,4063
	1% de Resíduo	-,450	,999	-5,5713	4,6713
	2% de Resíduo	-,255	1,000	-5,3763	4,8663
	4% de Resíduo	-,895	,982	-6,0163	4,2263

Tabela 04: Análise ANOVA. Comparação das médias de absorção de água pelo teste de Tukey
 Fonte: elaborado pelos autores.

(I) Tipo	(J) Tipo	Diferença média (I-J)	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
				Limite inferior	Limite superior
0% de Resíduo	1% de Resíduo	-,1200	,796	-,4521	,2121
	2% de Resíduo	-,1975	,390	-,5296	,1346
	4% de Resíduo	-,2725	,135	-,6046	,0596
	8% de Resíduo	-,4025 ⁽¹⁾	,014	-,7346	-,0704
1% de Resíduo	0% de Resíduo	,1200	,796	-,2121	,4521
	2% de Resíduo	-,0775	,948	-,4096	,2546
	4% de Resíduo	-,1525	,626	-,4846	,1796
	8% de Resíduo	-,2825	,115	-,6146	,0496
2% de Resíduo	0% de Resíduo	,1975	,390	-,1346	,5296
	1% de Resíduo	,0775	,948	-,2546	,4096
	4% de Resíduo	-,0750	,954	-,4071	,2571
	8% de Resíduo	-,2050	,356	-,5371	,1271
4% de Resíduo	0% de Resíduo	,2725	,135	-,0596	,6046
	1% de Resíduo	,1525	,626	-,1796	,4846
	2% de Resíduo	,0750	,954	-,2571	,4071
	8% de Resíduo	-,1300	,747	-,4621	,2021
8% de Resíduo	0% de Resíduo	,4025 ⁽¹⁾	,014	,0704	,7346
	1% de Resíduo	,2825	,115	-,0496	,6146
	2% de Resíduo	,2050	,356	-,1271	,5371
	4% de Resíduo	,1300	,747	-,2021	,4621

Tabela 05: Análise ANOVA. Comparação das médias de resistência a compressão pelo teste de Tukey.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: (1) Diferença significativa.

produção. Em todos os traços, a absorção ficou abaixo de 20%, valor máximo que a normativa permite (ABNT, 2013c).

Para o caso do estudo de resistência à compressão do bloco de solo-cimento (dados da Tabela 5), pode-se observar que, ainda que as médias de resistência aumentem à medida que se utiliza mais resíduo, não se pode considerar que estas médias diferem entre si pela análise ANOVA, exceto na comparação do traço tipo 1 (0% de resíduo) com o traço tipo 5 (8% de resíduo). Para a comparação do traço 1 com o 5, o valor de significância obtido pelo teste de Tukey foi de 0,014 ($<0,05$). Isso significa que, quando a substituição de resíduo pelo solo é de no mínimo 8%, iniciam-se os ganhos estatisticamente significativos na resistência à compressão.

O gráfico da Figura 4, construído a partir dos dados da Tabela 3, permite avaliar a resistência em MPa apresentada pelos blocos nos testes de rompimento, de acordo com a porcentagem de água absorvida por eles. A reta de regressão mostrada tem inclinação de -0,042. Isso significa que, quando a absorção de água diminui 1%, a resistência à compressão do bloco de solo-cimento aumenta em média 0,042 MPa. No estudo de Santana et al. (2019), observa-se uma tendência parecida entre absorção de água e resistência à compressão: quanto menor a absorção de água, maior será a resistência.

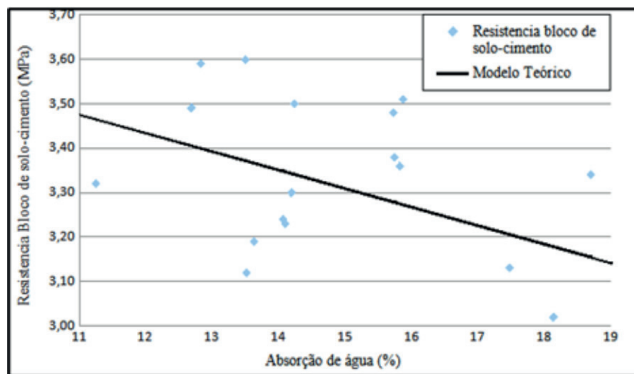


Figura 04: Reta de regressão linear da resistência à compressão em relação à absorção de água.
Fonte: elaborado pelos autores.

O gráfico da Figura 5, também construído a partir dos dados da Tabela 3, permite avaliar a resistência à compressão em MPa apresentada pelos blocos nos testes de rompimento, de acordo com a porcentagem de resíduos presentes na mistura. A reta nele traçada também é fruto de uma regressão linear com inclinação de 0,046. Isso significa que, à medida que se adiciona mais resíduo, observa-se uma melhora da resistência à compressão. Em média, para cada 1% de material de solo substituído pelo

resíduo, obtém-se um aumento de 0,046 Mpa na resistência à compressão do bloco de solo-cimento.

A NBR 10836/2013 estabelece que os blocos devem apresentar absorção de água inferior a 20%, portanto percebe-se que os resultados do presente estudo estão de acordo com as exigências da referida norma. Quanto aos resultados de resistência à compressão, conforme os dados do gráfico da Figura 5, pode-se inferir que, com o aumento percentual de resíduos incorporados, a resistência dos blocos aumenta.

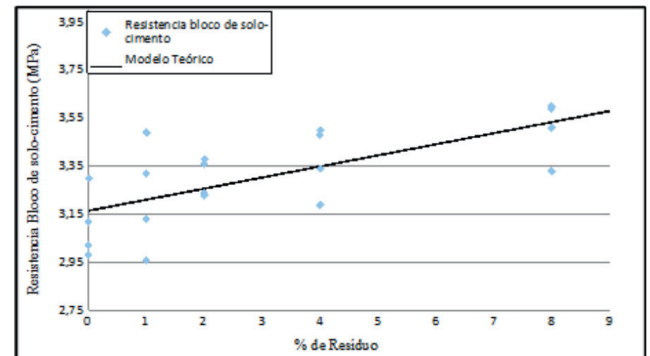


Figura 05: Reta de regressão linear da resistência à compressão em relação à % de resíduo.
Fonte: elaborado pelos autores.

Posteriormente, com o auxílio do aplicativo SPSS, foi verificado o grau de correlação entre os diferentes parâmetros em estudo e avaliado se esta correlação era estatisticamente significativa. Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, constatou-se que a variável 'porcentagem de cimento' não podia ser considerada uma distribuição normal. Então, para avaliar a correlação entre as variáveis, apurou-se o coeficiente de Spearman. Os dados de correlação entre as variáveis e sua significância estatística estão dispostos na Tabela 6. Em síntese, as variáveis que se correlacionam são: porcentagem de resíduo e resistência (coeficiente de correlação forte, de 0,724); e absorção de água e resistência (coeficiente de correlação baixo, de -0,323). De acordo com o estudo estatístico, a utilização de maior ou menor quantidade de resíduo não influencia na porcentagem de absorção de água (coeficiente de correlação nulo, de -0,028). Como comentado anteriormente, o parâmetro no processo de produção que permite diminuir a absorção de água é o aumento da energia de compactação. E este parâmetro se manteve constante.

Avaliando os aspectos de significância estatística (Tabela 6), a única correlação significativa é a relação entre porcentagem de resíduo utilizado e resistência à compressão do bloco (valor de significância zero, menor que 0,01). Nas outras duas comparações entre variáveis, não há

correlação estatisticamente significativa. Quando se comparam as variáveis ‘porcentagem de utilização de resíduo’ e ‘absorção de água’, a comparação não é significativa, porque essas duas variáveis não se correlacionam. Ao se comparar as variáveis ‘absorção de água’ e ‘resistência à compressão’ dos blocos de solo-cimento, tampouco existe significância estatística (valor de significância de 0,908, superior a 0,01), apesar de as duas variáveis estarem correlacionadas. Em alguns casos, essa falta de significância pode ser devida ao baixo número de amostras rompidas.

Coeficiente de Spearman		% de Resíduo	Resistência	Absorção
% de Resíduo	Coeficiente de Correlação	1,000	,724 ⁽¹⁾	-,028
	Significância (2 extremidades)	.	,000	,908
	N	20	20	20
Resistência	Coeficiente de Correlação	,724 ⁽¹⁾	1,000	-,323
	Significância (2 extremidades)	,000	.	,165
	N	20	20	20
Absorção	Coeficiente de Correlação	-,028	-,323	1,000
	Significância (2 extremidades)	,908	,165	.
	N	20	20	20

Tabela 06: Análise ANOVA. Comparação das médias de resistência pelo teste de Tukey
Fonte: elaborada pelos autores.

Nota: (1) A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Analisando-se o diagrama da Figura 6, que explicita as proporções ideais da composição dos solos utilizados para a produção de blocos de solo-cimento, pode-se entender melhor os resultados obtidos. O solo utilizado neste trabalho, por possuir 77,75% de areia, 20,75% de argila e 1,5% de silte, encontra-se dentro do perímetro ideal (área sombreada da Figura 6), porém em seu limite de borda (ponto A da imagem) para produção de blocos de solo-cimento.

A granulometria do resíduo utilizado é equivalente a uma areia (ponto B da figura). Isso nos permite entender, portanto, os baixos valores percentuais de resíduos admitidos para incorporação na mistura a fim de que se obtenham resultados satisfatórios, uma vez que a incorporação dos resíduos siderúrgicos é geradora de um aumento na quantidade final de areia presente na mistura. Isso confere maior resistência em longo prazo, porém a coesão é muito pequena, o que causa problemas na desforma dos blocos. Então, uma quantidade maior de resíduo aumentaria mais a resistência do bloco de solo-cimento, porém traria dificuldade para sua produção, pois, na hora da desforma, a coesão do bloco seria pequena e poderia

apresentar quebra no processo de produção antes de o bloco adquirir resistência.

Por falta de material argiloso no solo de referência utilizado neste estudo, caso os valores de resíduo utilizado fossem superiores a 10%, a mistura de solo com resíduo tenderia a ficar fora da zona ideal de produção dos blocos (segundo Figura 6). Só fosse utilizado um solo mais argiloso existiria a possibilidade de aumentar a porcentagem de resíduo.

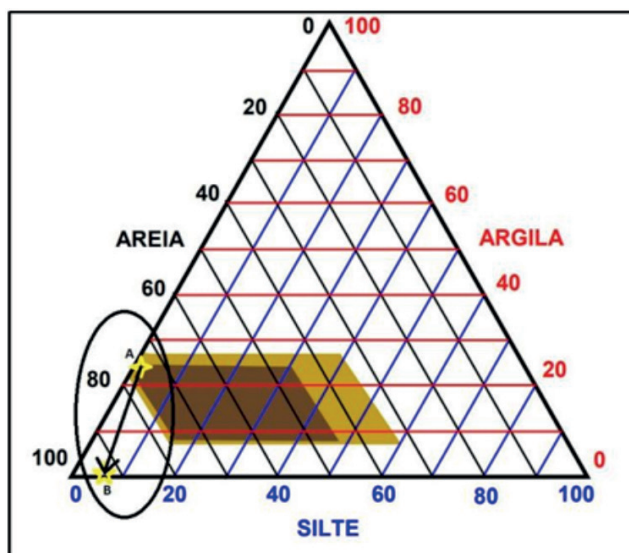


Figura 06: Diagrama indicativo de uso de solo para produção de blocos de solo-cimento.

Fonte: Imagem modificada de Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo, Pg. 20, Rede Ibero-americana (NEVES et al. (2010, p. 20).

4. CONCLUSÕES

No que concerne à utilização de resíduo de pó de balão e escória de aciaria para a produção de blocos vazados de solo-cimento, eis as conclusões deste trabalho:

- Esses resíduos siderúrgicos podem ser utilizados na produção de blocos de solo-cimento em substituição de parte do solo;
- Quando as porcentagens utilizadas de resíduo são maiores a 8%, observa-se um aumento da resistência à compressão em torno de 15% no caso específico deste estudo (solo com porcentagem de argila de 22%);
- A utilização desses resíduos não alterou os valores de absorção de água dos blocos de solo-cimento;
- Quanto maior a quantidade de resíduos adicionada, maior a resistência à compressão dos blocos de solo-cimento em longo prazo, mas, em contrapartida, maior é a dificuldade de desforma. Sendo assim, entende-se que, para viabilizar produção

dos blocos, a máxima porcentagem de resíduos permitida na mistura seria de 10%, para o tipo de solo utilizado neste estudo. Caso o solo tivesse uma quantidade maior de argila (> 25%), seria possível utilizar uma quantidade de resíduo maior, em percentual idêntico ao aumento percentual da quantidade de argila existente no solo estudado;

- Para pesquisas futuras, recomenda-se um número maior de ensaios, para que se possa obter o grau de influência (r^2) em termos de resistência à compressão, devido à utilização do resíduo em estudo. Para obter este valor, são necessárias mais amostras, com mais dados referentes à variável 'porcentagem de cimento', a fim de que se possa ter uma distribuição normal desta variável no teste de Kolgomorov-Smirnov;
- Entende-se como pertinente a apresentação dos resultados às indústrias geradoras dos resíduos utilizados neste trabalho, pois se trata de uma proposta viável para a destinação final adequada desse material, a fim de melhorar as condições de sustentabilidade dessas indústrias e obter uma possível fonte de recursos para investimento em ciência, além de proporcionar melhores condições de vida para futuros usuários de edificações construídas com este tipo de material.

REFERÊNCIAS

AMANCIO, F. A.; LIMA, D. A.; DIAS, A. R. D. O.; MESQUITA, E. F. T.; CABRAL, A. E. B. Propriedades mecânicas de argamassas com substituição da areia natural por escória de aciaria BSSF (baosteel's slag short flow). **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, 2020. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0887>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: **Bloco de solo-cimento sem função estrutural-Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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: ABNT, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto- Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

AUGUSTO EUPHROSINO, C.; JACINTHO, A. E. P. G. D. A.; LORENA PIMENTEL, L.; CAMARINI, G.; FONTANINI, P. S. P. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, 2022. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-47087>.

BESSA, S. A. L. et al. Comportamento mecânico de alvenarias de terra com resíduos de construção e demolição. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 5, n. 4, p. 53-62, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n4.53-62>.

CASTRO, M. A. M.; COSTA, F. G. D.; BORBA, S. C.; FAGURY NETO, E.; RABELO, A. A. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 666-676, 2016. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0064>.

CHAVES, N. O.; OLIVEIRA, R. M. P. B. As alternativas de aproveitamento do pó do alto-forno: uma revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 188-198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2020.v12.p.188-198>.

COSTA, S. N.; SANTOS, R. O. G. Utilização da escória de aciaria em combinação com solo para uso em camadas de pavimentação rodoviária. **Engineering Sciences**, Aracaju, v. 8, n. 1, p. 57-66, 2020. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/engineeringsciences/article/view/CBPC2318-3055.2020.001.0007>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CRISTINA, P., SALOMÃO, P. E. A., CANGUSSÚ, L., & DE CARVALHO, P. H. V. Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 7, n. 9, p. 1-18, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560659016007/560659016007.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CUNHA, A. F. D.; MOL, M. P. G.; MARTINS, M. E.; ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem

de carepas geradas em processos siderúrgicos. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, p. 111-116, jan./mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000100014>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

FAY, L.; COOPER, P.; MORAIS, H. F. de. Innovative interlocked soil-cement block for the construction of masonry to eliminate the settling mortar. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 52, p. 391-395, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.030>.

FERREIRA, R. D. C.; GOBO, J. C. D. C.; CUNHA, A. H. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000100001>.

FRAGA, Y. S. B.; BARBOSA, A. Q.; SANTOS, L. H. P.; MOTA, W. V.; DORTAS, I. S. Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Caderno de Graduação -Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v. 3, p. 3, p. 11-24, 2016. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/2882/1944>. Acesso em: 20 mar. 2022.

GIORGI, P.; GRIGOLETTI, G. D. C.; LIMA, R. C. A. D.; LORENZI, L. S. Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, 2018. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0511>.

GOMES, M. I.; SANTOS, T.; GONILHO-PEREIRA, C.; FARIA, P. Construção com base em terra: contributo para a ecoeficiência na construção. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO AMBIENTAL. 2019, Lisboa. **Anais [...]**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2019. P. 1-9. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/83184/1/CI_Gomes_et_al_Construcao_com_terra_SGA19_IST.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares**

de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/pt-br.php>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KIM, B. I.; WEE, S. H.; LEE, S. H.; KIM, Y. U. Strength characteristics of soil-cement mixed with inorganic solidification liquid. **KSCE: Journal of Civil and Environmental Engineering Research**, [S. l.], v. 23, n. 3C, p. 135-141, 2003. Disponível em: <http://journal.auric.kr/jksce/Archive/200305/11>. Acesso em: 20 jan. 2023.

LACERDA, C.; CUNHA, J. C. S.; DELGADO JUNIOR, H. G.; PALMEIRA, A. A.; XAVIER, C. R.; CASTRO, J. A. Estudo de traços de argamassa utilizando escória de aciaria elétrica para produção de argamassa. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 11, n. 31, p. 13-21, 2016. DOI: 10.47385/cadunifoa.v11.n31.345.

LEOPOLDINO, C. C. L.; BARBOSA, D. C.; MENDONÇA, F. M. D.; INFANTE, C. E. D. D. C.; NOGUEIRA, E. A. T. Impactos ambientais e financeiros da implantação do gerenciamento de resíduos sólidos em um complexo siderúrgico: um estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1239-1250, nov./dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019185146>.

LIMA, C. S. B.; CORDEIRO, L. C. A.; RIBEIRO, R. C., JOBEL JÚNIOR, V. ; GUIMARÃES, W. S.; BENARROSH, P. F. P. M. Produção, utilização e vantagens do cimento Portland e cp iv. **Revista Farociencia**, Porto Velho, c, 4, n. 1, 2016. Não paginado. <https://doi.org/10.36703/farociencia.v4i1.161>.

MAHDAD, M.; BENIDIR, A. Hydro-mechanical properties and durability of earth blocks: influence of different stabilisers and compaction levels. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 9, n. 2, p. 44-60, 2018. Disponível em: <https://www.sbt-durabi.org/articles/article/aDGn/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MELO, T. V. de. **Influência da escória de aciaria LD no desempenho de concretos com baixo consumo de cimento**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas

Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35671#:~:text=Os%20resultados%20indicaram%20que%20o,51%20kg%20Fm%C2%B3%20FMPa>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MENDES, M. V. A.; RIBEIRO, A. S.; OLIVEIRA, D. de A.; GARCIA, E. A. S.; AGAPITO, M. L. B. Utilização de rejeito magnético para moldagem de tijolos. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 573-578, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20191688>.

MINKE, G. Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável. São Paulo: B4 Editores, 2015. 225 p. NASCIMENTO, Á. M.; FEITOSA, A. de O.; SILVA ALMEIDA, T. da; LACERDA, D. M. de. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção. **Revista InterScientia**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 187-202, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/download/645/527>. Acesso em: 20 fev. 2022.

NASCIMENTO, E. S. S.; SOUZA, P. C. de; OLIVEIRA, H. A. de; MELO JÚNIOR, C. M. M.; ALMEIDA, V. G. de O.; MELO, F. M. C. de. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 321, 2021. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129002>.

NEGREIROS, R. L.; NUNES, K. G.; BISPO, C.; MORAIS, A. de. Comparativo sustentável e econômico entre a utilização do tijolo solo-cimento e o tijolo cerâmico de vedação em habitação de interesse social na cidade de Teófilo Otoni-MG. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Limeira, p. 287-210, dez. 2018. Disponível em: https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2018/comparativo_sustentavel_e_economico_entre_a_utilizacao_do_tijolo_solo__279.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. [S. l.]: Rede Ibero-americana Proterra, 2009. Disponível em: <http://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2022/12/Manual-Selecao-de-solos-Faria-Neves-2009.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

OLIVEIRA, E. B. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-7ABNJZ>. Acesso em: 20 jan. 2023.

OLIVEIRA, M. R.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, R. L. V.; BACKES, C.; DE GODOY, L. J. G.; DO SANTOS, A. J. M. Correção do solo para plantio de grama bermuda utilizando escória de aciaria ou calcário. **Ornamental Horticulture**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 475-485, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i3.2203>.

PAGIO, M. Z.; CARRARETO, L. F.; VIEIRA, G. L.; MAGALHÃES, D. C. Caracterização de resíduos siderúrgicos visando à aplicação em matrizes cimentícias. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 167-186, abr./jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000200599>.

PAVERS, R. I.; EL POLVO, D. S. Estudo da substituição parcial do pó de pedra por pó de balão, resíduos de porcelanato e borracha de pneu em pavers. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 7, n. 1, p. 118-148, jan./mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1502/1201>. Acesso em: 20 jan. 2023

PEDROTI, G. L. **Desenvolvimento de massa cerâmica com uso de resíduo de granito para obtenção de blocos cerâmicos prensados de encaixe de matriz argilosa**. 2011. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos do Goytacazes, 2011. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/tese_doutorado_leonardo_g_pedroti.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

ROHDE, L.; NUNEZ, W. P.; CERATTI, J. A. P. Escoria de aciaria elétrica: uma alternativa aos materiais granulares tradicionais. **Transportes**, v. 11, n. 1, p. 13-17, 2003. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v11i1.115>.

SANTANA, P. S.; CARVALHO, F. A. de; PRAT, B. V.; VIEIRA, F. T. Influência da vibração na moldagem de corpos de

prova de solo-cimento: Sob os resultados de ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 4, v. 2, n. 12, p. 102-116 dez. 2019. Disponível em: -. Acesso em: 20 jan. 2023.

SANTOS, A. L. dos; PITANGA, H. N.; SILVA, A. C. B.; SILVA, T. O. da. Caracterização do comportamento mecânico de misturas de solo-escória de aciaria-cinza volante visando a aplicação em pavimentação. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 7, n. 1, p. 16-29, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i1.57963>

SANTOS, D. P.; BESSA, S. A. L. O uso do adobe no Brasil: uma revisão de literatura. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66>.

SHALABI, F. I.; ASI, I. M.; QASRAWI, H. Y. Effect of by-product steel slag on the engineering properties of clay soils. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 29, n. 4, p. 394-399, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.07.004>.

SOUZA, M. I.; SEGANTINI, A. A.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/x3zyWVxQJPst4DWZyY3WqD/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VENKATARAMA, R. B. V.; LATHA, M. S. Influence of soil grading on the characteristics of cement stabilised soil compacts. **Materials and Structures**, [S. l.], v. 47, n. 10, p. 1633-1645, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-013-0142-1>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VENKATARAMA, R. B. V.; PRASANNA K., P. Cement stabilised rammed earth. Part A: compaction characteristics and physical properties of compacted cement stabilised soils. **Materials and structures**, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 681-693, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-010-9658-9>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VILELA, A. P.; EUGÊNIO, T. M. C.; OLIVEIRA, F. F. de; MENDES, J. F.; RIBEIRO, A. G. C.; BRANDÃO, L. E. V. D.

S.; MENDES, R. F. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 262, 2020. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120883>.

WALKER, P.; STACE, T. Properties of some cement stabilised compressed earth blocks and mortars. **Materials and structures**, [S. l.], v. 30, n. 9, p. 545-551, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02486398>. Acesso em: 20 jan. 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Saúde, Sociedade e Meio Ambiente e ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), instituição onde foi realizado este trabalho de pesquisa; ao Laboratório de Tecnologia da Madeira, no Departamento de Engenharia Florestal da UFMG; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes); à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da UFMG; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig); e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa (Processo 310398/2022-3).

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5103-3492>

VICTOR FRANÇA CAMPOLINA | Faculdade Una de Sete Lagoas - Unaset, Av. Secretário Divino Padrão, 1.411 - Santo Antônio, Sete Lagoas - MG, Brasil. CEP: 35702-075). E-mails: vfcampolina@hotmail.com / vcampolina09@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9327-7839>

MATEUS GOMES BRETAS | Faculdade Anhanguera de Ipatinga - Rua Jequitibá, nº 401, Bairro Horto, Ipatinga-MG, Brasil. CEP: 35.160-306 - empresa pertencente à Orme Serviços Educacionais LTDA) - E-mails: mateusgbretas1@gmail.com / mateus.bretas@ufvjm.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1382>

FRANK ALISON DE CARVALHO | Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Instituto de Ciência e Tecnologia - Diamantina - MG - Brasil)

- Endereço profissional: UFVJM - Campus JK - Alto da Jacuba - Diamantina/MG - CEP 39100.000 - E.mail: frank.carvalho@ict.ufvjm.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6735-0625>

RICARDO DE OLIVEIRA BRASIL COSTA | Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Diamantina - MG - Brasil) - Endereço profissional: UFVJM - Campus JK - Alto da Jacuba - Diamantina/MG - CEP 39100.000 - E.mail: ricardobrasil@ufvjm.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0002-2811>

BERNAT VINOLAS PRAT | Doutor em engenharia da construção pela Universidade Politécnica de Catalunha - Barcelona - Espanha) - Endereço profissional: UFVJM - Campus JK - Alto da Jacuba - Diamantina/MG - CEP 39100.000 - Email: bernat.vinolas@ict.ufvjm.edu.br

ROBC - conceituação, curadoria de dados, análise formal, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

BVP: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

CAMPOLINA, Victor França; BRETAS, Matheus Gomes; CARVALHO, Frank Alison de; COSTA Ricardo de Olivera Brasil; PRAT, Bernat Vinolas. Incorporação de Resíduos Siderúrgicos à Confeção de Blocos de Solo-Cimento. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 83-100, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexus.ufsc.br/index.php/mixsustenta-vel>>. Acesso em: __/__/__. doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.83-100>>.

SUBMETIDO EM: 26/11/2022

ACEITO EM: 13/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Helena Maria Coelho da Rocha e Lisiane Ilha Librelotto.

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

VFC: curadoria de dados, investigação, validação, visualização, escrita - rascunho original.

MGB: curadoria de dados, investigação, validação, visualização, escrita - rascunho original.

FAC: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.