

## DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NÃO CONVENCIONAL PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL: TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM RESÍDUO DA BAUXITA INDUSTRIAL

Cássia Monalisa dos Santos Silva <sup>1</sup>; João Victor da Cunha Oliveira <sup>2</sup>;  
Anekeli Soares de Oliveira <sup>3</sup>; Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás (UEG), [cassia.silva@ueg.br](mailto:cassia.silva@ueg.br);

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), [joaovictorwo@gmail.com](mailto:joaovictorwo@gmail.com);

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Goiás (UEG), [anekelisoares@gmail.com](mailto:anekelisoares@gmail.com);

<sup>4</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), [frankslale.meira@ifpb.edu.br](mailto:frankslale.meira@ifpb.edu.br)

**Resumo:** Diante dos avanços no campo da construção civil, as tecnologias de âmbito sustentável, como o tijolo de solo-cimento, emergem na atualidade como alternativa para reduzir custos com mão de obra especializada e alto consumo de energia, ratificando uma atuação ecologicamente correta no emprego de bens de consumo dentre os materiais de construção disponíveis no mercado. Este trabalho possui o enfoque de explanar sobre a realização de testes laboratoriais, mensurando o desempenho de tijolos de solo-cimento incorporando em sua composição o resíduo da bauxita frete à resistência à compressão axial e porosidade do material para uso em alvenaria. Para fabricação dos modelos para os testes, envolveu-se o cimento, solo com propriedades areno argilosas, resíduo e água de amassamento proveniente do abastecimento público da cidade de Niquelândia-GO. Foram determinadas 11 formulações, com 1 de referência e o restante com resíduo aplicado em frações de 10% em cada traço, até atingir 100% de agregado miúdo substituído. Após a homogeneização a seco em sacos plásticos, e a úmido de modo manual, conformou-se os tijolos manualmente em fôrmas duplas de madeira. Após 24 horas, os mesmos foram desformados e passaram por um período de cura úmida durante os 7 primeiros dias com molhagem diária, e após completarem 28 dias, realizou-se dos testes físico-mecânicos. Com relação ao teor poroso, o traço T-09 evidenciou o menor e melhor resultado com 16,89% de poros, e a resistência do traço T-11 com 100% de resíduo foi superior ao traço de referência T-01 em 67,5%, efetivando total aplicação do resíduo.

**Palavras-Chave:** Solo-cimento, Resíduo da bauxita industrial, Tijolos ecológicos, Alvenaria.

### INTRODUÇÃO

A importância dos bens minerais existentes na crosta terrestre é pauta de grandes discussões na comunidade científica, tendo em vista que para ser considerada uma reserva mineral é de suma importância analisar a utilidade e verificar o potencial econômico do mesmo.

Em 1821 o geólogo mineralogista francês Pierre Berthier teve a dialética do conhecimento de uma rocha marrom-avermelhada em *Lex Baux* no sul da França sendo em grande quantidade, entretanto, por não ter finalidade prática foi considerada um minério sem valor. Devido aos avanços científicos chegou-se à conclusão que desse minério era possível se obter o metal alumínio, passando a ser conhecida como bauxita devido a região onde foi encontrada, sendo formada principalmente por óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), considerado o terceiro elemento mais abundante na natureza, resultante da decomposição de rochas alcalinas proveniente da percolação da água das chuvas, havendo infiltração da mesma nas rochas ao longo de milhões de anos (CANTO, 2004).

A bauxita conhecida como lama vermelha é um minério encontrado em clima tropical e subtropical, tendo uma grande variação química, composta por outros elementos químicos sendo em menores quantidades, como por exemplo:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ .

Conforme Luz & Lins (2008) é essencial para a formação de bauxita ocorrer alteração das condições climáticas entre estações secas e úmidas, ocorrendo um processo de lixiviação natural. Dessa forma, a maior parte de sílica é removida tendo uma elevada concentração de alumínio e ferro.

O Brasil é o terceiro país que tem a maior concentração de jazidas de bauxita, sendo que 80% compõe as minas a céu aberto. Para extrair o minério é necessário a retirada da vegetação e da terra que se acumulam sobre os depósitos de bauxita, e isso é realizado através de máquinas tipo escavadeira, e caminhões para carregamento do material. Em seguida, o material é extraído e levado para depósitos para realizar o processo de retirada da alumina, sendo realizados dois tipos de reação, continuando no estado sólido, podendo assim serem separadas do alumínio.

O alumínio é o metal não ferroso mais consumido no mundo, isso devido suas ótimas características físico-químicas. Para a produção do alumínio primário em larga escala é utilizado um método responsável por uma enorme geração de resíduos: o processo Bayer (GARCIA, 2012).

A estocagem dos resíduos gerados no processo Bayer é de grande preocupação ambiental, sendo necessário cerca de um quilometro quadrado para uma fábrica que produz aproximadamente um milhão de toneladas por ano, tornando arenosa a estocagem desse resíduo (RIBEIRO, 2011).

Souza *et al.* (2008) enfatizam que diante do aumento referente ao descarte incorreto dos resíduos e subprodutos de vários segmentos industriais, criou-se a necessidade de preservação ambiental aliada a tendência na escassez de matérias-primas, e tecnologias como o tijolo de solo-cimento, trazem, segundo Grande (2003), benefícios que envolvem desde o controle das perdas, baixo custo em comparação com as alvenarias convencionais, facilidade do manuseio devido aos encaixes que agilizam na produção, baixa agressividade ao meio ambiente eliminando a etapa de queima, até mesmo a economia com transporte quando for produzido na própria obra.

Rodrigues & Holanda (2013) definem-no como um material de classe cerâmica, produto da mistura de cimento, solo com propriedades arenosas, e água para homogeneização a úmido em quantidades adequadas, denotando elevado potencial termo acústico atrelado à boa resistência, baixo custo de fabricação e durabilidade, no qual o baixo teor de cimento Portland confere ao tijolo estabilização química que geram retornos físicos pertinentes com os componentes ativos do solo (ROCHA & REZENDE, 2017).

Siqueira *et al.* (2016) investigaram o uso e influências nas propriedades mecânicas e microestruturais de tijolos de solo-cimento, para a construção civil, aplicando em sua composição 2 subprodutos de distintas origens: resíduo da casca de ovo e resíduo da escória de soldagem. De acordo com ensaios para aferir a retração volumétrica, absorção de água, durabilidade e resistência à compressão, o resíduo da escória em até 15% e o resíduo da casca de ovo em até 30% corroboram a aplicação como materiais na construção civil, mesmo com as várias alterações que o compósito sofreu diante dos percentuais aplicados.

Ferreira & Cunha (2017) buscaram estudar possibilidades para aumento da qualidade final de tijolos a base de solo-cimento usando de resíduos agrícolas, substituindo em específico o aglomerante hidráulico (cimento Portland) por dois tipos de resíduos: cascas de arroz e braquiária, em faixas de 0, 10, 20, 30 e 40%, com observância aos parâmetros de ultrassom diante da “resistência anisotrópica”, e resistência à compressão e absorção de água. Os melhores resultados dos testes destrutivos foram a partir do uso, em massa, de 10% para quaisquer dos resíduos em substituição do cimento, com resistência anisotrópica adequada em avaliação da qualidade técnica dos protótipos.

Em consonância com o supracitado, objetivou-se realizar ensaios de caráter destrutivo com modelos fabricados a partir da técnica de solo-cimento, adotando o resíduo da bauxita em substituição ao agregado miúdo (areia) na composição em massa, frente ao potencial de resistência à compressão axial e teor de porosidade do material quando no estado endurecido.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa foi desenvolvida na UEG – Campus Niquelândia abrangendo os testes de porosidade, na Cerâmica Calistrato e Guimarães (Niquelândia-GO) onde foram fabricados os tijolos, e no IFPB – Campus Campina Grande realizando-se os testes de resistência à compressão.

A composição consistiu em determinar 90% da massa do tijolo para ser composta por solo de classe areno argiloso, e os 10% restantes com o agente estabilizador alcalino classificado como CP II Z-32 (Cimento Portland Composto com Adição de Pozolana e Resistência aos 28 dias de 32 MPa) de marca InterCement. O solo é proveniente da Cerâmica Calixtrato Guimarães possuindo propriedades areno argilosas (utilizado após passar pelo peneiramento em malha nº 4# com abertura de 4,76 mm) que facilitaram no processo de homogeneização do material, água de homogeneização é proveniente do abastecimento público da cidade de Niquelândia-GO, e o resíduo da extração da bauxita industrial é proveniente da mineradora Santo Expedito, com sede em Barro Alto-GO.

A substituição do solo por resíduo ocorreu de forma simultânea à subtração de solo, executando-se em faixas de 10 em 10% até o total de 100% de resíduo na mistura do material (Tabela 1) correspondente à razão de 90% de massa de solo que compõe o tijolo, e a água para homogeneização a úmido contabilizou cerca de 10% em peso do tijolo (200 ml para 2 kg).

Tabela 1 – Quantitativos dos materiais adotados para desenvolvimento dos tijolos de bauxita

Composição	Percentuais		
	<i>Cimento</i>	<i>Solo</i>	<i>Resíduo</i>
<b>T-01</b>	10 %	100 %	0 %
<b>T-02</b>	10 %	90 %	10 %
<b>T-03</b>	10 %	80 %	20 %
<b>T-04</b>	10 %	70 %	30 %
<b>T-05</b>	10 %	60 %	40 %
<b>T-06</b>	10 %	50 %	50 %
<b>T-07</b>	10 %	40 %	60 %
<b>T-08</b>	10 %	30 %	70 %
<b>T-09</b>	10 %	20 %	80 %
<b>T-10</b>	10 %	10 %	90 %
<b>T-11</b>	10 %	0 %	100 %

Fonte: Autores (2018)

O processo de fabricação deu-se por meio da homogeneização prévia dos materiais secos com uso de sacola plástica, prosseguindo para a etapa de homogeneização a úmido em recipiente portátil para então transferir a mistura para as fôrmas duplas de madeira, executando a conformação manualmente, e após as primeiras 24 horas os mesmos foram desformados (Figura 1). Após esse processo, os tijolos passaram por cura a úmido durante os 7 primeiros dias em temperatura ambiente e com molhagem periódica, garantindo a correta hidratação dos compostos cimentícios para evidenciar aos 28 dias resultados com melhores características físico-mecânicas.

Para a realização do ensaio de porosidade, Friori & Carmingani (2009) recomendam que para mensuração desse parâmetro, obtenha-se o teor de água absorvido pelo material mediante sua imersão em água por período de 24 horas, aferindo o peso antes e depois da imersão. Através da razão entre o Volume de Vazios (Vv) e o Volume de Solo Saturado (V), que corresponde ao volume do tijolo, pode-se obter a porosidade de cada traço, expresso em % (Equação 1).

$$\eta = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

$\eta$  = Porosidade (%);  $V_v$  = Volume de Vazios ( $\text{cm}^3$ );  $V$  = Volume de Solo Saturado ( $\text{cm}^3$ ).

Para testar os tijolos frente à resistência à compressão axial, a NBR 10836/2013 estabelece que as suas superfícies sejam paralelas e planas, que o tijolo permaneça centrado na máquina quando realizado o ensaio, e que a velocidade da carga de ruptura seja uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s). Utilizou-se a prensa eletro-hidráulica MATEST com 3 cv e capacidade para 100 toneladas, equipamento pertencente ao Laboratório de Geotecnia do Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande. Para quantificar os resultados obtidos, utilizou-se a Equação 2:

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (2)$$

Onde,

$f_t$  = Resistência à compressão (MPa);  $F$  = Carga de ruptura do corpo-de-prova (N);  
 $S$  = Área de aplicação da carga ( $\text{mm}^2$ ).

Figura 1 – Tijolos já fabricados e desformados



Fonte: Autores (2018)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos no que concerne o teste de porosidade do material, observou-se que em teores elevados pode-se obter uma boa compactação, reduzindo a quantidade de água absorvida e melhorando o empacotamento das partículas de agregado, cimento e resíduo. A

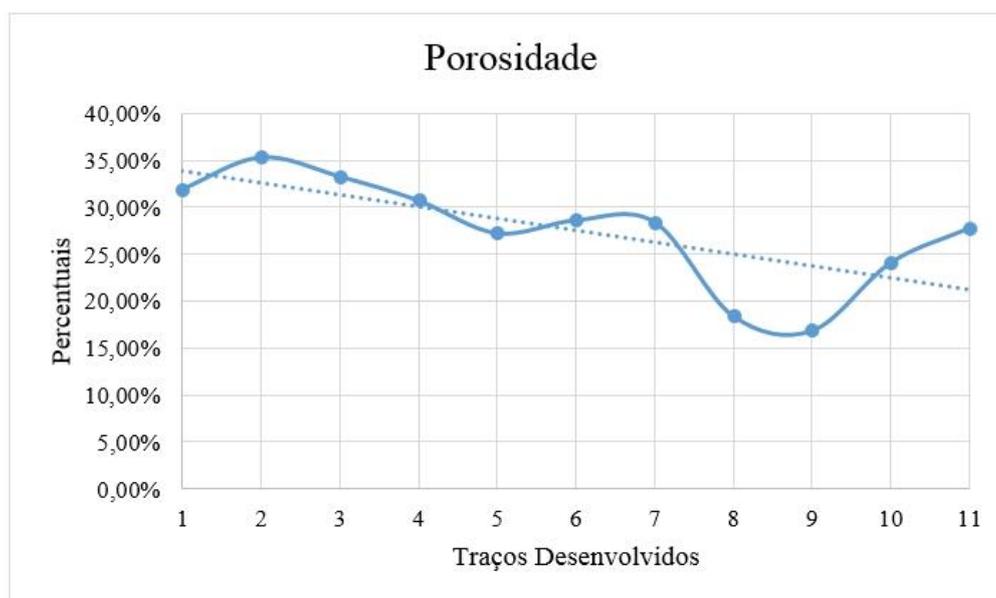
Tabela 2 a seguir expõe os valores obtidos nos testes preliminares para verificação da massa saturada do material após imersão, e volume do tijolo totalmente empacotado (por ser de única dimensão, o valor não se altera), seguido dos percentuais porosos para cada formulação. Por conseguinte, o Gráfico 1 configura uma amostragem global desses percentuais, podendo notar-se os intervalos com maior relevância para o teste realizado.

Tabela 2 – Valores obtidos no teste de porosidade

<b>Composição</b>	<b><math>V_v</math> (<math>cm^3</math>)</b>	<b><math>V</math> (<math>cm^3</math>)</b>	<b>Porosidade</b>
<b>T-01</b>	348,00	1.089,00	31,95 %
<b>T-02</b>	385,00	1.089,00	35,35 %
<b>T-03</b>	363,00	1.089,00	33,33 %
<b>T-04</b>	335,00	1.089,00	30,76 %
<b>T-05</b>	297,00	1.089,00	27,27 %
<b>T-06</b>	312,00	1.089,00	28,65 %
<b>T-07</b>	310,00	1.089,00	28,46 %
<b>T-08</b>	201,00	1.089,00	18,45 %
<b>T-09</b>	184,00	1.089,00	16,89 %
<b>T-10</b>	263,00	1.089,00	24,15 %
<b>T-11</b>	303,00	1.089,00	27,82 %

Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Curva característica da porosidade e sua respectiva linha de tendência



Fonte: Autores (2018)

A classificação de tijolos de acordo com sua resistência à compressão axial segue a NBR 7170/1983, na qual pode-se envolver três categorias distintas de acordo com a resistência mínima: A, B ou C. O teste realizado para este estudo envolveu apenas o tijolo do traço de referência (T-01) com 0% de resíduo, e o tijolo com incorporação de 100% de resíduo (T-11), buscando observar a influência em pico máximo de aplicação do resíduo em material de matriz cimentícia isento de agregados naturais (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores obtidos no teste de resistência à compressão axial

<b>Composição</b>	<b>Resistência</b>
<b>T-01</b>	1,08 MPa
<b>T-11</b>	1,60 MPa

Fonte: Autores (2018)

Para o T-01, a carga suportada foi de 1,30 tf, que convertido para N, resultou em 12.748,645 N. Essa força, em N, foi dividida pela área da placa metálica que auxiliou no rompimento. Essa área foi de 11.840 mm<sup>2</sup>. A divisão da força pela área (N/mm<sup>2</sup>) equivale a unidade de medida em MPa (Mega Pascal) utilizada na NBR 7170/1983 para classificar o tipo de tijolo conforme as resistências obtidas, por classe. Após realizar a divisão, o valor resultante foi de 1,08 MPa para o traço de referência utilizado no estudo.

O traço de referência de tijolo solo-cimento para alvenaria não alcançou a resistência mínima de 1,50 MPa que a norma exige para contemplar a 1ª classe (A) de tijolos. Pode-se dizer que a baixa resistência foi adquirida pelo uso de um solo mais arenoso, ou pela fabricação ter sido de forma manual, sem o uso de prensas hidráulicas para melhorar a compactação do material, podendo ser visto após o rompimento maior facilidade na desagregação do material (Figura 2).

Figura 2 – Tijolos de traço de referência (T-01) rompidos em prensa eletro-hidráulica



Fonte: Autores (2018)

Para o T-11, a carga suportada foi de 1,92 tf, que convertido para N, resultou em 18.828,768 N. Essa força, em N, foi dividida pela área da placa metálica que auxiliou no rompimento. Essa área foi de 11.840 mm<sup>2</sup>. A divisão da força pela área (N/mm<sup>2</sup>) equivale a unidade de medida em MPa (Mega Pascal) utilizada na NBR 7170/1983 para classificar o tipo de tijolo conforme as resistências obtidas, por classe. Após realizar a divisão, o valor resultante foi de 1,60 MPa para o traço com substituição total do solo por resíduo da bauxita industrial.

O traço com a quantidade máxima de resíduo incorporado para tijolo de solo-cimento, que nesse caso também pode ser chamado de tijolo de resíduo-cimento, superou o que a norma prevê para contemplar a 1ª categoria de classe A, que exige 1,50 MPa, tendo então alcançado 1,60 MPa, o que corrobora a prática ecológica de se promover a parcial erradicação da degradação ambiental que o resíduo da bauxita industrial causa na região onde situa-se a mineradora, notando-se melhor desempenho diante do carregamento sofrido (Figura 3).

Figura 3 – Tijolos com 100% de resíduo (T-11) rompidos em prensa eletro-hidráulica



Fonte: Autores (2018)

## CONCLUSÕES

Grande parte dos resíduos descartados de forma incorreta no Brasil possuem potencial que, se explorados de forma harmônica, originam materiais com propriedades bastante relevantes, como o resíduo da bauxita industrial, que relacionado à porosidade e resistência à compressão, trouxe melhorias significativas aos tijolos de solo-cimento, favorecendo com que a aplicação em alvenarias torne-se uma prática real nas localidades onde o resíduo é abundante.

O papel ecológico é validado com os resultados obtidos dentro desse estudo, aliando uma tecnologia de baixo custo à busca em reduzir consideravelmente o descarte do resíduo nas proximidades da mineradora, além de poder considerar-se o direcionamento dessa tecnologia não convencional para construção de habitações de interesse social.

Reforça-se também o papel social para tal feito, uma vez que comunidades carentes que não detém equipamentos industriais, ou até mesmo fornos para queima de tijolos de matriz cerâmica, podem utilizar de fôrmas manuais e do resíduo da bauxita industrial para poder obter um compósito de matriz cimentícia com boa qualidade e que atende aos pré-requisitos normativos, além de contribuir significativamente para se conquistar um meio ambiente saudável através dessas práticas mitigadoras de impactos ambientais.

## **AGRADECIMENTOS**

À Cerâmica Calistrato e Guimarães pelo suporte na fabricação dos tijolos de solo-cimento, e à Mineradora Santo Expedito pela doação do resíduo da extração da bauxita.

## **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7170 – **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria**. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. 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.

CANTO, E. L. do. **Minerais, minérios, metais: de onde vêm? Para onde vão?** 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

FERREIRA, R. de C.; CUNHA, A. H. N. **Quality evaluation of soil-cement-plant residue bricks by the combination of destructive and non-destructive tests**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 21, n. 8, p. 543-549, Aug. 2017. Available from <<https://goo.gl/h2FhEc>>. Access on 06 may 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p543-549>.

FRIORI, A.; CARMINGANI L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.

GARCIA, M. C. S. **Modificação do resíduo de bauxita gerado no processo Bayer por tratamento térmico**. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

RIBEIRO, D. V. **Influência da temperatura de calcinação nas propriedades cimentícias do resíduo de bauxita**. 78 f. Relatório Científico Final (Pós-Doutorado) – Departamento de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

ROCHA, M. T.; REZENDE, L. R. de. **Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação**. *Matéria* (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, e-11895, 2017. Disponível em <<https://goo.gl/aXVwZc>>. Acesso em 06 mai. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170004.0229>.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. **Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento**. *Cerâmica*, São Paulo, v. 59, n. 352, p. 551-556, Dec. 2013. Disponível em <<https://goo.gl/pNKrZJ>>. Acesso em 06 mai. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132013000400010>.

SIQUEIRA, F. B. et al. **Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks**. *Cerâmica*, São Paulo, v. 62, n. 363, p. 237-241, Sept. 2016. Available from <<https://goo.gl/dHd4YL>>. Access on 06 may. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132016623631969>.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; 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, abril de 2008. Disponível em <<https://goo.gl/xxZawr>>. Acesso em 06 mai. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200014>.