

# Tijolos ecoeficientes de barro cru com resíduos sólidos e efluente industrial utilizando tecnologias não convencionais

*Eco-efficient bricks of raw clay with solid waste and industrial effluent using unconventional technologies*

Francisco Almeida Ângelo   
Gustavo Ferreira Simões 

## Resumo

A moradia é um importante bem econômico durável para o ser humano, constituindo um direito social fundamental e indicativo de vida digna. Entretanto, é preocupante o déficit global de moradias seguras, de qualidade e acessíveis. Por ser o tijolo um dos principais componentes da construção civil, o de maior volume empregado, o objetivo deste trabalho foi desenvolver, mediante tecnologias não convencionais, um tijolo ecoeficiente de barro e resíduos (TeBR), estabilizado com o encapsulamento no solo de resíduos sólidos e efluente industrial, sem queima, nem cimento Portland, com dois furos horizontais para a alvenaria, sem função estrutural. A análise estatística da resistência à compressão simples dos corpos de prova foi realizada utilizando o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas ( $p < 0.05$ ), para 28, 56 e 84 dias, com o traço TMG significativamente maior do que o TBA. As resistências à compressão aos 84 dias atenderam aos padrões estabelecidos por normas. Os valores mais significativos ocorreram com os traços 2TMG (1,2 MPa), 3TMG, 1TMG e 2TBA (1,1 MPa). Nos ensaios de absorção de água, os limites situaram-se entre 8,41% e 8,99%. Portanto, os TeBR podem contribuir com as habitações de interesse social no padrão do desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Tijolo de barro cru. Compósito. Resíduos sólidos. Reciclagem. Material de construção de interesse social.

## Abstract

*Housing is an important durable economic good for human beings, constituting a fundamental social right and indicative of a dignified life. However, the global shortage of safe, quality and affordable housing is worrying. Considering the brick as one of the main components of civil construction, being the one with the highest volume employed, the present work aimed at developing, based on unconventional technologies, the eco-efficient clay and waste brick (TeBR), stabilized with the encapsulation of solid waste and industrial effluent in the soil, without burning and without Portland cement, with two holes horizontal to the masonry, with no structural function. The statistical analysis of the simple compressive strength of the specimens was performed using the Kruskal-Wallis test, followed by the multiple comparison test ( $p < 0.05$ ), for 28, 56 and 84 days, with the TMG trace significantly higher than the TBA. The compressive strengths at 84 days met the values established by standards. The most significant values occurred with traces 2TMG (1.2 MPa), 3TMG, 1TMG and 2TBA (1.1 MPa). In the water absorption tests, the limits were between 8.41% and 8.99%. Therefore, TeBR can contribute to housing of social interest in the pattern of sustainable development.*

<sup>1</sup>Francisco Almeida Ângelo

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte - MG - Brasil

<sup>2</sup>Gustavo Ferreira Simões

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte - MG - Brasil

Recebido em 03/09/22  
Aceito em 24/11/22

**Keywords:** Raw clay. Composite. Solid waste. Recycling. Social interest construction material.

## Introdução

A residência é um importante bem econômico durável de elevado capital e trabalho empregado para o ser humano e constitui um direito social fundamental. Considerando a contribuição para que as construções se tornem ecoeficientes e com viabilidade socioeconômica, torna-se imprescindível às novas edificações a utilização de materiais de construção fabricados com tecnologias que aproveitem e englobem a incorporação de resíduos sólidos e efluentes. A realização de pesquisas associadas à indústria da construção civil tem importância significativa no desenvolvimento de materiais de construção. Nesse contexto, observa-se o aumento considerável de estudos e dos interesses dos consumidores com as questões ambientais e o consenso por produtos sustentáveis, como os produzidos com o reaproveitamento de resíduos e materiais reciclados em sua constituição.

Um dos materiais de construção mais antigos é o tijolo. Segundo Pacheco-Torgal e Jalali (2011), os primeiros da história foram baseados em uma lama seca e empregados em 8000 a.C., na Mesopotâmia, em uma área limitada pelos rios Tigres e Eufrates, que se estende do sudeste da Turquia, passa pelo norte da Síria e alcança o Golfo Pérsico. Na Grande Muralha da China, cuja construção começou há cerca de 3.000 anos, têm-se extensas seções construídas com terra amassada.

A prática de construção sustentável é essencial para adotar medidas de proteção e relativas à capacidade de gerenciamento do planeta, assim como para nosso bem-estar atual e das futuras gerações. Diante da crescente preocupação com a sustentabilidade, os tijolos de barro secos ao sol mostram-se eficientes em termos energéticos, econômicos e ambientais (THOMAS *et al.*, 2020).

Garantir o acesso à moradia com espaços adequados, assegurar padrões de consumo com a reciclagem e reúso de resíduos, aumentar a eficiência energética dos produtos, reduzir substancialmente as emissões de poluentes e conservar os recursos naturais fazem parte dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030 da Organização das Nações Unidas (ORGANIZAÇÃO..., 2015), que visam caucionar o desenvolvimento de um futuro sustentável em todos os países.

De acordo com MacDougall (2008), ainda existem muitas barreiras ao uso de materiais de construção naturais na indústria de obras convencionais, o que se deve principalmente à ausência de dados científicos e à falta de experiência da grande indústria da edificação convencional, mas essas barreiras precisam ser superadas. Resultados positivos ao longo da história têm contribuído para um crescente corpo de pesquisas, que está quantificando o desempenho dos materiais de construção naturais e mostrando que eles podem competir com os materiais convencionais nas obras civis (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011).

Uma boa residência é fundamental para a segurança física e financeira, para a produtividade econômica, com comunidades saudáveis e bem-estar humano, porém há uma enorme e crescente lacuna habitacional. Estima-se que o déficit global de moradia segura, de qualidade e acessível seja de 330 milhões de domicílios urbanos e projeta-se que esse número aumente em mais de 30%, chegando a 440 milhões de domicílios, ou 1,6 bilhão de pessoas, em 2025 (KING *et al.*, 2017).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (INSTITUTO..., 2010) divide as habitações de padrão inferior em taipa sem revestimento, taipa revestida, madeira aproveitada, palha e outro material, que somadas perfazem 1.658.686 de habitações, onde residem 6.474.401 de pessoas. As casas de taipa ou pau a pique continuam presentes em várias regiões do Brasil, sendo formadas por residências com várias idades de construção (centenárias, com algumas dezenas de anos, com menos de uma década, recém-construídas e em construção), conforme constatado em levantamentos realizados em campo durante o ano de 2019. Na Paraíba, os municípios visitados foram Pombal, Mato Grosso, São Domingos e Cajazeirinhas, e no estado da Bahia, os de Eunápolis, Santa Cruz Cabrália e Porto Seguro. Devido à pandemia de covid-19 não foi possível completar as unidades propostas no estudo para o estado de Minas Gerais. Segundo o IBGE (INSTITUTO..., 2010), no Brasil existem 895.160 casas de taipas, com 3.574.000 moradores. Esses dados refletem uma realidade socioeconômica preocupante, entretanto as futuras construções civis e/ou reformas das existentes são passíveis de melhorias com o emprego do novo tijolo ecoeficiente de barro e resíduos (TeBR). Observa-se que tijolos de barro (TB) convencionais não são considerados completamente ecoeficientes (ZHANG; BISWAS, 2021).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver, a partir de tecnologias não convencionais, o TeBR estabilizado com o encapsulamento no solo de resíduos sólidos (cinza, serragem e fibra de papel) e efluente industrial (manipueira), sem queima, nem cimento Portland, com dois furos horizontais, para a construção de alvenaria, sem função estrutural.

O TeBR, mais do que poder atender às especificações técnicas de unidades de alvenaria, reduz o impacto ambiental e atenua o desmatamento e a poluição do solo, da água e do ar. Além disso, necessita de baixo investimento e consumo de energia, tem boa relação custo-benefício e é considerado ecológico.

## Referencial teórico

No início desse novo milênio a humanidade passa por três grandes desafios, quais sejam, desigualdades sociais e/ou pobreza, problemas ambientais e crise energética, que estão intimamente ligados à engenharia e à arquitetura, já que, para eliminar a pobreza com sustentabilidade, tudo deve começar pela habitação (BARBOSA; GHAVAMI, 2014).

A estabilização de solos se refere a todo processo por meio do qual o solo melhora suas características (resistência, permeabilidade, compressibilidade e estabilidade volumétrica), adquirindo as propriedades físicas e mecânicas necessárias à finalidade a que se destina, entre elas a de diminuir a permeabilidade e a retração por compactação ou prensagem, assim como a mistura com outros solos, areias e materiais para melhorar suas características granulométricas, o que incluem aglomerantes (NEVES *et al.*, 2010).

Existem vários tipos de cinzas considerados materiais pozolânicos, porque conseguem formar um aglutinante durável e podem ser utilizados em substituição parcial ao cimento Portland em pastas, argamassas e concretos (AMERICAN..., 2001). A cinza proveniente da queima da madeira de eucalipto pode ser uma importante alternativa de baixo custo para a fabricação de tijolos, já que é um material rico em carbonato de cálcio e apresenta também quartzo, hidróxido e fosfato de cálcio (BORLINI *et al.*, 2005).

O *Eucalyptus* é a espécie florestal mais plantada tanto no Brasil como no restante do mundo. Segundo o Relatório da Indústria Brasileira de Árvores (INDÚSTRIA..., 2020), a área total de árvores plantadas no Brasil alcançou 9 milhões de hectares em 2019, e o plantio com eucalipto ocupa 6,97 milhões de hectares, o que corresponde a 77% desse total. Uma das características favoráveis ao uso da serragem como reforço efetivo de componentes construtivos de pequena espessura é empregar fibras curtas constituintes do eucalipto, que melhoram a dispersão e a distribuição uniforme dos elementos de reforço na matriz, como constatado em microscopia eletrônica de varredura (MEV) (TONOLI, 2009).

No ranking mundial dos produtores de papel, com 10,5 milhões de toneladas (INDÚSTRIA..., 2020), o Brasil está em décimo lugar. Desse volume, 8,4 milhões de toneladas são consumidos no mercado interno. Do total de papel produzido, 21,4% são do tipo papel de imprensa e de imprimir/escrever, o que representa 1,8 milhão de toneladas anuais, consumido no Brasil. O tipo dominante de celulose produzida a partir da madeira é a fibra curta, originada das angiospermas, mais conhecidas como folhosas ou *hardwood* (eucalipto, acácia, bétula, entre outras) (VIDAL; HORA, 2014). Os principais papéis adequados para a impressão são offset e sulfite, classificados conforme o peso (gramatura de 56 a 240 g.m<sup>-2</sup>) com destaque (63, 75, 90 e 120 g.m<sup>-2</sup>), textura (lisa e boa opacidade), cor (predomínio do branco) e formato A4 e A5. O resíduo de papel tem alta absorção de água, e sua natureza fibrosa confere capacidade de absorção de energia muito grande e, conseqüentemente, elevada resistência à compressão (SINGH; SALEEM; GEETA, 2015).

O beneficiamento das raízes da mandioca nos empreendimentos casas de farinhas e/ou fecularia inicia-se com a retirada da casca e a lavagem (manual ou mecânica). Em seguida vão para o triturador, que libera uma massa úmida, transportada e colocada em uma prensa mecânica, de onde é extraído um líquido de aspecto leitoso e de cor amarelada, a manipueira. Com 1 ton de raiz de mandioca processada são geradas de 300 L (RIBAS; CEREDA; BÔAS, 2010) a 600 L (60% em líquido) de manipueira, segundo Fioretto (2001) e Carvalho *et al.* (2018). Com grande potencial poluente, o volume de 300 L de manipueira é uma quantidade de efluente industrial suficiente para poluir o meio ambiente – água e solo – correspondente a uma concentração populacional de 150 a 300 habitantes (FIORETTO, 2001).

No estudo realizado por Ramos Filho (2021), com a combinação dos resíduos de scheelita (minério) e pó de pedra, identificou-se que a manipueira contribuiu de forma favorável, por aumentar a resistência à compressão dos tijolos devido a sua atuação como biopolímero, pela melhoria da plasticidade comprovada na hora da mistura dos compostos e pela facilidade durante a moldagem e retirada dos tijolos da prensa manual, o que viabiliza sua utilização, em substituição à água de hidratação. Os grânulos de amido oriundos da mandioca são predominantemente ovais ou esféricos, sendo alguns côncavo-convexos característicos, com tamanho variando de 4 µm a 15 µm e média de 10 µm (VIEIRA *et al.*, 2010).

Segundo Sampaio (2020), na fabricação de blocos de solo + água e de solo + manipueira, ambos com 10% de cimento, concluiu-se que houve melhoras na fragilidade dos que utilizaram o efluente da indústria de beneficiamento das raízes de mandioca por funcionar como uma resina, unindo as partículas do solo, por melhorar a trabalhabilidade do material e por facilitar a compactação, gerando blocos mais densos. Em contato direto com a água, nos ensaios de absorção por capilaridade, a perda de massa foi reduzida e não se dissolveu, como aconteceu no teste do solo + água. Constatou-se que o uso da manipueira causou maior isolamento acústico e considerável diminuição da amplitude térmica, mantendo a resistência à compressão igual à do primeiro bloco.

Na produção de tijolos de solo-cimento, as amostras dos corpos de prova (manipueira x água) foram comparadas. Na mesma proporção de cimento, 6% e 12%, os tijolos com a manipueira obtiveram resultados médios maiores em todas as idades analisadas, mesmo com desvio padrão semelhante, sendo possível concluir a viabilidade técnica para sua utilização em alvenarias sem função estrutural (SOUZA, 2019).

## Materiais e métodos

### Materiais

#### Matérias-primas

Na produção dos TeBR foram utilizados como matéria-prima dois tipos de barro (solo argiloso) e uma areia.

Os solos foram coletados em duas regiões do Brasil: Nordeste, no município de Eunápolis, BA (margem da BR-101), denominado Barro Bahia (BBA), e Sudeste, em Belo Horizonte, MG (Campus da UFMG), denominado Barro Minas Gerais (BMG), de coordenadas geográficas 16° 22' 39" S; 39° 34' 49" W; 189 m e 19° 51' 23" S; 43° 57' 25" W; 767 m respectivamente. As coletas foram realizadas em profundidades entre 0,5 m e 1,5 m.

A areia branca natural quartzosa, conforme a NBR 9939 (ABNT, 2011), foi doada pela empresa Britaki de Eunápolis, BA.

Tanto para os solos quanto para a areia, foram empregados nos ensaios a fração passante na peneira de malha 4,75 mm.

#### Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos utilizados foram cinza, serragem e fibra de papel, classificados como classe IIA, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004).

A cinza foi obtida na indústria de cerâmica Telhafort Simonassi, distrito de Mundo Novo, Eunápolis, BA. O material foi coletado ainda morno dentro de um forno Hoffmann, que utiliza a madeira de *Eucalyptus spp* em pequenas toras, cavacos e serragem como fonte de energia térmica na queima (cozimento) de tijolos e lajotas, onde a temperatura atinge 850 °C. Utilizou-se a fração passante na peneira de malha 0,300 mm.

A serragem (pó de serra) foi obtida na serragem das toras de madeira de eucaliptos com idade média de 7 anos, cultivados na área de ação da Veracel Celulose S.A., que cultiva um único clone de eucalipto, obtido a partir do cruzamento das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, com mudas produzidas pelo método de miniestaquia (VERACEL..., 2020). Foi coletada na Serraria Primavera, Eunápolis, BA, e peneirada em peneira de malha 4,75 mm, a fim de eliminar as cascas da árvore, lascas e fragmentos de madeira.

As folhas de papel-ofício impressas/escritas recicladas foram obtidas em uma campanha de coleta seletiva do resíduo feita no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Câmpus Eunápolis.

#### Efluente industrial

O efluente industrial manipueira foi coletada diretamente na hora da prensagem da massa da mandioca, na Farinheira Paiva, núcleo colonial Ponto Maneca, zona rural, Eunápolis, BA (16° 20' 08,1" S; 39° 40' 10,3" W; 206 m).

### Métodos

Para atingir o objetivo principal do trabalho, que é a produção do TeBR, foi produzido um compósito natural oriundo do resultado da mistura de barro, areia, cinza, serragem de madeira, fibra de papel e manipueira em diferentes proporções (traços), conforme as especificações da NBR 15270-1 (ABNT, 2017a), da 15270-2 (ABNT, 2017b) e da 16814 (ABNT, 2020), que normalizam a produção de tijolos para alvenaria.

As composições químicas dos solos e cinzas foram determinadas por meio de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) de acordo com a E1621 (AMERICAN..., 2022) e com a ISO/TR 18336 (ABNT, 2022), na SGS Geosol Laboratórios Ltda., em Vespasiano, MG.

Os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Mecânica dos Solos e Materiais de Construção (Lismac) e no Laboratório de Pesquisa em Meio Ambiente (Lapema) do IFBA, Câmpus Eunápolis. O Quadro 1 apresenta os ensaios de caracterização das matérias-primas, resíduos sólidos e efluente industrial, bem como os procedimentos utilizados.

Quadro 1 - Ensaio de caracterização das matérias-primas, resíduos sólidos e manipueira

Material	Características físicas	Normas ABNT/ASTM
Solos, areia, cinza e serragem	Análise granulométrica por peneiramento (%)	7181 (ABNT, 2016a)
Solos e cinzas	Fluorescência de raios X (FRX)	E1621 (AMERICAN..., 2022) e ISO/TR18336 (ABNT, 2022)
Solos (barros) BBA e BMG	Limite de liquidez (%)	6459 (ABNT, 2016b)
	Limite de plasticidade (%)	7180 (ABNT, 2016c)
	Índice de plasticidade (%)	
Argamassa dos TeBR traços TBA e TMG	Compactação – Umidade ótima (%) e massa específica (g.cm <sup>-3</sup> )	7182 (ABNT, 2016d)
TeBR e tijolos de barro (TB)	Ensaio de compressão simples (MPa) Absorção de água (%)	10836 (ABNT, 2013) e 8492 (ABNT, 2012a)
Manipueira e TeBR	Potencial hidrogeniônico – pH	9251 (ABNT, 1986)

### Compactação

Os ensaios de compactação dos TeBR traços TBA e TMG e dos TB traços BBA e BMG foram realizados no laboratório Lismac do IFBA, utilizando a energia do Proctor Normal, conforme estabelecido pela NBR 7182 (ABNT, 2016d). Com os resultados foram determinadas a umidade ótima (%) e a massa específica aparente seca máxima (g.cm<sup>-3</sup>), que posteriormente foram utilizadas na moldagem dos TeBR.

### Transformação das folhas de papel em fibras

Após a retirada de grampos e cliques, as folhas de papel-ofício recicladas foram fragmentadas em picotes (4,3x55 mm) (Figura 1a), com uma picotadora Destroyer 320P. Na sequência foram colocadas em baldes de PVC com capacidade de 60 L e submergidas com manipueira por 24 h, revolvendo-se o conteúdo por duas vezes. Depois foram colocados em um recipiente de aço inox, com capacidade de 20 L, transformado em um processador adaptado com disco de serra para madeira, preso a um tubo de aço galvanizado, e este a uma furadeira elétrica (Figura 1b). Após 2 min, com movimentos ascendentes e descendentes, produziu-se a polpa de papel, que, após drenada e prensada, para eliminar o excesso de umidade, seguiu para pré-secagem, com a exposição direta ao sol sobre uma tela de arame galvanizada, finalizando-se a secagem em uma estufa a temperatura de 60±5 °C por 24 h. Por fim, foi embalada em sacos plásticos hermeticamente fechados, com massa de 2 kg (Figura 1c).

A polpa de papel desidratada, quando moída, se apresenta na forma de pluma, o que dificulta a distribuição uniforme na argamassa. Segundo Buson (2009), a incorporação no solo de fibras de papel kraft, provenientes da reciclagem de sacos de cimento, quando misturadas na betoneira, formou bolas de solo e papel, ou seja, a mistura não ficou homogênea. O procedimento adotado para desfragmentar e desagregar as fibras de papel foi por meio da mistura da polpa de papel (Figura 2a), barro (Figura 2b) e manipueira (Figura 2c), no traço de 1:2,5:35 (160:400:5.600 g) com o uso de um liquidificador da marca Metal Ferreira, modelo LBR-8L (Figura 2d). Dessa forma, conseguiu-se uma melhor homogeneização das fibras de papéis na argamassa. Em seguida, foi adicionada aos materiais que já estavam misturados na betoneira. Essas quantidades complementam os TeBR dos traços TBA e TMG. A argamassa pronta foi peneirada em peneira de malha 5 mm para a uniformização e homogeneização dos grãos das matérias-primas e resíduos sólidos, procedimento que facilitou a colocação na forma da prensa manual, no momento da moldagem e compressão dos TeBR. O procedimento resultou em um tijolo homogêneo de excelente aspecto estético (Figura 5e).

### Formulação dos traços

Na busca dos melhores resultados, vários traços foram testados para investigar as quantidades de matérias-primas, resíduos sólidos e efluente industrial. Três combinações, com diferentes níveis de misturas, se destacaram nos pré-testes: TeBR (1, 2 e 3) traço com barro Bahia (TBA) e traço com barro Minas Gerais (TMG), com as respectivas proporções (80:10:8:1:1); (75:12:10:2:1) e (70:13:12:3:2) (barro:areia:cinza:serragem:fibra de papel), conforme a Tabela 1. A manipueira foi utilizada em substituição à água no amassamento e na formação da argamassa, tendo sido quantificada em relação à percentagem de massa total dos traços, com base na umidade ótima, obtida no ensaio de compactação dos solos, acrescido de 2% para facilitar a moldagem e a compressão dos TeBR (Tabela 1). Para os TB, tijolos de referência, somente com os barros BBA e BMG, utilizou-se a água da torneira no amassamento, de acordo com a compactação. A

mistura foi realizada com o uso de uma betoneira da marca GMEG, modelo MB-150L, com capacidade de 150 L.

Figura 1 - Processo de transformação da folha de papel - (a) Tiras de papel; (b) processador e a polpa de papel úmida; e (c) polpa desidratada

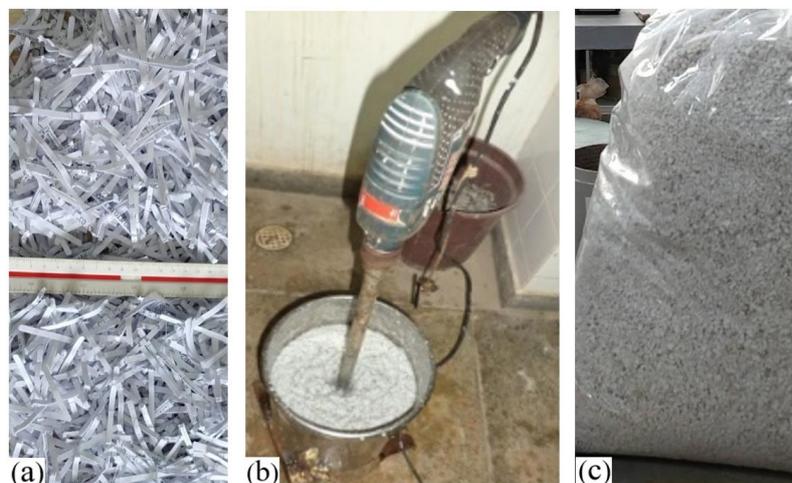


Figura 2 - Processo de desagregação das fibras de papel - (a) Polpa desidratada; (b) barras; (c) manipueira; e (d) desintegração no liquidificador

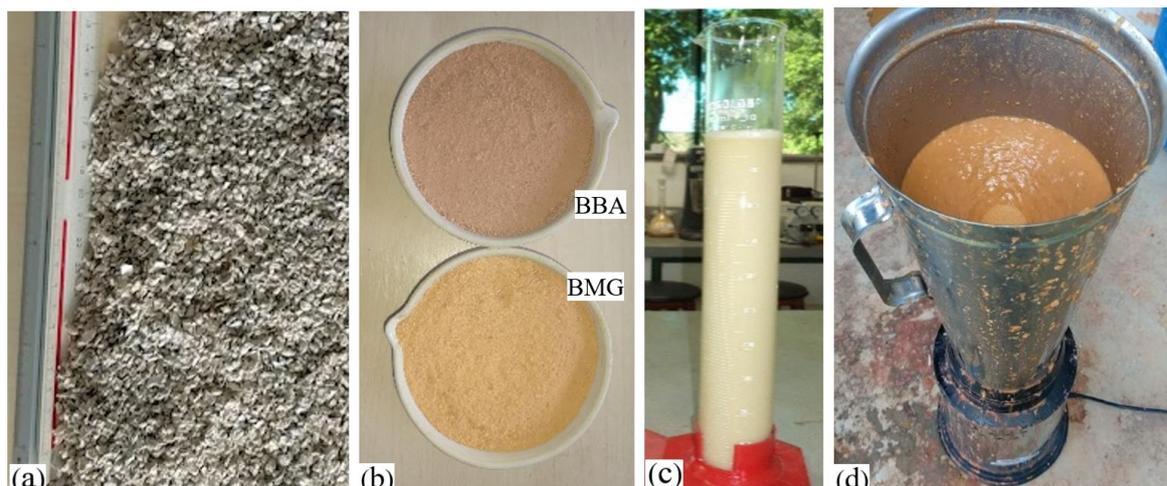


Tabela 1 - TeBR (TBA e TMG) com os traços em proporção de massa (%) das matérias-primas, resíduos sólidos e efluente industrial

TeBR Traço/ Tratamento		Proporção de massa (peso) (%)						Proporção em relação à umidade ótima (%)	
		B	A	C	S	F	Total	TBA	TMG
1TBA	1TMG	80	10	08	01	01	100	19,5	24,3
2TBA	2TMG	75	12	10	02	01		19,9	24,8
3TBA	3TMG	70	13	12	03	02		21,6	24,8

Nota: Legenda:

- B - Barro;
- A - Areia;
- C - Cinza;
- S - Serragem;
- F - Fibra de papel; e
- Man - Manipueira com acréscimo de 2% em relação à umidade ótima obtida no ensaio de compactação.

A Figura 3 mostra as percentagens e os pesos das composições de matérias-primas (87% e 3.132 g) e de resíduos sólidos (13% e 468 g) dos TeBR traços 2TBA e 2TMG.

### Diagrama esquemático do processo de produção

A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo de produção dos tijolos TeBR para assentamento em argamassa na construção da alvenaria de forma tradicional, sem função estrutural, para todos os traços estudados, conforme a NBR 15270-1 (ABNT, 2017a) e a NBR 16814 (ABNT, 2020).

### Estruturação para a produção dos tijolos

A NBR 15270-1 (ABNT, 2017a) especifica as dimensões nominais para tijolos de argila empregados em alvenaria de vedação e considera que a altura seja de  $H \leq 115$  mm. O valor adotado no estudo para a produção dos tijolos TeBR com largura (L), altura (H) e comprimento (C) foram os dos módulos dimensionais (1)M x (5/4)M x (5/2)M e (5/4)M x (1)M x (5/2)M (M = 10 cm, menos 1 cm do valor encontrado para L:H:C, o que definiu as medidas de L = 90 mm e 115 mm, H = 115 mm e 90 mm e C = 240 mm, com tolerância individual permitida de  $\pm 0,5$  mm e na média de  $\pm 0,3$  mm. Essas dimensões atendem aos requisitos para a construção de alvenaria de vedação com a espessura de 90 mm e de 115 mm. Essa mesma norma recomenda que para os tijolos furados a porcentagem de vazios (furos) seja  $\leq 25\%$ . Os TeBR possuem dois furos horizontais com diâmetro de 32 mm cada (Figura 5d), correspondendo a 15,5% do volume do tijolo.

Figura 3 - Percentagens e pesos das composições dos TeBR traços 2TBA e 2TMG

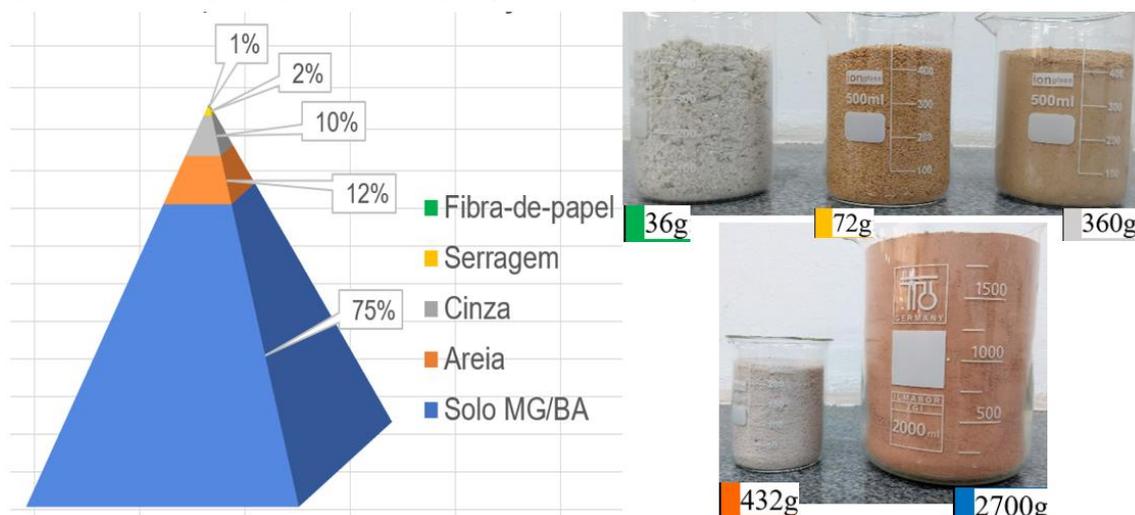
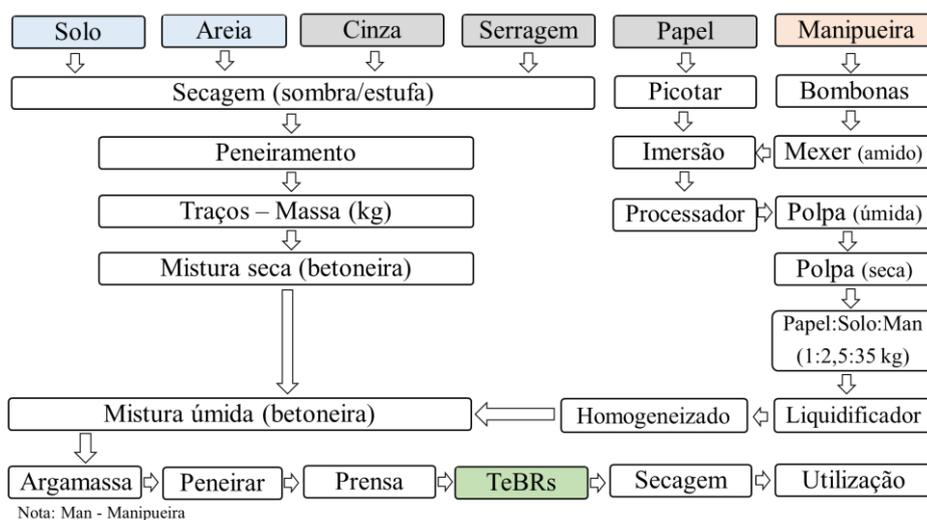


Figura 4 - Fluxograma do processo de produção dos TeBR



Visando desenvolver um tijolo cerâmico de vedação inovador com assentamento em argamassa na construção da alvenaria de forma tradicional, foi desenvolvida, com uma prensa utilizada na produção de tijolos solo-cimento, um novo modelo de prensa manual (Figura 5a), que molda os TeBR com uma nova dimensão do molde (115x90x240 mm) (LxHxC) (Figura 5d), e uma segunda alavanca que aciona dois cilindros e proporciona a abertura de dois furos horizontais com diâmetro de 32 mm cada. Para melhorar a compressão na camada superior da argamassa no molde, foram soldadas na tampa duas chapas que juntas formam a espessura de 8 mm (Figura 5a).

Iniciou-se com a mistura seca (Figura 5b), depois a úmida com a manípueira (Figura 5c), em betoneira, para a formação da argamassa, seguido da moldagem e prensagem, finalizando com o processo de desidratação natural (secagem) à sombra, em espaço coberto, porém aberto nas laterais. Os TeBR foram colocados sobre as bandejas das estantes de aço, que estavam forradas com folhas de cartolina (base porosa) (Figura 5e). Após 7 dias, eles foram virados e assim permaneceram até o momento da realização dos ensaios tecnológicos.

Para quantificar a argamassa de cada traço foi realizada a moldagem de tijolos pré-teste e, de acordo com a massa seca em peso e da umidade obtida, calculou-se a massa unitária dos traços TBA e TMG, conforme a Tabela 2. A argamassa em peso correspondente a cada tijolo foi colocada em saco plástico individual e lançada na caixa de moldagem, com a primeira camada nivelada chegando ao nível dos furos, seguida do acionamento da segunda alavanca com os dois cilindros, fazendo penetrar na caixa de moldagem. O restante da argamassa (segunda camada) foi colocado e sofreu compressão manual extra com um pequeno soquete e nivelamento. Com o fechamento da tampa e o acionamento da primeira alavanca, ocorreu a compressão e, em seguida, a expulsão do TeBR.

Figura 5 - Processo de produção dos TeBR - (a) Nova prensa manual; (b) barro, areia, cinza, serragem e fibra de papel; (c) manípueira; (d) TeBR com as posições de paredes (90 mm e 115 mm); e (e) secagem na sombra



Tabela 2 - Massa unitária dos traços TBA e TMG. Peso do material seco, manípueira, argamassa e do TeBR seco à sombra, aos 84 dias

Traço	Massa seca (mistura) (g) (1)	Man (%)	Massa Man (g) (2)	Argamassa Saco (g) (1)+(2)	Massa TeBR (g), 84 dias
1TBA	3.700	19,5	721,5	4.421,5	3.804,5
2TBA	3.600	19,9	716,4	4.316,4	3.665,5
3TBA	3.500	21,6	756,0	4.256,0	3.575,3
1TMG	3.700	24,3	899,1	4.599,1	3.795,5
2TMG	3.600	24,8	892,8	4.492,8	3.698,1
3TMG	3.500	24,8	868,0	4.368,0	3.580,9

## Capecamento e ruptura

Antes de serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, as faces de 115 mm dos TeBR e TB receberam capecamento para deixar a superfície lisa e plana, e assim assegurar uma distribuição uniforme da carga aplicada. O traço empregado foi o de argamassa de cimento e areia (traço de 1:2), com cimento Misu CP IV-ARI e areia passante na peneira de malha 0,425 mm. Foram utilizadas bandejas em aço rígido, com aba de 4 mm de altura, para uniformizar a altura do capecamento, o que permitiu atender ao limite estabelecido para a espessura das faces, inferior a  $\leq 3$  mm, de acordo com a NBR 16814 (ABNT, 2020), a NBR 10836 (ABNT, 2013) e a NBR 15270-2 (ABNT, 2017b).

Os ensaios mecânicos de ruptura à compressão simples foram realizados com o auxílio de uma prensa hidráulica automatizada digital de ensaios universal, da marca Contenco, modelo I-3025-B, com capacidade de 100 toneladas-força. Com base na NBR 10836 (ABNT, 2013) e a NBR 8492 (ABNT, 2012a), os ensaios foram realizados aos 28, 56 e 84 dias, aplicando a carga nas faces superiores e inferiores de 115 mm, que suportarão a carga de compressão quando usada na construção da alvenaria. Também foram realizados testes nas faces de 90 mm na idade de 84 dias. Um total de 144 corpos de prova foram rompidos, cada um com oito repetições. Os extremos foram excluídos, permanecendo seis repetições para cada traço.

## Câmara úmida

A câmara úmida utilizada no estudo está de acordo com a NBR 9479 (ABNT, 2006). Foi adaptada uma estufa de secagem de amostras, da marca Medclave, modelo 3. Apenas uma abertura na lateral superior foi feita para receber a mangueira que conduz a água (névoa) do umidificador até a câmara úmida, sem escoamento direto sobre os corpos de prova. Ela tem isolamento térmico, é fechada e dispõe de bandejas furadas, apropriada para a colocação dos TeBR e dos TB. Para manter a umidade relativa do ar acima de 95%, utilizou-se um umidificador da marca Incoterm UMD110, com um reservatório de 3 L e vazão da névoa de 230 mL.h<sup>-1</sup>. As medidas de umidade relativa do ar e de temperatura foram obtidas com o termo-higroanemômetro digital da marca Akso, AK821.

Para a obtenção da absorção de água dos corpos de prova, seguiram-se a NBR 8492 (ABNT, 2012a) e a NBR 9479 (ABNT, 2006). Os TeBR e os TB foram secos em estufa de secagem (Solar-SL 102) a 105±5 °C, obtendo-se uma massa seca. Em seguida, foram colocados em câmara úmida, com a umidade relativa do ar interna mantida pelo sistema de umidificação em 98,0±1,5% e temperatura do ar e da água de 23,9±1 °C. Foram mantidos durante 72 h, com a leitura da umidade e temperatura interna e pesagem dos tijolos a cada 24 h, momento em que era realizada a troca de posição dos tijolos na bandeja da câmara úmida.

## Potencial hidrogeniônico

As medidas do potencial hidrogeniônico (pH) foram feitas com o uso do pHmetro da marca Gehaka, do modelo PG1800, eletronicamente, por meio de eletrodo de vidro combinado, imerso diretamente em suspensão do efluente industrial, manípueira e massa dos TeBR dissolvidas em água destilada em Becker.

## Resultados e discussões

### Caracterização dos solos e dos resíduos sólidos

A Figura 6 mostra as curvas de distribuição granulométrica dos solos utilizados. A Tabela 3 apresenta a granulometria média por peneiramento das matérias-primas e resíduos sólidos, e o Quadro 2 apresenta os resultados da caracterização geotécnica e os limites estabelecidos nas normas NBR 16814 (ABNT, 2020) e NBR 10833 (ABNT, 2012).

Conforme a granulometria por peneiramento (Tabela 3), a parte passante na peneira 0,075 mm do BBA foi de 8,17%, enquanto a do BMG foi de 9,60%. A serragem teve porcentagem passante na peneira 1,200 mm de 97,95%; para a peneira 0,600 mm a parte passante foi de 61,18%; e de 1,26% na malha de 0,075 mm. A cinza foi de 100% passante na peneira 0,300 mm, 60,15% na de malha 0,150 mm e 9,46% na de 0,075 mm. Segundo França *et al.* (2016), a cinza de granulometria passante na peneira 0,300 mm tem a finura que contribui para a atividade pozolânica e maior densidade de empacotamento do produto.

A composição química, em porcentagem de peso, com os resultados expressos na forma de óxidos dos barros (solos) BBA e BMG, é apresentada na Tabela 4, e a das cinzas da queima de *Eucalyptus spp.*, oriunda de cerâmica (CER) e pizzaria (PIZ), na Tabela 5. Os resultados foram obtidos por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX).

Figura 6 - Curvas de distribuição granulométricas do BBA e do BMG

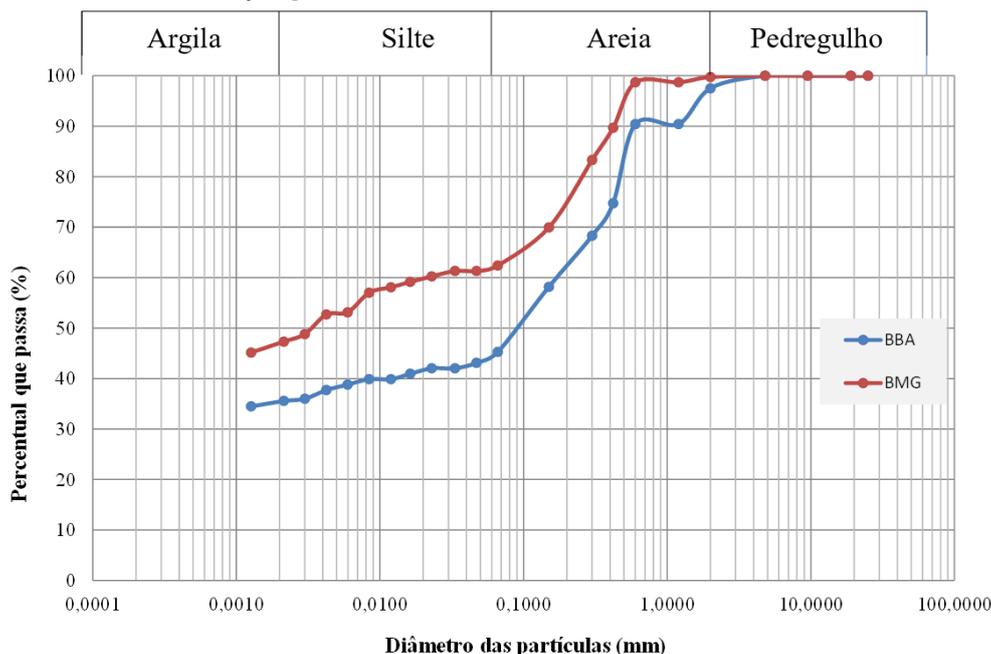


Tabela 3 - Granulometria média por peneiramento das matérias-primas e resíduos sólidos

Material	Peneira (mm)									Total
	4,75	2,40	1,20	0,60	0,30	0,15	0,075	Fundo		
Retido (%)										
BBA	0,00	1,48	15,77	23,57	19,48	22,50	9,03	8,17		100,00
BMG	0,00	0,28	3,63	18,27	29,93	28,70	9,59	9,60		
Areia	0,00	0,27	7,51	33,34	28,46	24,54	4,07	1,81		
Cinza	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,86	50,69	9,46		
Serragem	0,00	0,00	2,05	36,77	38,40	17,35	4,17	1,26		

Quadro 2 - Propriedades geotécnicas do BBA e do BMG

Propriedade	Valores		NBR 16814	NBR 10833
	BBA	BMG		
Argila (0-0,002 mm)	35,57%	47,33%	≥ 25 e ≤ 35	-
Silte (0,002-0,06 mm)	8,93%	15,17%	≤ 30	-
Areia (0,06-2,0 mm)	53,04%	37,26%	≥ 45 e ≤ 65	-
Pedregulho (2,0-60,0 mm)	2,46%	0,24%	-	-
Passante peneira nº 4 (4,75 mm)	100,00%	100,00%	-	100,00
Passante peneira nº 200 (0,075 mm)	49,00%	64,00%	-	≥ 10 e ≤ 50
Limite de Liquidez (LL) c/ água	45,84%	54,07%	-	≤ 45
Índice de Plasticidade (IP) c/ água	22,28%	25,83%	-	≤ 18
Limite de Plasticidade (LP) c/ água	23,56%	28,24%	-	-
Limite de Liquidez (LL) c/ man	38,09%	46,38%	-	≤ 45
Índice de Plasticidade (IP) c/ man	17,99%	22,78%	-	≤ 18
Limite de Plasticidade (LP) c/ man	20,10%	23,60%	-	-
Massa específica dos grãos (ps)	2,691 g.cm-3	2,694 g.cm-3	-	-

Nota: man - Manipueira.

Tabela 4 - Composição química dos barras (solos) BBA e BMG (peso em % de óxido) por FRX

Solo	Óxidos em % de peso											
	*	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	***
	S	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	L.O.I.	
BBA	0,02	0,042	79,2	13,1	2,37	0,07	0,16	1,07	0,10	0,07	5,17	
BMG	0,02	0,038	65,9	21,1	3,74	0,05	<0,10	0,48	0,02	0,53	8,39	

Nota: \*Determinação de Carbono e/ou Enxofre Totais por Infravermelho - LECO Indutivo. \*\*Fusão com Tetraborato de Lítio - XRF. \*\*\*Determinação de Perda ao Fogo (LOI) por Gravimetria - 1.000 °C.

Tabela 5 - Composição química das cinzas da queima de *Eucalyptus spp*, oriunda de CER e PIZ (peso em % de óxido) por FRX

Cinza	Óxidos em % de peso											
	*	*	**	**	**	**	**	**	**	**	*	***
	S	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	L.O.I.
CER	0,94	2,338	40,60	12,70	5,15	20,1	3,39	0,98	1,77	1,28	2,87	9,10
PIZ	0,37	0,913	8,42	2,73	1,01	36,1	5,17	0,16	1,78	1,77	5,02	35,40

Nota: \*Determinação de carbono e/ou enxofre totais por infravermelho - LECO indutivo. \*\*Fusão com tetraborato de lítio - XRF. \*\*\*Determinação de perda ao fogo (LOI) por gravimetria - 1.000 °C.

Na Tabela 5 verifica-se que existem relevantes diferenças quanto aos teores dos óxidos entre as amostras, sendo esses o óxido de silício, também conhecido como sílica (SiO<sub>2</sub>), o óxido de alumínio, conhecido como alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), e o óxido de ferro, conhecido como hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A soma desses percentuais corresponde a 58,45%, em peso, nas cinzas CER e a 12,16% na cinza da PIZ. Esses valores estão abaixo de 70%, que é o determinado na norma NBR 12653 (ABNT, 2014) para classificar resíduo com atividade pozolânica. De acordo com a mesma norma, o óxido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) ≤ 4, o óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O) ≤ 1,50 e a perda ao fogo (LOI) ≤ 10 atendem aos valores obtidos na análise da cinza CER, com 2,338%, 1,28% e 9,10% respectivamente, e satisfazem como material pozolânico.

O elevado teor de óxido de alumínio, com 12,70% presente na cinza CER (Tabela 5), indica que a madeira recebeu elevada temperatura. A da amostra chegou a 850 °C, e com esse grau de calor ocorre a combustão completa. Já a cinza PIZ, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com 2,73%, a temperatura chegou a 380 °C. A LOI da cinza PIZ com 35,40% em peso, foi superior em 289,01% ao obtido com a CER, cujo resultado foi de 9,10% em peso. A alta concentração do LOI pode estar relacionada à presença de matéria orgânica e à decomposição de compostos minerais no resíduo (SANTOS, 2016). A existência de partículas de carvão foi visível na PIZ. Esses fatores foram preponderantes para a escolha da cinza CER, utilizada no estudo.

## Ensaio de compactação

Os resultados dos ensaios de compactação, expressos por meio do teor de umidade ótima (%) e da massa específica aparente seca máxima (g.cm<sup>-3</sup>) obtidas das curvas de compactação, com as argamassas dos TeBR e dos TB, estão representados na Figura 7 e na Tabela 6.

## Resistência à compressão

Apresentam-se na Tabela 7 os resultados médios obtidos nos ensaios mecânicos e físicos realizados nos TeBR e nos TB em diferentes idades. São eles resistência à compressão simples (MPa) para alvenaria na espessura de 115 mm e 90 mm, absorção d'água (%) e potencial hidrogeniônico (pH) da massa dos TeBR rompidos. Na Figura 8, a resistência à compressão.

Os resultados de resistências à compressão mais significativos ocorreram com os traços 2TMG, com 1,17 MPa, 3TMG, com 1,14 MPa, 2TBA e 1TMG, com 1,09 MPa, conforme a Tabela 7 e a Figura 8. Todas as formulações analisadas dos TeBR aos 84 dias atendem aos padrões estabelecidos pela norma peruana E0.80 (NORMA..., 2017), que exigem para os adobes  $f_{ca} \geq 1,0$  MPa e com a classificação de ótimo com  $f_{ca} > 1,2$  MPa; pela norma espanhola UNE 41410 (ASOCIACIÓN..., 2008), com  $f_{ca} \geq 1,3$  MPa, admitindo  $f_{ca} \geq 1,0$  MPa desde que todas as resistências sejam  $f_{ca} \geq 1,0$  MPa; pela norma cingalesa SLS 1382-1 (SRI..., 2009), com  $f_{ca} \geq 1,2$  MPa; pela norma turca TS 2514 (TURKISH..., 1997),  $f_{ca} \geq 1,0$  MPa, e pela norma brasileira NBR 13553 (ABNT, 2012b), em que a resistência média à compressão simples na construção de paredes monolíticas de solo-cimento não estrutural deve ser  $f_{cp} \geq 1,0$  MPa.

Quanto à resistência à compressão simples dos TeBR, dos 28 aos 84 dias houve acréscimo de 12,37% para o traço 2TBA e de 13,59% para o 2TMG, conforme a Tabela 7 e a Figura 8. Os autores recomendam um intervalo de tempo maior para esse tipo de ensaio, principalmente quando os tijolos são produzidos com solo e resíduos que contenham materiais pozolânicos, como a cinza. No estudo de Fonseca *et al.* (2021), na produção de tijolos de solo-aglomerante com utilização de resíduo cerâmico com adição pozolânica, avaliaram-se as propriedades físicas e mecânicas em idades avançadas (90, 120, 150 e 365 dias). Na realização dos ensaios de resistência à compressão simples e absorção, realizados aos 7, 28, 56, 120 e 240 dias, e de acordo com a norma, em relação ao mínimo aos 7 dias, houve ganhos superiores a três vezes e citam ser provável que a resistência do tijolo de solo-cimento com resíduos continue aumentando (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008).

Ao comparar as maiores resistências à compressão simples obtida dos TeBR com as das referências dos TB, conforme a Tabela 7 e a Figura 8, constata-se que houve incremento favorável aos TeBR de 105,26% na relação TMG x BMG e de 81,67% entre TBA e BBA.

### Ensaio de absorção de água

A Tabela 7 mostra os resultados médios alcançados no quesito absorção d'água (%) nos TeBR e TB aos 84 dias.

Figura 7 - Curvas de compactação realizada com as argamassas dos TeBR traços 1, 2 e 3 dos TBA e TMG

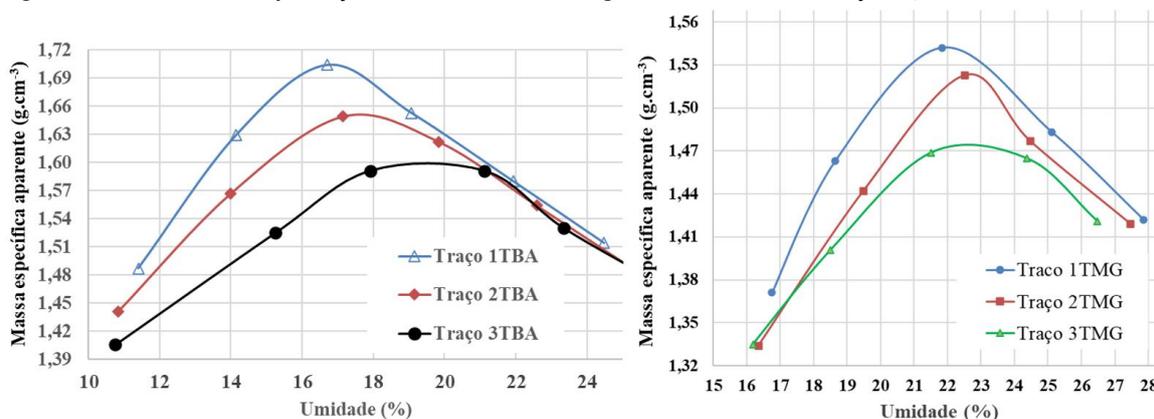


Tabela 6 - Resultados dos ensaios de compactação dos traços TBA e TMG - Umidade ótima (%) x massa específica aparente seca (g.cm<sup>-3</sup>)

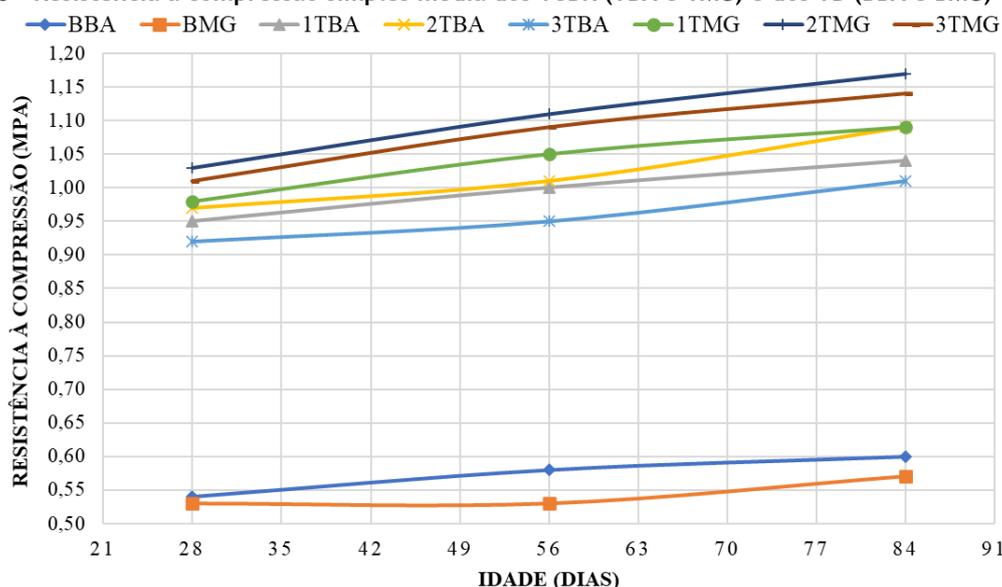
Traço	TBA		TMG		BBA		BMG	
	w (%)	ρ (g.cm <sup>-3</sup> )						
1	17,5	1,707	22,3	1,544	14,6	1,835	20,9	1,614
2	17,9	1,655	22,8	1,526	-	-	-	-
3	19,6	1,596	22,8	1,475	-	-	-	-

Tabela 7 - Resultados de testes físicos e mecânicos realizados com os TeBR e os TB em diferentes idades

Tijolo	Resistência à compressão (MPa)				Absorção d'água (%)			pH	Temp. (°C)	
	Dias				Horas					Total
	28	56	84	*	24	48	72			
1TBA	0,95	1,00	1,04	*1,02	3,95	2,64	2,28	8,87	8,55	25,0
2TBA	0,97	1,01	1,09	*1,10	3,16	2,75	2,53	8,44	9,04	24,6
3TBA	0,92	0,95	1,01	*1,04	4,14	2,25	2,44	8,84	8,31	23,8
1TMG	0,98	1,05	1,09	*1,02	3,82	2,45	2,14	8,41	8,45	24,6
2TMG	1,03	1,11	1,17	*1,16	4,19	2,47	2,18	8,85	9,43	24,7
3TMG	1,01	1,09	1,14	*1,10	4,01	2,61	2,37	8,99	8,58	24,9
BBA	0,54	0,58	0,60	-	4,03	3,72	3,48	11,23	-	-
BMG	0,53	0,53	0,57	-	4,69	3,85	3,31	11,85	-	-

Nota: \*TeBRs para alvenaria, L=90 mm de espessura.

Figura 8 - Resistência à compressão simples média dos TeBR (TBA e TMG) e dos TB (BBA e BMG)



Conforme a NBR 15270-1 (ABNT, 2017a), a especificação quanto à absorção d'água de tijolo de vedação em parede com furos vazados horizontais deve situar-se entre 8% e 25%. Nos ensaios de absorção de água realizados, os limites dos TeBR situam-se entre 8,41% e 8,99%, e dos TB com 11,23% e 11,85% (Tabela 7). Todos estão próximos do limite mínimo da norma, atingido após 72 h em câmara úmida. Na comparação entre TeBR e TB, as interações entre os tijolos TBA x BBA e TMG x BMG tiveram a absorção d'água nos TeBR inferior na relação de 28,78% e 35,43% respectivamente.

### Análise estatística

A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva dos ensaios dos TeBR traços TBA e TMG, e dos TB BBA e BMG aos 84 dias. Observa-se que os menores valores médios foram observados nos ensaios dos traços BBA e BMG, enquanto os ensaios TMG apresentaram as maiores resistências à compressão simples médias. Foi realizado o teste estatístico de Shapiro-Wilk para os dados de cada ensaio e verificou-se que, em um nível de significância de 5% ( $p=0,05$ ), os dados dos ensaios 2TBA, 3TBA e 3TMG apresentam distribuições diferentes da distribuição normal.

Assim, realizou-se o teste não paramétrico de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis seguido do teste post-hoc de Dunn, apresentado na Tabela 9. Verificou-se que, ao nível de significância de 5%, os ensaios do traço TMG apresentam resistência maior em comparação com os demais ensaios. As resistências observadas nos ensaios dos TB BBA e BMG não apresentam diferenças significativas entre si.

### pH e amido

Nesta pesquisa o potencial hidrogeniônico (pH) da manipueira, após 4 h da coleta na farinha, teve o valor médio de 4,42 e, no dia seguinte, de 4,13, ambos ácidos (Tabela 10). Para o pH da massa dos TeBR com 56 dias, a média foi de 8,63 para os traços TBA e de 8,82 para os TMG (Tabela 7), classificados então como alcalinos. No estudo de Souza *et al.* (2021), o pH obtido da manipueira foi de 4,5. Nos testes técnicos realizados com os materiais constituintes dos tijolos de solo-cimento, verificou-se que a hidratação não foi prejudicada. Esses resultados sugerem ser possível a substituição da água por manipueira na fabricação dos TeBR.

Como constituinte do suco celular presente na manipueira, o amido (matéria seca) presente no efluente industrial teve seu valor médio encontrado nas três coletas realizadas em meses diferentes, com resultado de 8,57% (Tabela 10). De acordo com Santana Neto (2013), o teor de amido variou entre as composições de 6,45% a 11,12%, enquanto no estudo realizado por Fioretto (2001) o valor ficou entre 5% e 7%; já no de Santos Filho (2012) foi de 6,72%.

Quando foi utilizada a manipueira na hidratação da argamassa na produção de tijolo comprimido de terra estabilizada com cimento, obtiveram-se resultados superiores em resistência à compressão, menor absorção de água e perda de massa (SOUZA *et al.*, 2021).

Tabela 8 - Estatística descritiva dos ensaios dos TeBR traços TBA e TMG e dos TB BBA e BMG aos 84 dias

Parâmetro	Traços dos TeBR						TB	
	1 TBA	2TBA	3TBA	1 TMG	2TMG	3TMG	BBA	BMG
Média	1,04	1,09	1,01	1,09	1,17	1,14	0,60	0,57
Desvio padrão	0,05	0,05	0,01	0,09	0,08	0,08	0,07	0,04
Percentil 25%	0,99	1,05	1,00	1,01	1,09	1,09	0,55	0,54
Mediana	1,04	1,08	1,00	1,09	1,18	1,11	0,59	0,58
Percentil 75%	1,08	1,12	1,02	1,18	1,24	1,17	0,66	0,60
Mínimo	0,97	1,05	1,00	0,99	1,07	1,07	0,51	0,52
Máximo	1,09	1,19	1,03	1,22	1,25	1,30	0,71	0,61
Shapiro-Wilk (p-valor)	0,389	0,039	0,003	0,834	0,248	0,016	0,957	0,586
Normalidade	Não rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Não rejeitada	Não rejeitada	Rejeitada	Não rejeitada	Não rejeitada

Tabela 9 - Resultado da resistência à compressão simples através do teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de comparações múltiplas ( $p < 0,05$ ), aos 84 dias

Grupo	TBA	TMG	BBA	BMG
<i>TBA</i>	-	↑	↓	↓
<i>TMG</i>	↓	-	↓	↓
<i>BBA</i>	↑	↑	-	=
<i>BMG</i>	↑	↑	=	-

Nota: Legenda:

= Grupo em negrito não apresenta diferença significativa do grupo em itálico.

↑ Grupo em negrito é significativamente maior que o grupo em itálico.

↓ Grupo em negrito é significativamente menor que o grupo em itálico.

Tabela 10 - Matéria seca (amido) em % e pH presente na manipueira, médias

Manipueira									
Matéria seca (amido) (%)				pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)
Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Média	1 dia		2 dias		7 dias	
7,5	9,4	8,8	8,57	4,42	26,0	4,13	26,0	3,91	27,6

O teor de amido presente nos TeBR situa-se em torno de 1,5% da massa total da argamassa. Segundo Izaguirre, Lanas e Alvarez (2010), há maior fluidez e melhora na trabalhabilidade da argamassa com teores de amido acima de 0,5%. Esse valor foi observado quando a viscosidade aparente foi comparada a uma argamassa de referência.

## Conclusão

A incorporação dos resíduos sólidos à massa do solo que tem propriedades aglutinantes, com a cinza diminuindo a porosidade e a permeabilidade e proporcionando reações pozolânicas, com fibras da serragem e do papel atuando como reforço mecânico, e o efluente industrial manipueira, em que as propriedades do amido causam biopolímero, contribui para a adesividade das partículas e reduz a permeabilidade do compósito, o que influencia positivamente na resistência à compressão simples e na baixa absorção d'água dos TeBR.

Os resultados sugerem ser possível substituir água por manipueira na fabricação de tijolos, dando uma destinação ambientalmente correta a um efluente industrial que é altamente poluidor. Com isso, contribui-se para o uso mais nobre da água potável, como consumo humano, a dessedentação de animais e a agricultura.

Todos os traços avaliados obtiveram resultados de resistência à compressão simples acima de 1,00 MPa, e o de melhor desempenho foi obtido com o 2TMG. De acordo com as normas vigentes, os TeBRs demonstraram que atendem aos pré-requisitos exigidos e podem ser empregados em alvenaria não estrutural.

Os dois furos horizontais ocupam 15,5% do volume do TeBR e contribuem para o isolamento acústico, diminuição da amplitude térmica e leveza, além de possibilitar o assentamento de forma tradicional, dando mais estabilidade à alvenaria e melhor acomodação no acondicionamento em pallets durante o transporte.

A geometria e o suporte de cargas dos TeBR são adequados para a construção de alvenaria na espessura de 115 mm e 90 mm e podem contribuir com as habitações de interesse social no contexto do desenvolvimento sustentável.

## Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI Committee E-701**. Cementitious materials for concrete. Materials for Concrete Construction. Farmington Hill, 2001. ACI Educational Bulletin E3-01.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1621**: standard guide for elemental analysis by wavelength dispersive x-ray fluorescence spectrometry. West Conshohocken, 2022.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. **UNE 41410**: bloques de tierra comprimida para muros y tabiques: definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Madrid, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO/TR 18336**: diretrizes para boas práticas de laboratório de FRX para a indústria de minério de ferro. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 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, 2012.
- 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, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: materiais pozolânicos: requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13553**: materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2012b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria: parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2017a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria: parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16814**: adobe: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação de resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9251**: Água - Determinação do pH - Método eletrométrico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: argamassa e concreto: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: agregado graúdo: determinação do teor de umidade total - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7180**: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7181**: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7182**: solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016d.
- BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Construção em terra crua e sustentabilidade. **Materiais de Construção Sustentáveis**, v. 1, p. 29-42, 2014.

- BORLINI, M. C. *et al.* Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha: parte I: características da cinza. **Cerâmica**, v. 51, n. 319, p. 192-196, 2005.
- BUSON, M. A. **KRAFTTERRA**: desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes de reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical. Brasília, 2009. 135 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- CARVALHO, J. C. *et al.* Biorefinery integration of microalgae production into cassava processing industry: Potential and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1165-1172, 2018.
- FIORETTO, R. A. **Uso direto da maniveira em fertirrigação**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas – Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca.
- FONSÊCA, N. J. M. *et al.* Avaliação do potencial do resíduo cerâmico (RC) nas propriedades tecnológicas de tijolos de solo-aglomerante (s). **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 55, p. 119-129, set. 2021.
- FRANÇA, D. F. S. *et al.* Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166, jul./set. 2016.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico do IBÁ**. Ano-base 2019. Indústria brasileira de árvores. Associação Brasileira de Árvores, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 13 maio 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- IZAGUIRRE, A.; LANAS, J.; ALVAREZ, J. I. Behaviour of a starch as a viscosity modifier for aerial lime-based mortars. **Carbohydrate Polymers**, v. 80, p. 222-228, 2010.
- KING, R. *et al.* **Confronting the urban housing crisis in the global south**: adequate, secure, and affordable housing. Washington: World Resources Institute, 2017.
- MACDOUGALL, C. Natural building materials in mainstream construction: lessons from the U. K. **Journal of Green Building**, v. 3, n. 3, p. 1-14, 2008.
- NEVES, C. M. M. *et al.* **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra**: práticas de campo. Rede Ibero-Americana PROTERRA, 2010.
- NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E0.80**: Adobe. SENCICO. Lima, 2017.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. **Eco-efficient construction and building materials**. New York: Springer, 2011.
- RAMOS FILHO, R. E. B. **Estudo da combinação de resíduo de scheelita, pó de pedra e maniveira com aglomerantes para produção de tijolos ecológicos**. Natal, 2021. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- RIBAS, M. M. F.; CEREDA, M. P.; BÔAS, R. L. V. Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53 n. 1, p. 55-62, 2010.
- SAMPAIO, A. L. P. **Proposta de sistema construtivo em terra ensacada com incorporação de maniveira em substituição à água**. Natal, 2020. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- SANTANA NETO, J. A. **Uso da maniveira como suplemento da dieta para cordeiros Santa Inês**. São Cristóvão, 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.
- SANTOS FILHO, H. B. **Avaliação da maniveira em substituição ao milho na dieta de ovinos**. Recife, 2012. 43 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

- SANTOS, F. **Influência do resíduo de cinza de serragem de madeira nas propriedades técnicas de cerâmica vermelha**. Campos dos Goytacazes, 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.
- SINGH, L. R.; SALEEM, A.; GEETA, B. Application of paper waste in cement concrete. **Journal of Engineering Research and Applications**, v. 5, n. 4, p. 95-98, 2015.
- SOUZA, J. M. *et al.* Mechanical and durability properties of compressed stabilized earth brick produced with cassava wastewater. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 103290, 2021.
- SOUZA, J. M. **Tijolos de solo-cimento produzidos com manipueira em substituição à água**. Natal, 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- 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**, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.
- SRI LANKA STANDARD. **SLS 1382-1**: specification for compressed stabilized earth blocks: part 1: requirements. Colombo, 2009.
- THOMAS, J. I. *et al.* Mud bricks using oyster shells. In: DASGUPTA, K. *et al.* (ed.). **Proceedings of SECON'19**. Cham: Springer, 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, v. 46.
- TONOLI, G. H. D. **Fibras curtas de eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento**. São Carlos, 2009. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- TURKISH STANDARD INSTITUTE. **TS 2514**: adobe blocks and production methods. Ankara, 1997.
- VERACEL CELULOSE. **Relatório de sustentabilidade 2020**. Eunápolis: Veracel Celulose, 2020. Disponível em: <https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Relatorio-Sustentabilidade-Veracel-2020.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.
- VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? 2014. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4602>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- VIEIRA, J. C. *et al.* Influência da adição de fécula de mandioca nas características do pão tipo chá. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 37-48, jan./jun. 2010.
- ZHANG, X.; BISWAS, W. K. Development of eco-efficient bricks: a life cycle assessment approach. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 102429, 2021.

**Francisco Almeida Ângelo**

Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Análise de dados, Administração do projeto, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos | Universidade Federal de Minas Gerais | Av. Antônio Carlos, 6627, Bloco 1, Pampulha | Belo Horizonte - MG - Brasil | CEP 31270-901 | Tel.: (31) 99209-7273 | E-mail: francisco.angelo@ifba.edu.br

**Gustavo Ferreira Simões**

Supervisão, Pesquisa, Metodologia, Análise de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos | Universidade Federal de Minas Gerais | Tel.: (31) 3409-1792 | E-mail: gustavo@desa.ufmg.br

***Ambiente Construído***

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

[www.scielo.br/ac](http://www.scielo.br/ac)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.