



ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE REJEITOS DE MINÉRIOS PARA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO SUSTENTÁVEIS

**SOFIA ROXANNE FELIX GOMES; LUAN JOSÉ PEREIRA MONTEIRO; CAMILA
CAMPOS GÓMEZ FAMÁ; LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES**

RESUMO

A atividade mineral impacta diretamente no meio ambiente, em geral, nas fases de exploração dos bens minerais, como a abertura da cava, no desmonte de rocha, no transporte, no beneficiamento do minério e na disposição do material de rejeito e estéril. Porém, é um segmento econômico de fundamental importância para a sociedade e pode ter suas atividades geridas com consciência ambiental. Além disso, a construção civil também enfrenta entraves para atender a demanda da sociedade no quesito sustentabilidade, sobretudo, de modo a mitigar a exploração de recursos naturais e a geração de resíduos. Nesse cenário, o aproveitamento de rejeitos para a produção do tijolo ecológico torna-se extremamente atraente, pois, proporciona um consumo mais consciente dos bens ambientais, já que os recursos naturais são finitos, como também, propicia às empresas ganhos financeiros antes não existentes, fazendo com que realmente haja uma economia sustentável, contemplando os três pilares de sustentabilidade: o ambiental, o social e o econômico. Com isso, esta pesquisa teve como objetivo utilizar o rejeito do beneficiamento de caulim para produção de tijolos ecológicos. Para tanto, foram confeccionados tijolos de referência com traço 1:8 e tijolos com incorporação de 10% de resíduos de caulim. Ambos os tijolos foram avaliados a partir da realização de ensaios para analisar sua adequação às normas da ABNT vigentes. O ensaio de resistência à compressão simples dos tijolos confeccionados não atendeu aos valores exigidos, contudo, os resultados encontrados foram similares para tijolos de referência e com adição de caulim, mostrando que a incorporação deste minério não altera a resistência destes. Já no teste de absorção de água os tijolos com adição de caulim apresentaram desempenho superior aos tijolos de referência. Os resultados evidenciam que há possibilidade do reuso do resíduo de caulim para produção de tijolos solo-cimento, contudo são necessários mais estudos com variações das proporções utilizadas na confecção deste material.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Construção Civil; Mineração; Meio Ambiente; Material Estéril.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é sem dúvida, uma das maiores consumidoras de recursos naturais e conseqüentemente geradora de resíduos no mundo. E com isso, traz uma grande responsabilidade no gerenciamento de seus resíduos.

De acordo com CBCS (2021) a construção civil é responsável por uma grande parte do consumo de recursos naturais e geração de resíduos, pois o setor consome 75% dos recursos naturais e gera 80 milhões de toneladas de resíduos por ano.

Fernandes (2015) aponta que há pouco tempo, somente se falava em destinar os resíduos da construção civil para locais específicos, separados dos demais resíduos produzidos pelo povo, porém diante de tantos desafios enfrentados pela sociedade, em tornar as ações humanas mais sustentáveis, essa indústria foi provocada a encontrar soluções para os problemas dos seus

resíduos.

Paralelamente, a atividade mineral também enfrenta seus desafios para atender a demanda da sociedade no quesito sustentabilidade e aliados nesse ganho mútuo, a construção civil e a mineração começam a reutilizar material estéril na confecção de tijolos e telhas, visando ganhos atrativos, onde o meio ambiente e as indústrias do ramo são mutuamente beneficiadas.

De fato, a atividade mineral também impacta diretamente no meio ambiente, em geral, nas fases de exploração dos bens minerais, na abertura da cava, no desmonte de rocha, no transporte, no beneficiamento do minério e na disposição do material de rejeito e estéril. Porém, é um segmento econômico de fundamental importância para a sociedade e pode ter suas atividades geridas com consciência ambiental.

Conforme Verum Partners (2024) esses materiais descartados pela mineração, muitas vezes representam um passivo ambiental, devido a sua quantidade e possibilidade de contaminar o meio ambiente. A integração desses materiais sem utilidade, os resíduos da mineração, na construção civil oferta uma dupla solução, pois reduz o impacto ambiental e conserva os recursos naturais.

A preocupação com os recursos ambientais de forma inteligente está fortemente em evidência, pois se tornou uma necessidade para o planeta e para as futuras gerações, onde o tema sustentabilidade é destaque em eventos e congressos internacionais (DA SILVA BARBOSA et al., 2018).

Nesse cenário, o aproveitamento de rejeitos para a produção do tijolo ecológico torna-se extremamente atraente, pois, proporciona um consumo mais consciente dos bens ambientais, já que os recursos naturais são finitos, como também, proporciona as empresas ganhos financeiros antes não existentes, fazendo com que realmente haja uma economia sustentável, contemplando os três pilares de sustentabilidade: o ambiental, o social e o econômico. Com isso, esta pesquisa tem como objetivo utilizar os rejeitos do beneficiamento de caulim para produção de tijolos ecológicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A confecção dos tijolos foi feita utilizando a norma NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento (ABNT, 2012). Deste modo, a preparação do material foi realizada em quatro etapas, conforme explanado abaixo:

- 1) Preparação da amostra de solo e do resíduo de caulim;
- 2) Caracterização do solo;
- 3) Confecção do tijolo de solo-cimento;
- 4) Realização dos ensaios para análise da adequação dos tijolos à norma.

Na fase inicial, a preparação da amostra de caulim passou pelo processo de moagem e análise granulométrica e o solo pelo processo de ensaio granulométrico. Ambos os materiais deveriam atender às seguintes características:

- A. 100% de material que passa na peneira com abertura de malha de 4,75 mm;
- B. 10% a 50% de material que passa na peneira com abertura de malha 75µm.

Em seguida, determinou-se que o traço a ser utilizado nos tijolos solo-cimento de referência seria de 1:8 e que nos tijolos solo-cimento com resíduo de caulim seriam incorporados teores de 10% deste material.

A etapa seguinte consistia na caracterização do solo a ser utilizado para confecção dos tijolos, onde foram realizados os ensaios de limite de liquidez e índice de plasticidade, buscando obter valores, respectivamente, menor ou igual a 45% e 18% em conformidade com a NBR 10833 (ABNT, 2012).

Posteriormente, a produção do tijolo ecológico foi executada com prensa manual, sendo

confeccionados os tijolos de referência e os com resíduo de caulim incorporado nas dimensões de 25cm x 12,5cm x 2,5cm de acordo com as especificações das normas NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 10833 (ABNT, 2012). Após a moldagem, foi realizada a cura dos tijolos nos períodos de 24 horas e 7 dias para execução dos ensaios de adequação à norma. A Tabela 1 mostra a quantidade de cada material utilizado para a produção dos tijolos.

Tabela 1: Quantitativo dos materiais utilizados para a moldagem dos tijolos.

Materiais utilizados	Tijolos de referência	Tijolos com 10% de caulim incorporado
Solo (kg)	12	12
Cimento (kg)	1,5	1,35
Res. Caulim (g)	0	150
Água (ml)	2000	2000

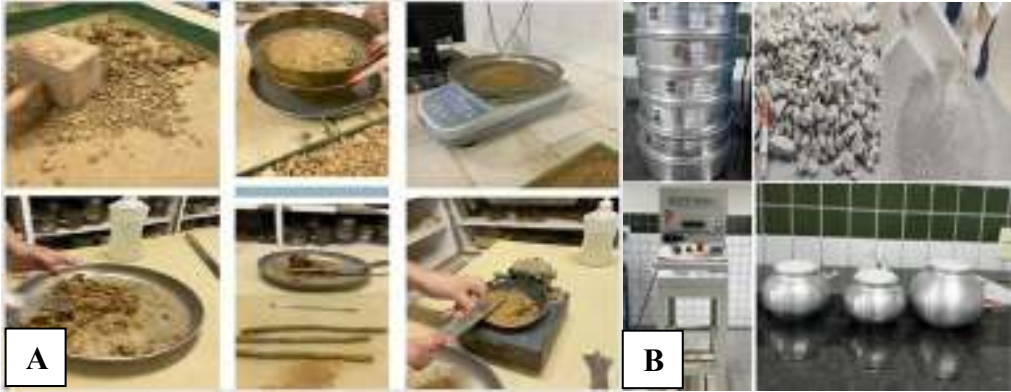
A última etapa foi a realização dos ensaios para análise da adequação dos tijolos à norma. Nesta fase foram feitos os testes de análise de absorção de água e resistência à compressão conforme relatado na NBR 8492: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio (ABNT, 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Preparação da amostra de solo e do resíduo de caulim

A preparação do solo, passou pelo processo de ensaio granulométrico, pesagem do material e ensaios de limite de plasticidade e liquidez, além da determinação do traço a ser utilizado na confecção do tijolo ecológico Figura 1(a).

Figura 1. Preparação do solo para ensaios e produção dos tijolos (a). Preparação da amostra do resíduo de caulim - britagem, moagem e análise granulométrica (b).



Na fase inicial, a amostra de caulim passou pelo processo de britagem, moagem e análise granulométrica, conforme mostra a Figura 1b, o que permitiu deixar a amostra apta para os procedimentos de confecção dos tijolos ecológicos.

3.2 Caracterização do solo

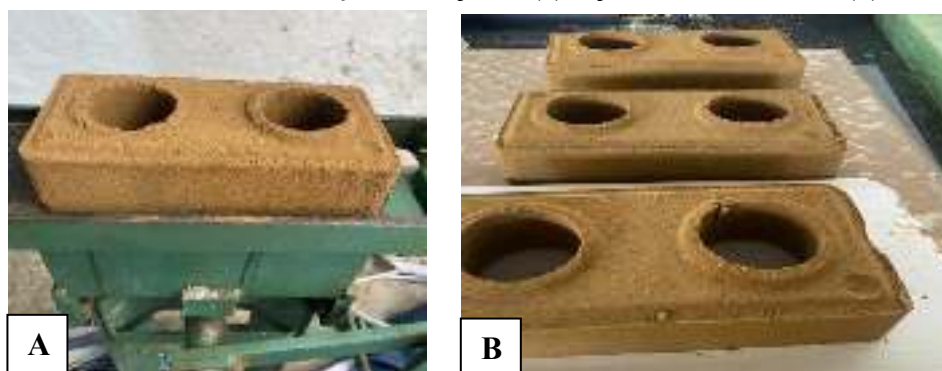
Conforme citado na NBR 10833, os ensaios de limite de liquidez e índice de plasticidade devem atingir valores, respectivamente, menores ou iguais a 45% e 18% . Foram alcançados

valores de 29,7% para este primeiro e 22,3% para o segundo ensaio, sendo o índice de plasticidade de 7,4%. Embora o limite de plasticidade obtido tenha sido inferior ao estipulado pela norma, o limite de liquidez teve um bom índice, deste modo, foi dado prosseguimento à moldagem dos tijolos com este material.

3.3 Confecção do tijolo de solo-cimento

Para a confecção dos tijolos foi realizado o procedimento de preparo manual do material com a homogeneização dos mesmos, e procedeu-se com a moldagem dos corpos de prova e em seguida o processo de cura. Os tijolos solo-cimento foram estocados em local adequado com a temperatura ambiente e livre de exposição solar, para posteriormente serem submetidos a ensaio para determinação da resistência à compressão simples nas idades de 24 horas e 7 dias. Foram produzidos 4 (quatro) tijolos de referência e, posteriormente, 5 (cinco) com a adição de 10% de caulim. A Figura 2 (a) ilustra o processo de fabricação dos tijolos e de uma amostra dos mesmos quando finalizados Figura 2(b).

Figura 2: Processo de fabricação dos tijolos (a), tijolos solo-cimento (b).



Análise da adequação dos tijolos à norma

A caracterização mecânica dos tijolos solo-cimento foi realizada a partir do ensaio de resistência à compressão simples dos blocos fbk, de acordo com a norma ABNT NBR 6136 (ABNT 2014), na idade de 7 dias. A Figura 3 ilustra a preparação dos tijolos para o ensaio (Fig. 3a) e sendo submetidos ao ensaio (Fig. 3b).

Figura 3. Preparação dos tijolos (a), Ensaio de resistência à compressão simples (b).



A Tabela 2 mostra os resultados do ensaio de resistência à compressão simples na idade de controle de 7 dias. Verifica-se que a média obtida para os tijolos com adição de 10% de caulim (7,72 kgf/cm²) é maior do que a média obtida para os tijolos de referência (6,96 kgf/cm²).

Contudo, ambos os valores se encontram abaixo do exigido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) de 20 kgf/cm² para a média dos valores ou de 17 kgf/cm² para os valores individuais. No estudo realizado por Mendonça (2017) também obteve resultados superiores para os tijolos de solo-cimento de referência (35,1 kgf/cm²) e com a adição de 10% de caulim (26,2 kgf/cm²). Entretanto, é importante destacar que o traço utilizado pelos referidos autores foi diferente (1:6) contendo, portanto, uma quantidade superior de cimento que pode justificar os valores superiores da resistência dos tijolos. Já estudos utilizando outro tipo de minério como o de Souza (2023) com metacaulim também mostram resultados da resistência acima dos 20 kgf/cm² necessários conforme a norma. Deste modo, pesquisas com outros materiais ou uma maior investigação da composição do solo bem como do rejeito são necessárias.

Tabela 2: Ensaio de resistência à compressão simples

RESISTÊNCIA	Referência	10% de caulim
C.P. 1	5,86 kgf/cm ²	7,47 kgf/cm ²
C.P. 2	8,17 kgf/cm ²	6,16 kgf/cm ²
C.P.3	6,84 kgf/cm ²	9,53 kgf/cm ²
Média	6,96 kgf/cm ²	7,72 kgf/cm ²
Desvio Padrão	1,16	1,70

Por fim, foi realizado o ensaio de absorção de água, onde de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012) a média dos valores de absorção não poderia ser superior a 20%. Verificou-se que os tijolos de solo-cimento utilizados como referência atingiu um valor maior que o exigido pela norma, de 21,8%. Já os tijolos com adição de caulim apresentaram valores inferiores ao estabelecido pela norma, com 18,16% de absorção.

4 CONCLUSÃO

Dar utilidade para material estéril oriundos da mineração traz uma gama de benefícios, seja na mitigação dos impactos negativos da mineração ao meio ambiente, seja dando valor econômico aos minerais sem utilidade ou abastecendo a construção civil com materiais alternativos, o que pode reduzir preços, consumo de matérias primas e até energia.

A presente pesquisa buscou um reaproveitamento dos resíduos de mineração a partir da adição do caulim em tijolos de solo-cimento. Para isto, foram confeccionados tijolos de solo-cimento de referência com o traço de 1:8 e tijolos com incorporação de 10% de resíduos de caulim, buscando comparar os valores obtidos com os exigidos por norma.

Foram realizados ensaios de caracterização do solo como limite de liquidez e plasticidade, onde apesar do limite de plasticidade obtido ser inferior ao estipulado pela norma, o limite de liquidez teve um bom índice. Assim, a pesquisa prosseguiu com a confecção dos tijolos.

O ensaio de resistência à compressão simples dos tijolos confeccionados não atenderam aos valores mínimos estabelecidos pela norma, entretanto, os resultados encontrados foram similares para tijolos de referência e com adição de caulim, mostrando que a incorporação deste minério não compromete a resistência destes.

Já no teste de absorção de água os tijolos com adição de caulim apresentaram desempenho superior aos tijolos de referência, onde este primeiro atinge o resultado esperado por norma.

Portanto, diante desse cenário, sugere-se a produção de novas amostras de tijolos ecológicos, com traços diferentes, onde sejam acrescidos mais cimento, ou até mesmo, outro tipo de solo para comparação com os resultados obtidos nessa pesquisa.

O estudo também possui relevância na redução do impacto ambiental, uma vez que busca agregar valor a um material considerado como resíduo. Ao incorporar estes rejeitos da mineração na produção de tijolos solo-cimento, argamassa, concreto, etc., a pesquisa procura minimizar a extração de matérias-primas convencionais utilizadas também no setor construtivo.

REFERÊNCIAS

ABNT.* Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10833: Programação visual. Símbolos de identificação para funções de edificações.* Rio de Janeiro, 2012. CBCS. Congresso Brasileiro de Ciência e Sociedade. 2021.

ABNT.* Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento: Método de ensaio.* Rio de Janeiro, 2012.

ABNT.* Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento: Determinação da resistência à compressão e à tração por compressão diametral.* Rio de Janeiro, 2012.

ABNT.* Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Requisitos.* Rio de Janeiro, 2014.

DA SILVA BARBOSA, Uende; SALOMÃO, Pedro Emílio Amador; LAUAR, Guilherme Taroni; RIBEIRO, Paulo Toledo. Reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro–Unipac** ISSN, v. 2178, p. 6925, 2018.

FERNANDES, Bruna Cristina Mirandola. **A utilização de resíduos da construção civil e demolição (RCD) como agregado para o concreto**. 2015. Disponível em: <https://repositorioinstitucional.unifmg.edu.br:21074/xmlui/handle/123456789/290>. Acessado em: 10/07/2024.

MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte; SOUSA, Loredanna Melyssa Costa; NUNES, Camila Gonçalves Luz; SANTOS, Lorayne Sousa; BATISTA, Walter Rubens R. Feitosa.* Reuso de resíduo de caulim na produção de tijolos solo-cimento. In: ***CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, VIII*, 2017, Campo Grande. Anais [...]. Campo Grande: ABRAGEA, 2017.

SOUZA, Jonatas Macedo de.* Avaliação de uso de cinza de madeira e metacaulim na produção de tijolos leves de solo-cimento. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

VERUM PARTNERS. Gestão de resíduos na mineração. Verum Partners, 2024. Disponível em: <https://verumpartners.com.br/gestao-residuos-mineracao/>. Acesso em: 31 jul. 2024.