

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA FIBRA DE BAMBU PRODUZIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ (MG)

QUALITATIVE EVALUATION OF THE USE OF SOIL-CEMENT BRICKS WITH THE INCORPORATION OF RESIDUES OF BAMBOO FIBER PRODUCED IN THE CITY OF ITAJUBÁ (MG), BRAZIL

David Pacheco Vilela^{1*}

Daniele Ornaghi Sant'Anna¹

*Autor para correspondência: davidpacheco31@hotmail.com

Artigo selecionado do IX Workshop de e III Congresso Internacional Design & Materiais - 2019

Resumo: Esta pesquisa propôs-se a estudar materiais construtivos à base dos resíduos da confecção de produtos feitos de bambu, a sua fibra, os quais foram submetidos à caracterização tecnológica e avaliados quanto à viabilidade de ser incorporados na composição da mistura dos tijolos de solo-cimento, em substituição adicional. Sua finalidade é utilizar tais resíduos de forma produtiva, para ser empregados como um novo material, mais especificamente na fabricação dos tijolos de solo-cimento. Realizaram-se alguns ensaios com o solo usado na fabricação dos tijolos, com o intuito de caracterizá-lo e constatar sua aplicação na composição solo-cimento, além dos ensaios de resistência à compressão e à absorção de água, nos quais foram empregados como corpos de prova os próprios tijolos, conforme as referidas normas. As contribuições desta pesquisa permitem integrar a tecnologia produtiva, o baixo custo e a necessidade de soluções viáveis para minimizar os impactos ambientais na construção civil e alcançar um aproveitamento otimizado dos recursos locais na implementação de futuras construções utilizando essa técnica.

Palavras-chave: tijolo de solo-cimento; resíduos; bambu.

Abstract: This research proposed to study construction materials based on the residues of the manufacture of products made of bamboo, its fiber, which were submitted to the technological characterization and evaluated taking into account the feasibility of being incorporated in the composition of the soil-cement brick mix, in additional substitution. The purpose was to use such waste productively, as a new material, more specifically in the manufacture of soil-cement bricks. Some tests

were carried out with the soil used in the brick fabrication, in order to characterize it and to verify its use in the soil-cement composition, besides the tests of resistance to compression and water absorption, in which specimens of the bricks were used, according to the standards recommendation. The contributions of this research allow integrating the productive technology, the low cost and the need for viable solutions to minimize the environmental impacts in the civil construction and to realize an optimized use of the local resources in the implementation of future constructions using this technique.

Keywords: soil-cement brick; waste; bamboo.

INTRODUÇÃO

A construção civil destaca-se como um setor muito significativo na economia de um país, recebendo altíssimos investimentos e, conseqüentemente, gerando empregos a todo o momento. O mundo está em constante adaptação e, para isso, necessita que a engenharia civil trabalhe a fim de acompanhar tantas mudanças, tais como tornar ambientes acessíveis a todos, construir residências que todos os tipos de população possam edificar, desenvolver construções adaptadas para aguentar qualquer tipo de fenômeno da natureza, entre outros avanços que são de extrema importância para os dias atuais.

A demanda por sustentabilidade nas construções civis proporcionou melhorias no desempenho ambiental das edificações e em seus sistemas de avaliação (ROCHA, 2012; LARSSON, 2004).

A utilização de terra em construções é tão antiga quanto os primórdios de construções realizadas na humanidade, especialmente onde não existiam outros materiais disponíveis, como por exemplo locais com somente pedras ou madeira. Em todo o planeta, a terra foi empregada e em alguns lugares com muito sucesso e sofisticação. A Muralha da China é exemplo histórico e demonstrativo das potencialidades desse material. Mesmo este sendo usado associado a pedras, a maior extensão da muralha foi feita com terra batida, técnica construtiva conhecida como taipa de pilão, e não se desfez com a chuva. Ao longo de todos esses anos até os dias presentes, a terra é amplamente utilizada como material básico de construção em todo o território nacional.

As principais técnicas que empregam terra como matéria-prima básica são:

- taipa de pilão ou taipa socada: a massa usada é composta de terra e água, com a função de apenas umedecer;
- tijolos de adobe: formados por terra crua, água, palha e fibras naturais, são moldados artesanalmente em formas e secos ao sol;
- bloco de terra comprimida (BTC), ou mais conhecido como tijolo ecológico: tijolo composto de solo e água, normalmente estabilizado com um pouco de cimento ou cal e comprimido em prensas mecânicas. Considerado a mais econômica técnica ao longo do ciclo de vida de uma edificação;
- entre outras.

Em comparação com os outros métodos construtivos, essa mistura de materiais à base de terra chega a consumir 25% da energia necessária para produzir um tijolo de argila comum e 35% para produzir um bloco de concreto. Quando de demolição, o material pode ser reciclado e reutilizado como material de construção. Sua resistência a cargas é compatível e mesmo superior aos blocos e tijolos de uso comum (NEVES, 2011).

O Brasil não é exceção à utilização da terra crua. Longe disso, o país tem larga tradição em sua aplicação nas construções, com evidência no período colonial. Entre os produtos mais expressivos da arquitetura brasileira de terra crua, destacam-se as construções da sociedade civil, expressão usada para designar tanto as residências da classe com maior poder econômico quanto aquelas dos pobres e escravos. Além disso, a técnica era aplicada na conformação de

“algumas instalações, como casas de farinha, moinhos hidráulicos de milho, igrejas de povoados pobres, principalmente aldeias indígenas e quilombos” (VARGAS, 1994, p. 81).

O pesquisador Heise (2004) relata que as primeiras construções no Brasil com solo-cimento foram o aeroporto de Petrolina (PE) e a construção de residências em Petrópolis (RJ), no início da década de 1940. Nessa mesma época, o arquiteto Lúcio Costa utilizou o sistema construtivo de pau a pique e o painel monolítico de solo-cimento em um projeto que desenvolveu para a construção da Vila Operária de João Monlevade (MG). O bom estado de conservação de edificações hoje atesta claramente a qualidade do material e da técnica construtiva. A partir daí, o uso do solo-cimento foi consideravelmente ampliado, por conta das vantagens técnicas e econômicas que o material oferece.

Assim, é errônea a ideia de que a construção de terra significa uma simples volta ao passado e, mais especificamente, ao atraso. Pelo contrário, trata-se do resgate de uma técnica que não parou no tempo, uma vez que incorporou avanços científicos.

Com base nisso, a seguinte pesquisa teve como objetivo geral avaliar qualitativamente o uso de tijolos de solo-cimento com incorporação de fibra de bambu produzidos no município de Itajubá (MG). Para avaliar tais questões, tem-se como objetivos específicos examinar as características físico-mecânicas do solo e das fibras de bambu utilizadas na fabricação dos tijolos de solo-cimento e analisar a resistência à compressão e a absorção de água de tijolos de solo-cimento com idades de sete e 14 dias após sua fabricação, com e sem adição das fibras de bambu.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Vive-se, presentemente, a revalorização da importância da técnica de construção com terra nas edificações. Os engenheiros e arquitetos preocupados com o meio ambiente estão desenvolvendo aprimoramento tecnológico, aproveitando mecanizações e modernizando o método construtivo, de modo a torná-lo adequado a nossos tempos.

Nossos monumentos históricos foram construídos com terra. Todavia, na década de 1960, o governo brasileiro promoveu uma ampla campanha nacional associando essa tradição à doença de Chagas (provocada pelo barbeiro), criando assim preconceito em relação à utilização da terra na construção. Isso acabou por se popularizar a associação da proliferação do barbeiro com as casas construídas com terra.

Barbosa, Mattone e Mesbah (2002, p. 3) afirmam:

No entanto, sabe-se que o “barbeiro” vive em cavidades e a este inseto pouco importa se esta cavidade é de terra, de madeira, ou de cimento. O que ele busca são condições ideais de temperatura e luminosidade. Por isso, a doença de Chagas continua existindo onde há miséria e moradias de baixa qualidade.

Com o intuito de desmistificar tal preconceito, a pesquisa aqui apresentada se dedica à compreensão do potencial dos diferentes tipos de sistemas construtivos em terra crua, a fim de debater o seu emprego como material de construção, por meio de um estudo de caso realizado no município de Itajubá. Dessa forma, caracterizam-se os sistemas construtivos mais primitivos da humanidade como tecnologia durável relacionada à construção de baixo impacto ambiental da engenharia, à conservação e à restauração do patrimônio cultural histórico e à produção arquitetônica contemporânea.

Além disso, atentando-se às demandas atuais sobre sustentabilidade, a pesquisa vem a contribuir nesse requisito, em conformidade com Boff (2017, p. 78):

Sustentabilidade pode ser entendida como os procedimentos que se tomam para permitir que um bioma se mantenha vivo, protegido, alimentado de nutrientes a ponto de sempre se conservar bem e subsistir ao longo do tempo,

estando sempre à altura dos riscos que possam ocorrer. E não apenas de se conservar assim como é, mas também para que possa prosperar, fortalecer-se e coevoluir com os seus indivíduos (ativos e passivos). Essas são premissas de sustentabilidade, seja do universo, seja da Terra, dos ecossistemas e, também, de comunidades e sociedades inteiras, para que continuem vivas e se conservem bem. Somente se conservarão bem as comunidades que mantiverem seu equilíbrio interno e conseguirem se auto reproduzir.

Tijolos prensados com terra estabilizada, ou tijolos de solo-cimento

Comparado à técnica milenar da confecção dos tijolos de adobes, não se pode dizer o mesmo dos tijolos prensados de terra crua. Exigindo a prensagem esforços elevados (aproximadamente de 2 MPa), só por volta dos anos 1950 foi desenvolvida a primeira prensa manual, conhecida pelo nome de Cinva-Ram, idealizada na Colômbia. Ela deu origem a inúmeras outras espalhadas por todo o mundo. A figura 1 ilustra o detalhamento de uma fábrica de tijolos de solo-cimento, cujo processo construtivo consiste em:

- depósito de solo (jazida);
- peneiramento (rejeitar: granulometria maior que 6 mm, pedregulhos e raízes);
- mistura (homogeneizar: solo + 5 a 10% cimento + 10 a 15% de água);
- prensagem;
- cura (sete dias em câmara úmida).

Figura 1 – Fábrica de tijolos de solo-cimento



Fonte: primária

De acordo com Pisani (2005), o tijolo de solo-cimento possui matéria-prima abundante em todo o planeta, a terra crua. A autora ainda ressalta que o produto não precisa ser queimado, o que economiza energia, além de proporcionar ambientes com conforto térmico e acústico, pelo fato de possuir características isolantes.

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) (2013, p. 3),

as vantagens do tijolo de solo-cimento vão além das ambientais, servindo também para a economia no processo construtivo e conforto, estética. Estudos realizados em todo o Brasil, [...] tijolos ecológicos trazem para a obra de 20 até 40% de economia com relação à construção convencional.

Conforme Oscar Neto (2010 apud SEBRAE, 2013, p. 3), “hoje, em uma obra convencional, cerca de 1/3 do material vai para o lixo”. Ainda de acordo com o autor, a técnica construtiva com tijolo de solo-cimento possui outras vantagens, entre as quais se podem citar:

- redução em 30% do tempo de construção em relação à alvenaria convencional;
- estrutura: os encaixes e as colunas embutidas nos furos distribuem melhor a carga de peso sobre as paredes;
- redução do uso de madeira para forma de vigas e pilares quase a zero;
- economia de concreto e argamassa em cerca de 70%;
- economia de 50% de ferro.

Materiais a serem incorporados no tijolo de solo-cimento: fibra de bambu

Os tijolos de solo-cimento já são por si só uma forma de construção sustentável, mas, com os objetivos de inovar e conseguir a reutilização dos materiais que seriam descartados, podem-se realizar estudos sobre o reaproveitamento desses materiais na incorporação da construção e tornar a técnica mais eficiente em termos sustentáveis.

Os resíduos podem ser processados e transformados em matéria-prima, misturando-se com o solo, para favorecer os blocos de terra. Dependendo do resíduo em causa, geralmente este passa por um processo de trituração, para que tenha granulometria mais aceitável (MACHADO, 2014).

A utilização das fibras vegetais, tais como a fibra do bambu, como material de reforço aos elementos estruturais existentes tem se mostrado positiva em muitos aspectos, no entanto é necessário consolidar este estudo. Com isso, buscou-se por meio deste trabalho avaliar a influência da adição das fibras de bambu (Figura 2) nas propriedades mecânicas dos tijolos de solo-cimento.

Figura 2 – Fibras de bambu



Fonte: primária

OBJETIVOS

Objetivou-se principalmente neste trabalho estudar as características do solo utilizado na fabricação de tijolos de solo-cimento no município de Itajubá (MG) e as características dos tijolos produzidos no município Itajubá com adição de resíduos de materiais, com o intuito de aprimorar a tecnologia da confecção dos tijolos de solo-cimento. Os objetivos específicos foram:

- examinar as características físico-mecânicas do solo e das fibras de bambu usadas na fabricação dos tijolos de solo-cimento;
- avaliar a resistência à compressão e a absorção de água de tijolos de solo-cimento com idades de sete e 14 dias após sua fabricação, com e sem a adição das fibras de bambu.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho é um estudo descritivo que abrange aspectos gerais e amplos que refletem um contexto social e sustentável (OLIVEIRA, 2013). Teve abordagem qualitativa, e seu objetivo consistiu em analisar por meio dos tijolos de solo-cimento técnicas de construções sustentáveis, diante da necessidade da preservação do meio ambiente, além do aproveitamento dos resíduos dos materiais, os quais apresentam grande potencial para se agregar aos tijolos e torná-los mais resistentes e duráveis.

A coleta de dados da pesquisa deu-se nas visitas aos locais – fontes primárias – e na internet – fontes secundárias –, buscando sempre o maior aproveitamento para o melhor resultado.

Com isso, para se conhecer melhor sobre o tema escolhido e detalhes a respeito dos materiais, visitou-se uma empresa do ramo no bairro Nossa Senhora de Fátima que fabrica tijolos de solo-cimento. No local, descobriram-se detalhes acerca dos materiais, os quais podem ou não ser utilizados, e pormenores de testes de resistência, absorção e muitos outros, para se obter base de comparação aos testes realizados. Também foram recolhidas amostras de solo e de tijolos de solo-cimento para a execução dos testes.

Os ensaios normatizados das características do solo ocorreram no Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Já os ensaios de resistência à compressão e absorção de água dos tijolos foram feitos no Laboratório de Materiais de Construção Civil, também localizado na Unifei, e escolheram-se 10 amostras dos tijolos de solo-cimento para cada período analisado, com e sem adição da fibra, para a execução dos testes.

Análises preliminares do solo

Um estudo desenvolvido pela Universidade Metodista de Piracicaba comprovou que se devem usar os sentidos para recolher as primeiras informações de uma amostra de terra, como um treinamento que pode economizar tempo para decisões no canteiro de obras. As análises preliminares realizadas estão descritas no Quadro 1, com o intuito de se certificar em campo de que os solos escolhidos atendiam às necessidades dos ensaios.

Quadro 1 – Descrição das análises preliminares do solo

Tipo	Descrição
Visual	Objetivo: Observar a cor e a composição da amostra (o tamanho dos grãos). Procedimento prático: Examinar uma amostra em estado seco e observar os componentes à vista simples para apreciar seus aspectos arenosos e argilosos. Nesse exame a fração fina (argilas e limo), que é composta de partículas inferiores a 0,08 mm, não é perceptível a olho nu. Os solos com cores negras e brancas não servem para construção dos adobes. Já os vermelhos e castanhos são adequados para utilização, especialmente o amarelo-claro, o ideal para tal finalidade.
Odor	Objetivo: Detectar a presença de material orgânico na amostra. Procedimento prático: Cheirar a amostra. A amostra contém elementos orgânicos se tiver odor de húmus (mofo). Esse odor amplifica-se e aquece ou umidifica a amostra. Esse tipo de terra não é conveniente para construção.
Mordida	Objetivo: Identificar o grão de maior proporção na amostra. Procedimento prático: Morder uma pitada da amostra entre os dentes. A terra é arenosa se provoca sensação desagradável, abrasiva entre os dentes. A terra é argilosa se sentimos uma sensação lisa e farinhosa entre os dentes. Atenção: deve-se cuidar da qualidade higiênica das amostras.

Continua...

Continuação quadro 1

Tipo	Descrição
Tátil	Objetivo: Identificar a composição granulométrica do material (a tração fina). Procedimento prático: Tritura-se a amostra entre os dedos e a palma da mão. A terra é arenosa se apresenta sensação de rugosidade e se não se observa nenhuma coesão. A terra é limosa se tiver a ligeira impressão de rugosidade, e a amostra úmida apresenta plasticidade média. A terra é argilosa se em estado seco apresenta torrões que resistem à compressão e em estado úmido se converte em massa plástica e colante.
Água corrente	Objetivo: Identificar a proporção de finos na amostra. Procedimento prático: Lavar as mãos após esfregá-las com terra ligeiramente úmida. A terra é arenosa se o enxágue das mãos é fácil. A terra é limosa se parecer polvilhenta e as mãos não são difíceis de enxaguar. A terra é argilosa se parecer esponjosa, e é muito difícil enxaguar as mãos.
Aderência	Objetivo: Observar a quantidade de argila na amostra. Procedimento prático: Toma-se uma bolota de terra úmida que não se adere aos dedos, a qual se corta com uma espátula. A terra é bem argilosa se a espátula penetra facilmente e a terra se adere à espátula. A terra é medianamente argilosa se a espátula penetra sem grande dificuldade e a terra se adere à espátula quando esta é retirada. A terra é pouco argilosa se a espátula penetra e é retirada com facilidade, mesmo quando manchada pela terra.

Fonte: primária

Características do solo

De acordo com Barbosa (2003), faz-se importante a análise da composição granulométrica. A plasticidade e o limite de liquidez não devem ser excessivos, de preferência menor que 40–45%. Para os tijolos de solo-cimento, o ideal é que o solo tenha:

- de 10 a 20% de argila;
- de 10 a 20% de silte;
- de 40 a 70% de areia.

Caso o solo não esteja em conformidade com essas porcentagens, faz-se a correção granulométrica. É comum misturar areia a solos muito argilosos e cujos limites de liquidez e de plasticidade sejam altos. Assim, no momento da produção dos blocos, é feito o peneiramento, para a obtenção da granulometria ideal.

Dosagens da terra com estabilizantes químicos

A fim de se adquirir maior estabilização dos componentes construídos com terra, devem-se adicionar estabilizantes químicos. Estabilizar um solo significa a ele misturar produtos que melhorem suas propriedades, mesmo sob ação da água. Um dos melhores estabilizantes conhecidos é o cimento. Este trabalha reagindo quimicamente não só com a água, formando agentes cimentícios, mas também com as partículas finas do solo.

Cimento

O cimento é utilizado normalmente em combinação com a compactação do solo, sendo por isso perfeitamente indicado para estruturas em taipa de pilão e em tijolos de solo-cimento (Tabela 1). O uso do cimento nos blocos de adobe melhora sua resistência aos esforços de compressão e impede o retraimento brusco, evitando rachaduras e melhorando a resistência à erosão por ação das águas de chuvas.

O cimento atua como agente da união entre as partículas de areia e pedregulhos, preenchendo os espaços vazios desses materiais. É recomendável usar solos com pouco conteúdo de argila (máximo de 20%).

Tabela 1 – Dosagem de taipa de pilão e blocos de terra comprimidos (BTC)

Cimento (unidade)	Solo (unidade)	Água (umidade)	% Cimento	Solo arenoso (teor)
1	10	1	10	> 45%
1	12	1,5	8	> 50%
1	15	2	6	> 55%
1	20	2	5	> 60%

Fonte: adaptado de Taveira (2014)

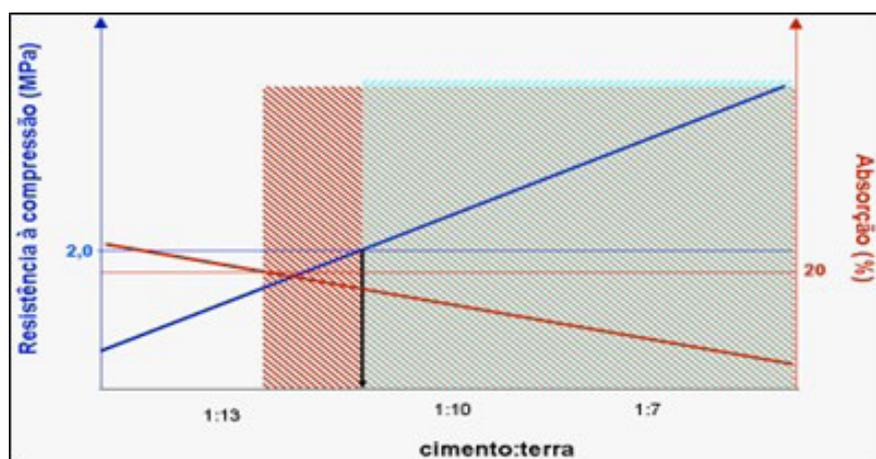
Fabricação dos tijolos de solo-cimento

O processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento seguiu a norma brasileira (NBR) 10833 (ABNT, 2012c), e, segundo Silva (2000), os passos para se realizar a confecção desse tipo de tijolo são:

- preparação do solo: peneiramento do solo e quebra de torrões;
- preparo da mistura: espalha-se o cimento ao solo preparado misturando-os bem até a obtenção de coloração uniforme. Feito isso, adiciona-se água aos poucos, sempre misturando tudo, até atingir a umidade desejada;
- moldagem dos tijolos;
- cura e armazenamento: os tijolos são cobertos com lona plástica.

De acordo com Neves (2011), escolheu-se um traço que se considera de boa resistência para a fabricação dos tijolos, sendo este 7:1, ou seja, sete partes de terra para uma parte de cimento, conforme ilustrado pela Figura 3.

Figura 3 – Exemplo de interpolação de resultados para se definir a dosagem do bloco de terra comprimido (BTC)



Fonte: Neves (2011, p. 42)

A realização do traço com a adição dos resíduos – em substituição de aproximadamente 10% da massa de terra – permitiu a comparação direta entre a composição tradicional, ou seja, sem o acréscimo desses resíduos, e a composição com o acréscimo dos resíduos.

Por sete dias, esses tijolos foram submetidos à molhação abundante e cobertos com lona, para evitar a perda de umidade e favorecer a cura do cimento. Após esse período, foram retirados aleatoriamente do lote fabricado 10 tijolos tradicionais e 10 com adição das fibras, para

submetê-los ao ensaio de resistência à compressão e absorção de água. Passado o período de 14 dias, o processo de coleta repetiu-se, para a realização dos mesmos ensaios. Isso foi feito para se avaliar a diferença da resistência dos tijolos ao longo do tempo e o incremento dessa resistência.

Ensaio de resistência à compressão

A verificação de resistência à compressão foi baseada na norma para tijolos de solo-cimento para alvenaria não estrutural, a NBR 8492 (ABNT, 2012b). Foram rompidos sete tijolos, conforme recomendado pela norma, para cada traço, no sétimo e no 14.º dia após sua fabricação.

Os sete corpos de prova foram preparados cortando-se o tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão (Figura 4). Em seguida, foram superpostas, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas de forma invertida, ligando-as por uma camada fina de pasta de cimento Portland, pré-contraída, e deixando-as em repouso por cerca de 30 minutos. Aguardaram-se aproximadamente 12 horas antes de proceder-se à preparação.

Figura 4 – Tijolos cortados ao meio, superpostos com a pasta de cimento e capeados



Fonte: primária

Após esse tempo, foi coberta a superfície do tijolo com uma camada de pasta de cimento. Logo que a pasta começou a endurecer, retirou-se o corpo de prova da bancada, e, com o auxílio de jornal molhado sobre a superfície, ele foi prensado, com a finalidade de dar acabamento, aplainando a superfície, e retirou-se o excesso da pasta, procedimento que se repetiu do outro lado, após o período de descanso de 12 horas.

Finalmente, depois do descanso de secagem da pasta, os corpos de prova foram imersos em água por um período de 6 horas, a fim de se preparar a amostra para o ensaio.

Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água ocorreu para analisar o comportamento do tijolo perante exposição à umidade por determinado período. Com base na NBR 8492 (ABNT, 2012b), ele consiste em imergir os tijolos em um tanque com água pelo período de um dia.

O ensaio propôs-se a realizar a secagem dos tijolos em uma estufa, a fim de se obter uma estrutura seca, para, após a secagem, os tijolos serem colocados em um tanque de água por 24 horas.

Após o processo de imersão, os blocos são secados com um pano umedecido, para a pesagem. Anotados os devidos valores de massa, é feito o cálculo com o intuito de descobrir o quanto de água o tijolo absorveu.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises preliminares do solo

A fim de se garantir uma boa amostra para a confecção dos tijolos, realizaram-se análises prévias do solo, cujos resultados são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados das análises preliminares

Exame	Resultado	Observações
Visual	Marrom alaranjado	Grãos finos com pequenas porções amontoadas
Odor	Cheiro perceptível, entretanto moderado	-
Mordida	Muita abrasividade, pouca sensação lisa e farinhosa	Solo arenoso com baixa porcentagem argilosa
Tátil	Sensação rugosa perceptível, pouca presença de torrões	Mais arenoso do que limoso
Água corrente	Pouco fácil de sair das mãos	Porções iniciais saíram com facilidade
Aderência	Inicialmente a espátula penetrou com dificuldade. Após a sua inserção, ela entrou com facilidade	Solo pouco argiloso, grudado na espátula após a inserção desta

Fonte: primária

Análises laboratoriais do solo

O material foi preparado para os ensaios seguindo as orientações da NBR 6457 (ABNT, 2016a). No Quadro 3 são apresentados os resultados da caracterização do solo.

Quadro 3 – Características do solo

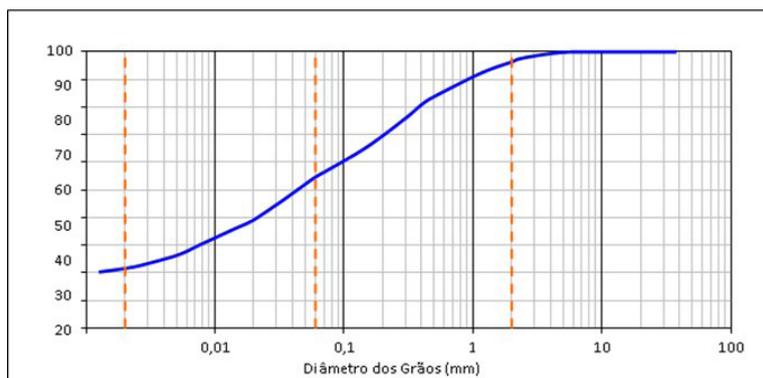
Ensaio	Norma	Resultado
Densidade real (g/cm ³)	ME 093 (DNER,1994)	2,55
Massa específica aparente seca (g/cm ³)	NBR 7182 (ABNT, 2016e)	1,82
Umidade ótima (%)	NBR 7182 (ABNT, 2016e)	13
Limite de liquidez (%)	NBR 6459 (ABNT, 2016b)	27
Limite de plasticidade (%)	NBR 7180 (ABNT, 2016c)	17
Índice de plasticidade (%)	NBR 7180 (ABNT, 2016e)	10

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagens.

Fonte: primária

A granulometria foi realizada conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016d). A curva granulométrica é verificada na Figura 5.

Figura 5 – Curva granulométrica



Fonte: primária

A curva granulométrica apresenta a composição do solo nas seguintes proporções: 42% de areia, 22% de argila e 33% de silte. O solo aproxima-se razoavelmente das proporções recomendadas e caracteriza-se como adequado para a confecção de tijolos de adobe. Martinez (1979) define a composição ideal para tijolos de solo-cimento: 20% de argila e de 40 a 55% de areia.

Ensaio de resistência à compressão

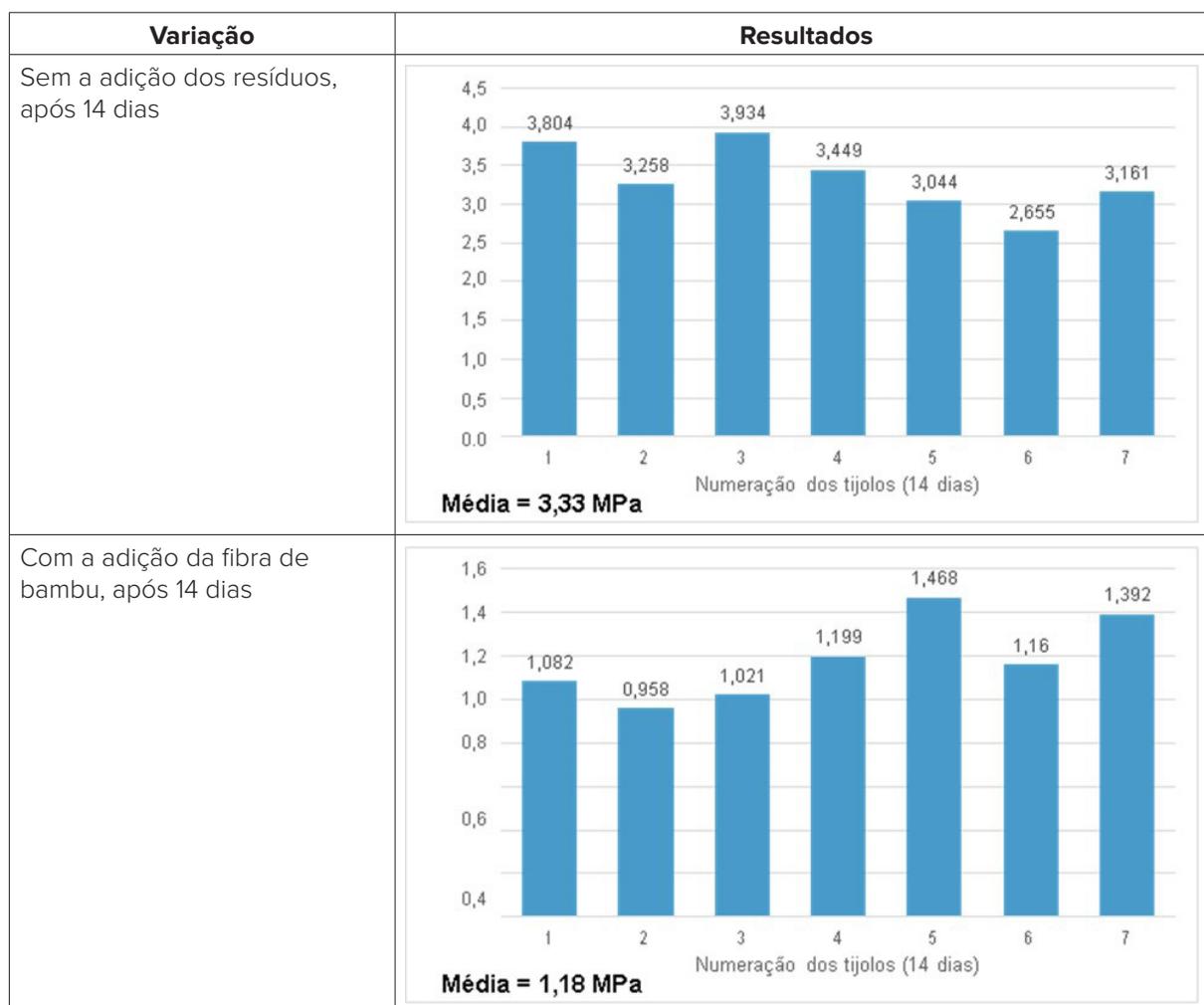
Conforme descrito anteriormente, os tijolos tradicionais, ou seja, os sem adição dos resíduos e aqueles com tal adição, foram ensaiados conforme as normas, e os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 4.

Quadro 4 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para os corpos de prova

Variação	Resultados																
Sem a adição dos resíduos, após sete dias	<table border="1"> <caption>Dados do Gráfico de Resultados (Sem adição de resíduos)</caption> <thead> <tr> <th>Numeração dos tijolos (7 dias)</th> <th>Resistência (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2,205</td></tr> <tr><td>2</td><td>2,687</td></tr> <tr><td>3</td><td>1,255</td></tr> <tr><td>4</td><td>2,311</td></tr> <tr><td>5</td><td>2,574</td></tr> <tr><td>6</td><td>2,523</td></tr> <tr><td>7</td><td>2,174</td></tr> </tbody> </table> <p>Média = 2,24 MPa</p>	Numeração dos tijolos (7 dias)	Resistência (MPa)	1	2,205	2	2,687	3	1,255	4	2,311	5	2,574	6	2,523	7	2,174
Numeração dos tijolos (7 dias)	Resistência (MPa)																
1	2,205																
2	2,687																
3	1,255																
4	2,311																
5	2,574																
6	2,523																
7	2,174																
Adição da fibra de bambu, após sete dias	<table border="1"> <caption>Dados do Gráfico de Resultados (Com adição de fibra de bambu)</caption> <thead> <tr> <th>Numeração dos tijolos (7 dias)</th> <th>Resistência (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1,026</td></tr> <tr><td>2</td><td>1,138</td></tr> <tr><td>3</td><td>1,19</td></tr> <tr><td>4</td><td>1,216</td></tr> <tr><td>5</td><td>1,114</td></tr> <tr><td>6</td><td>1,073</td></tr> <tr><td>7</td><td>1,541</td></tr> </tbody> </table> <p>Média = 1,19 MPa</p>	Numeração dos tijolos (7 dias)	Resistência (MPa)	1	1,026	2	1,138	3	1,19	4	1,216	5	1,114	6	1,073	7	1,541
Numeração dos tijolos (7 dias)	Resistência (MPa)																
1	1,026																
2	1,138																
3	1,19																
4	1,216																
5	1,114																
6	1,073																
7	1,541																

Continua...

Continuação quadro 1



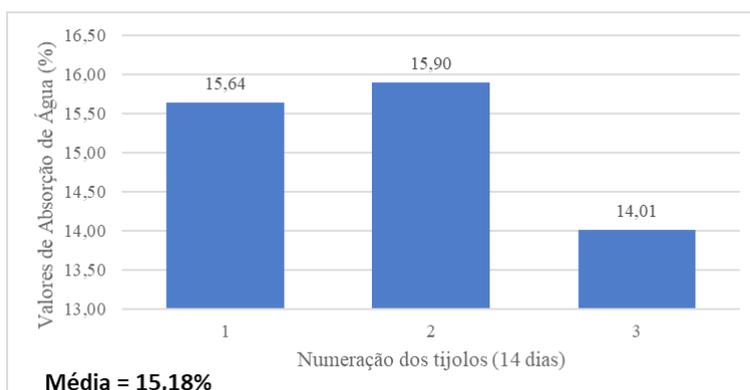
Fonte: primária

Por meio de uma análise simplificada, pôde-se constatar que a adição da fibra de bambu nos tijolos acabou por prejudicar a sua qualidade no tocante à resistência à compressão, atingindo valor médio de 1,18 MPa, menor que o indicado pela norma, de 2,0 MPa.

Ensaio de absorção de água

A determinação da absorção de água dos corpos de prova cilíndricos foi realizada seguindo os procedimentos normatizados descritos. Nesse ensaio foram utilizados três tijolos de cada traço, com idade de sete e 14 dias, e os resultados obtidos estão representados na Figura 6.

Figura 6 – Valores de absorção de água dos tijolos sem adição dos resíduos após 14 dias



Fonte: primária

Assim como as resistências à compressão, os tijolos apresentaram piora quando adicionadas as fibras de bambu, superando o valor máximo recomendado pela norma de absorção, de 20%.

CONCLUSÃO

Tijolos de solo-cimento são uma alternativa para construções sustentáveis de baixo custo, em que se pode utilizar como matéria-prima o próprio solo local, evitando gastos, tais como o de transporte. Além disso, por não exigir trabalhadores especializados, é possível de ser produzido em regime de ajuda mútua, o que evita custos de mão de obra.

O estudo demonstrou que o solo usado na fabricação dos tijolos de solo-cimento é considerado um dos melhores para essa finalidade, visto que contém 42% de areia, 22% de argila e 33% de silte, permitindo sua aplicação direta para a confecção dos tijolos, sem a necessidade de se acrescentar aditivos para a melhoria da qualidade da mistura.

Os resultados obtidos por meio dos ensaios normatizados mostraram que é possível fabricar tijolos com resistências consideráveis, como a do traço 1:7 (média de 3,33 MPa, após 14 dias), que corresponde a um valor superior ao mínimo exigido para tijolos de solo-cimento utilizados para alvenaria não estrutural (2,0 MPa), em conformidade com a NBR 8491 (ABNT, 2012a). Além disso, vale ressaltar que todos os tijolos exibiram boa absorção de água (máximo de 15,90%), se comparados com o valor máximo de 20%, descrito também na norma.

Por fim, pôde-se constatar que a adição da fibra de bambu nos tijolos de solo-cimento acabou prejudicando tanto a resistência à compressão simples quanto a absorção de água, o que pode ser posteriormente base de futuros estudos, para se entender o porquê, já que o bambu apresenta características tão boas para o ramo da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6457 – Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a.

_____. NBR 6459 – Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b.

_____. NBR 7180 – Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016c.

_____. NBR 7181 – Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016d.

_____. NBR 7182 – Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016e.

- _____. NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.
- _____. NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – determinação da resistência à compressão e absorção d'água. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.
- _____. NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012c.
- BARBOSA, N. P. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: FORMOSO, C. T.; INO, A. (orgs.). Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003. v. 2. p. 12-39. (Coletânea Habitare.)
- _____; MATTONE, R.; MESBAH, A. Blocos de concreto de terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte. Anais [...]. João Pessoa, 2002.
- BOFF, L. Sustentabilidade: o que é, o que não é. Petrópolis: Vozes, 2017.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens. DNER-ME 093/94: solos – determinação da densidade real – método de ensaio. Brasil: DNER, 1994.
- HEISE, A. F. Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solocimento em taipa de pilão. 138f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- LARSSON, N. An overview of Green Building Rating System and labeling systems. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CLASC, 4., 2004. Anais [...]. São Paulo, 2004.
- MACHADO, G. Portal Resíduos Sólidos: reciclagem de resíduos sólidos da construção civil. 2014. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcaocivil>>. Acesso em: 8 mar. 2018.
- MARTINEZ, E. A. (Coord.). Manual para la construcción das viviendas con adobe. Rio Negro: BRC Ediciones, 1979.
- NEVES, C.; FARIA, O. B. (orgs.). Técnicas de construção com terra. Bauru: FEB-Unesp/ProTerra, 2011. 79 p. Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- OLIVEIRA, M. M. Como Fazer Projetos. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2013.
- PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. Aedificandi, p. 17, 2005.
- ROCHA, M. P. da. Proposta de indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos de construção e demolição. 106f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, 2012.
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos. Brasil: Sebrae, 2013.
- SILVA, C. G. T. da. Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.
- TAVEIRA, E. S. N. (org.). Produção de tijolos de solo-cimento. Piracicaba: Núcleo de Estudos e Programas em Educação Popular, 2014. 68 p.
- VARGAS, M. (org.). História da técnica e da tecnologia no Brasil. São Paulo: Editora da Unesp, Centro de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.