

Análise das propriedades tecnológicas dos tijolos ecológicos produzidos na região do Poty Velho - Teresina-PI

Analysis of the technological properties of ecological bricks produced in the Poty Velho

Region - Teresina-PI

Análisis de las propiedades tecnológicas de los ladrillos ecológicos producidos en la región de Poty Velho - Teresina-PI

Recebido: 28/06/2022 | Revisado: 16/07/2022 | Aceito: 23/07/2022 | Publicado: 12/08/2022

Isadora Beatriz Araújo Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8417-622X>

Centro Universitário Facid Wyden, Brasil

E-mail: isadora.beatriz.araujo@hotmail.com

Rebeka Manuela Lobo Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8195-6447>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: rebekamanuela28@gmail.com

Sávio Torres Melo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6725-1689>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: savio.melo@hotmail.com

Resumo

A emergente suscitação de um panorama mais sustentável à construção civil consolida um cenário tempestivo à adoção do tijolo ecológico nas edificações. Contudo, para que esta conduta se perpetue de forma precavida e, até mesmo, para extenuar estigmas sociais adversos ao emprego desse material, é de sumária importância o estabelecimento de controles de qualidade que possam resguardar o seu uso. Nessa conjuntura, o presente estudo tem o intuito de avaliar minuciosamente as propriedades tecnológicas do tijolo solo-cimento produzido na região do Poty Velho, em Teresina-PI, lastreando-se, para tal, em parâmetros criteriosos de desempenho estabelecidos pelas normas em vigência. À vista disso, foram perpetrados ensaios de resistência à compressão e de absorção de água, assim como análises acerca das dimensões características desse elemento construtivo, conforme as diretrizes da NBR 8492/2012. Posto isso, ratificou-se que, frente a esses procedimentos avaliativos, os tijolos perscrutados compuseram resultados satisfatórios no que tange os preceitos de resistência à compressão e absorção de água, no entanto, denotaram falhas no processo produtivo e incongruências com relação às suas dimensões características.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento; Controles de qualidade; Parâmetros criteriosos de desempenho; Normas vigentes.

Abstract

The emerging emergence of a more sustainable panorama for civil construction consolidates a timely scenario for the adoption of ecological brick in buildings. However, for this conduct to be perpetuated in a cautious way and even to extenuate social stigmas that are adverse to the use of this material, it is extremely important to establish quality controls that can protect its use. In this context, the present study aims to thoroughly evaluate the technological properties of the soil-cement brick produced in the Poty Velho region, in Teresina-PI, based on judicious performance parameters established by the standards in force. In view of this, compressive strength and water absorption tests were carried out, as well as analyzes of the characteristic dimensions of this constructive element, according to the guidelines of NBR 8492/2012. That said, it was confirmed that, in the face of these evaluation procedures, the bricks examined produced satisfactory results regarding the precepts of resistance to compression and water absorption, however, they denoted flaws in the production process and inconsistencies with regard to their characteristic dimensions.

Keywords: Soil-cement brick; Quality controls; Juicious performance parameters; Standards in force.

Resumen

El emergente surgimiento de un panorama más sustentable para la construcción civil consolida un escenario oportuno para la adopción del ladrillo ecológico en las edificaciones. Sin embargo, para que esta conducta se perpetúe de

manera cautelosa e incluso para atenuar los estigmas sociales que son adversos al uso de este material, es de suma importancia establecer controles de calidad que puedan proteger su uso. En ese contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar exhaustivamente las propiedades tecnológicas del ladrillo de suelo-cemento producido en la región de Poty Velho, en Teresina-PI, con base en parámetros de desempeño juiciosos establecidos por las normas vigentes. En vista de ello, fueron realizados ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua, así como análisis de las dimensiones características de este elemento constructivo, de acuerdo con las directrices de la NBR 8492/2012. Dicho esto, se constató que, frente a estos procedimientos de evaluación, los ladrillos examinados componían resultados satisfactorios en cuanto a los preceptos de resistencia a la compresión y absorción de agua, sin embargo, denotaron fallas en el proceso de producción e inconsistencias en cuanto a sus dimensiones características.

Palabras clave: Ladrillo de suelo-cemento; Controles de calidad; Parámetros de desempeño juiciosos; Normas vigentes.

1. Introdução

Segundo Edwards (2008), a indústria da construção civil é um dos segmentos que mais promove impacto ambiental negativo. Consolidada como uma das atividades socioeconômicas mais importantes do Brasil, responsável por movimentar cerca de 6,2% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (Cerqueira, 2017), todo esse cenário de geração de emprego e renda é contraposto por um consumo exacerbado de recursos naturais, pela propagação de uma gama de gases deletérios, pela intenso consumo energético de muitos de seus processos e pela acentuada produção de resíduos, sobretudo, os denominados de resíduos da construção e demolição (RCD).

Em meio a esse debate socioambiental, o despontamento de materiais e métodos construtivos que promovam proventos sustentáveis é imprescindível à fomentação de um panorama mais favorável ecologicamente à construção civil. Nessa conjuntura, o tijolo ecológico apresenta uma série de vantagens não somente à suscitação de uma balança sustentável positiva, mas também associadas a outras esferas sociais.

A exemplo disso, sua conquadroção, composta de material maciço com aberturas circulares transversais às suas faces de maiores dimensões, possibilita a inserção de instalações de água fria, esgoto, energia e gás e mitiga efetivamente a necessidade de quebras em alvenarias (Pereira, 2019). Essa característica resulta, conseqüentemente, em uma redução na produção de RCD, ratificando o seu caráter benéfico na esfera das boas práticas ambientais.

Outro ponto importante a ser mencionado é a respeito da sua composição, decorrente de partículas de solo, cimento Portland e água, que detém parcela aplicada de cimento a uma proporção de apenas 5% a 10% com relação à massa de solo (ABCP, 2009), fomentando, assim, a redução do consumo de uma das maiores fontes de emissão de gases atmosféricos poluentes inerentes à fabricação do cimento (WBCSD, 2002). Além disso, o seu método construtivo ainda proporciona a diminuição do consumo de concreto, argamassa e aço, promovendo impactos positivos concernentes aos âmbitos ambiental e econômico (Motta et al., 2014).

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (1987), o emprego do tijolo ecológico em obras de habitações populares pode perfazer uma economia de custos de até 40% quando comparado a métodos convencionais. Posto isso, ainda é possível afirmar que sua matéria-prima de baixo custo e fácil acesso, bem como economias entendidas na redução do consumo de cimento e aço atrelado ao seu método construtivo e na dispensabilidade de mão-de obra qualificada e de acabamentos, viabilizam, outra vez, que o tijolo ecológico seja favorável não só no viés que tange a sustentabilidade, mas também nas questões socioeconômicas.

Contudo, estes não são os únicos pontos vantajosos à adoção do tijolo solo-cimento, o baixíssimo consumo energético atrelado à fabricação de um material resistente e durável representa o maior provento intrínseco ao emprego deste (Pinatti, 2014). Por intermédio de uma prensa manual ou hidráulica, a matéria prima, previamente misturada, é moldada e, logo em seguida, encaminhada para a efetivação do devido processo de cura (ABNT, 2012). Desse modo, a quantidade de energia

envolvida na fabricação desse material é ínfima e resulta na concepção de um elemento que, além de duradouro, pode suportar cargas compressivas acima de 2.000 Pa (ABNT, 2012).

Nessas circunstâncias, é possível pontuar que muitas são as prerrogativas por trás do emprego do tijolo de solo-cimento nas edificações, entretanto, a sua rejeição por intermédio de uma maioria proeminente, composta de trabalhadores da construção civil e proprietários de obras, denota algumas problemáticas por trás do domínio de seus métodos construtivos, mas, sobretudo, a respeito do estigma social em torno das suas propriedades físicas e resistivas.

Assim, é com o intuito de contribuir para a minoração desse tipo de estigma, enriquecendo o arcabouço teórico a respeito do tijolo ecológico produzido na região do Poty Velho, em Teresina-PI, alicerçando-se, para tal, em pesquisas de cunho quali-quantitativo, abrangendo tanto o embasamento teórico em artigos e textos publicados acerca do tema, bem como práticas sistemáticas e controladas no ambiente laboratorial, que o seguinte estudo técnico-científico foi elaborado.

Este estudo também visa verificar a adequação dos tijolos produzidos na região do Poty Velho aos requisitos das normas ABNT NBR 8491/2012 e ABNT NBR 8492/2012 no que concerne os parâmetros de dimensões admissíveis e devidas tolerâncias, resistência à compressão e teor de absorção de água, para que, por meio de resultados acurados, possa avaliar a confiabilidade do emprego desse material na construção civil.

2. Metodologia

A metodologia da pesquisa lastreou-se nas diretrizes estabelecidas pelas NBRs 8491/2012, 8492/2012 e 10833/2012 como requisitos para a execução de procedimentos científicos e analíticos dos tijolos produzidos na região do Poty Velho. À vista disso, efetuou-se tanto a caracterização dos mesmos, bem como a implementação da análise dimensional e dos ensaios de resistência à compressão e de absorção de água para fins de arbitramento técnico.

Os ambientes escolhidos para o desempenho destes experimentos foram o laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Facid Wyden – UniFacid Wyden, o laboratório de Cerâmica do Instituto Federal do Piauí – IFPI e o laboratório de Solos e Construção Civil da Associação de Ensino Superior do Piauí - AESPI. Instituições cujas infraestruturas proporcionaram todo o aparato técnico necessário à concretização dos mesmos.

2.1 Pesquisa e Coleta dos Corpos de Prova

A pesquisa e a coleta dos tijolos solo-cimento abrangeram 12 possíveis fornecedores que foram contatados e/ou visitados nas imediações do município de Teresina-PI, em sua maioria, situados na região do bairro Poty Velho e adjacências. Neste íterim, somente um produtor viabilizou a aquisição do tijolo ecológico e é com base no material fornecido por este que foi possível a elaboração deste estudo técnico-científico.

Como consequência disso, a concepção deste trabalho contemplará somente os tijolos modulares de solo-cimento ou, segundo a definição da NBR 8491/2012, aqueles cuja configuração compreende furos verticais e volume total aparente inferior a 85%, denominados de tijolos vazados de solo-cimento.

De acordo com a NBR 8492 (2012), é imprescindível que sejam submetidas 7 amostras ao ensaio de resistência à compressão simples e 3 amostras ao ensaio de absorção de água, de modo que estas sejam colhidas de forma aleatória em um lote de 10000 tijolos.

Posto isso, 10 amostras aos 14 dias de cura foram adquiridas, considerando que, conforme as especificações da NBR 8491/2012, para a execução de alvenarias, os tijolos devem ter, no mínimo, 14 dias de idade. Dessa forma, amostras, especificamente dentro deste intervalo, foram solicitadas buscando a máxima adequação à norma vigente.

Além disso, outras 10 amostras ao limiar dos 28 dias de cura também foram obtidas, uma vez que esta é a idade na qual a estrutura perfaz a sua resistência categórica quando a sua fabricação atende aos parâmetros da ABNT NBR 10833/2012.

2.2 Identificação de Corpos de Prova

Condescendente aos critérios da NBR 8492/2012, as amostras foram prefacialmente identificadas. Para tal, aquelas entendidas aos 14 dias de cura foram assinaladas com um traço na vertical, aquelas ao limiar dos 28 dias de cura foram distintas por dois traços verticais e ambas foram enumeradas de 1 a 10.

2.3 Análise Dimensional

A análise dimensional é imprescindível, sobretudo, para fins de verificação das medidas dos corpos de prova frente à parametrização estatuída pela NBR 8491/2012. Desse modo, a norma estabelece a necessidade de prover, no mínimo, 3 determinações em pontos distintos de cada face com vistas a obter-se a acertada aferição das dimensões de cada um dos corpos de prova com acurácia admitida de 0,5 mm.

À vista disso, cada uma das amostras aos 14 e aos 28 dias de cura, por intermédio de um paquímetro digital, tiveram as suas medidas de largura, comprimento e altura estabelecidas, assim como é exemplificado na Figura 1.

Figura 1. Dimensionamento de Corpo de Prova.



Fonte: Autores (2022).

2.4 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

Em concordância com a NBR 8492 (2012), 7 amostras aos 14 dias de idade, bem como 7 amostras aos 28 dias de cura, foram selecionadas para serem submetidas ao seguinte ensaio de resistência a compressão simples. Nessa conjuntura, as etapas deste ensaio lastrearam-se na seguinte norma com vistas a perpetrar as diretrizes propostas pela mesma com o máximo rigor e fidedignidade.

Analogamente concernente à norma, o seguinte experimento foi dividido em algumas etapas que podem ser definidas como: a) cisão das amostras; b) coadunação com sobreposição das duas metades dos corpos de prova; c) regularização das faces de trabalho com capeamento de pasta de cimento; d) identificação e imersão dos corpos de prova; e) emersão dos corpos de prova; f) disposição das amostras na prensa; g) aplicação da carga de compressão; h) ruptura dos corpos de prova.

As etapas de cisão, coadunação e regularização das faces de trabalho dos corpos de prova foram efetuadas no laboratório de Cerâmica do IFPI, assistenciadas por um técnico que as desempenhou de forma tática e efetiva. Posto isso, os tijolos foram, em um primeiro momento, cisalhados na linha média perpendicular à sua maior dimensão e, em seguida, coadunados, sobrepondo suas metades com fixação de pasta de cimento (Figura 2), e, simultaneamente, capeados nas suas faces de trabalho com a mesma mistura (Figura 3).

Figura 2. Sobreposição das Duas Metades de Alguns Corpos de Prova. **Figura 3.** Corpos de Prova com Faces de Trabalho Capeadas.



Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).

As etapas subsequentes, por sua vez, sucederam-se no laboratório de Engenharia Civil da UniFacid Wyden, onde foi possível efetuar-se desde a imersão das amostras em água (Figura 4) até as suas devidas rupturas. A máquina de compressão utilizada foi uma prensa hidráulica manual digital com capacidade para aplicação de cargas de até 100 tf, na qual perpetrou-se a progressiva elevação das cargas até a concretização do rompimento dos corpos de prova (Figura 5).

Figura 4. Imersão de Corpos de Prova em Água.



Fonte: Autores (2022).

Figura 5. Ruptura de Corpo de Prova.



Fonte: Autores (2022).

2.5 Ensaio de Absorção de Água

O seguinte procedimento visa determinar a proporção de água que o tijolo é capaz de absorver. Nessa conjuntura, contemplando os tijolos remanescentes - 3 aos 14 dias de cura e 3 aos 28 dias de cura – e alicerçando-se na NBR 8492/2012, as etapas de desenvolvimento deste ensaio foram intituladas como: a) secagem dos corpos de prova na estufa; b) imersão das amostras em água.

A etapa inicial deste experimento procedeu-se no laboratório de Engenharia Civil da UniFacid Wyden e consistiu na secagem dos corpos de prova inserindo-os em uma estufa (Figura 6), na qual eles foram submetidos à uma temperatura de 108 °C até obter-se a constância da massa. Posto isso, as amostras foram extraídas da estufa e, dados 20 minutos de resfriamento natural, pesadas, adquirindo, assim, a massa do corpo seco, em gramas (g), como é exemplificado na Figura 7.

Figura 6. Inserção dos Corpos de Prova na Estufa.



Fonte: Autores (2022).

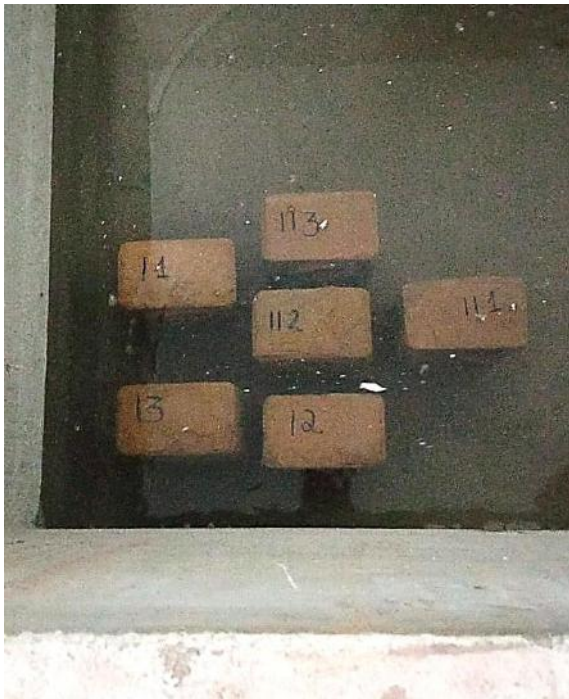
Figura 7. Exemplo de Obtenção da Massa do Corpo de Prova Seco.



Fonte: Autores (2022).

A etapa consecutiva consolidou-se no laboratório de Solos e Construção Civil da AESPI, na qual, com os corpos de prova à temperatura ambiente, proveu-se a imersão destes em um tanque com água por 24 horas (Figura 8) de modo que, concluso o período de imersão, as amostras foram superficialmente enxutas com um pano umedecido e, subsequentemente, pesadas para fins de obter-se a massa do corpo de prova saturado, em gramas (g) (Figura 9).

Figura 8. Imersão dos Corpos de Prova no Tanque com Água.



Fonte: Autores (2022).

Figura 9. Pesagem de Corpo de Prova Sturado.



Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

3.1 Pesquisa e Coleta de Corpos de Prova e Suas Problemáticas

A pesquisa e a coleta dos tijolos solo-cimento, concomitantemente, refletiram uma das principais problemáticas relacionadas ao emprego desse material nas edificações. 12 possíveis fornecedores foram contatados e/ou visitados nas imediações do município de Teresina-PI com a finalidade de obter o material em estudo, no entanto, em sua esmagadora maioria, estas tentativas foram malsucedidas, denotando, assim, o primeiro obstáculo deste trabalho e da aplicabilidade desse material no âmbito regional.

Nessa conjuntura, é possível pontuar que a rejeição em torno da adoção desse material nas construções não representa o principal entrave ante às vicissitudes do emprego do mesmo, sua escassa disponibilidade no mercado talvez represente uma barreira ainda maior, visto que isso impossibilita a sua utilização mesmo para aqueles que demonstram interesse pela sua adoção.

3.2 Análise Dimensional

Bem como foi deslindado anteriormente, conforme a NBR 8491 (2012), para cada dimensão dos corpos de prova, foi imprescindível a execução de, no mínimo, 3 determinações em pontos distintos de cada face das amostras. Posto isso, é possível observar constantes nas Tabelas 1 e 2, as medidas categóricas de comprimento, largura e altura de cada corpo de prova aos 14 e aos 28 dias cura, respectivamente, obtidas com o auxílio do paquímetro digital.

Tabela 1. Dimensões dos Corpos de Prova aos 14 Dias de Cura.

Dimensões dos corpos de prova aos 14 dias de cura			
Identificação do corpo de prova	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP 1	251	126	75
CP 2	251	126	76
CP 3	250	126	75
CP 4	252	125	76
CP 5	251	126	75
CP 6	251	126	75
CP 7	250	125	76
CP 8	251	126	75
CP 9	250	126	75
CP 10	252	126	75

Fonte: Autores (2022).

Tabela 2. Dimensões dos Corpos de Prova aos 28 Dias de Cura.

Dimensões dos corpos de prova aos 28 dias de cura			
Identificação do corpo de prova	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP 1	251	126	75
CP 2	251	126	76
CP 3	250	126	75
CP 4	251	125	76
CP 5	251	126	75
CP 6	252	126	75
CP 7	250	125	76
CP 8	251	126	75
CP 9	250	126	75
CP 10	251	126	75

Fonte: Autores (2022).

Respaldoando-se na NBR 8492 (2012), a determinação da dimensão característica de cada face do material em estudo deveria ser obtida com base na média das dimensões aferidas, em décimo de unidade, expressa em milímetros (mm). Logo, as dimensões características dos corpos de prova aos 14 e aos 28 dias de cura, determinadas seguindo esses critérios, perfizeram os seguintes resultados expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Dimensões Características dos Corpos de Prova.

Dimensões características dos corpos de prova			
Amostragem	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP's aos 14 dias	250,90	125,80	75,30
CP's aos 28 dias	250,80	125,80	75,30

Fonte: Autores (2022).

Não obstante, a NBR 8491/2012 estabelece, para tijolos maciços (tipo A) e vazados (tipo B) de solo-cimento, dimensões nominais (Figura 10), de modo que a mesma preconiza que os corpos de prova em análise podem conter dimensões distintas, desde que satisfaçam as tolerâncias admitidas de $\pm 1,0$ mm para as medidas de comprimento, largura e altura.

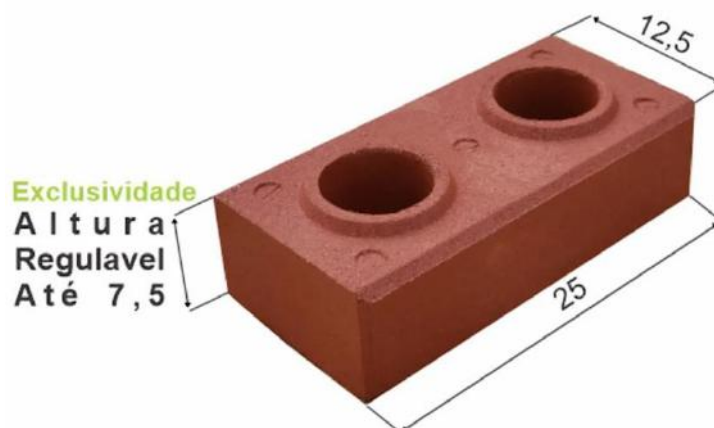
Figura 10. Dimensões Nominais Para Tijolos Maciços e Vazados.

Tipos	Comprimento	Largura	Altura
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT NBR 8491 (2022).

Conclui-se, portanto, que, acerca das suas dimensões características, os tijolos ecológicos em análise entendem-se alheias aos preceitos cabíveis para as dimensões nominais inerentes aos tijolos do tipo B e devidas tolerâncias. No entanto, em virtude do escasso número de fabricantes que atendem a estes critérios em um âmbito nacional (Souza et al., 2011), suas dimensões características foram confrontadas com as dimensões nominais estabelecidas pela empresa Verde Equipamentos (figura 11), responsável pela fabricação da prensa empregue na produção dos tijolos perscrutados, e, assim sendo, categoricamente corresponderam a estas medidas nominais e às suas tolerâncias.

Figura 11. Dimensões Nominais Estabelecidas Pela Empresa Verde Equipamentos.



Fonte: Website Verde Equipamentos (2013).

3.3 Resistência à Compressão Simples

A NBR 8492/2012 pontua que, para valores individuais de resistência à compressão simples, é necessário estabelecer a relação entre a carga máxima observada durante a execução do ensaio ou carga de ruptura, em newtons (N), e a área de aplicação da carga, em milímetros quadrados (mm²), conforme a equação a seguir:

$$f_t = \frac{F}{S} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

- f_t : é a resistência à compressão simples, dado em megapascals (Mpa);
- F : é a carga de ruptura, expressa em newtons (N);
- S : é a área de aplicação da carga, em milímetros quadrados (mm²).

À vista disso, o seguinte ensaio de resistência à compressão simples, executado conforme as etapas percorridas anteriormente, denotou valores distintos de resistência para cada amostra, assim como é exposto nas Tabelas 4 e 5 para respectivos corpos de prova aos 14 e aos 28 dias de cura.

Tabela 4. Resistência à Compressão dos Corpos de Prova aos 14 Dias de Cura.

Resistência à compressão - CP's aos 14 dias de cura			
Identificação do corpo de prova	Carga de ruptura (N)	Área de aplicação da carga (mm ²)	Resistência (MPa)
CP 1	45757,83	16002	2,859
CP 2	49278,42	15876	3,104
CP 3	43325,78	16002	2,707
CP 4	34627,28	15876	2,181
CP 5	47297,47	15876	2,979
CP 6	36264,99	15876	2,284
CP 7	32371,75	15876	2,039

Fonte: Autores (2022).

Tabela 5. Resistência à Compressão dos Corpos de Prova aos 28 Dias de Cura.

Resistência à compressão - CP's aos 28 dias de cura			
Identificação do corpo de prova	Carga de ruptura (N)	Área de aplicação da carga (mm ²)	Resistência (MPa)
CP 1	55672,35	15876	3,507
CP 2	34744,96	15876	2,188
CP 3	37245,66	16002	2,328
CP 4	48062,39	15876	3,027
CP 5	31861,81	15876	2,007
CP 6	32244,27	15876	2,031
CP 7	47169,99	15876	2,971

Fonte: Autores (2022).

Em um outro tópico, a NBR 8492/2012 estabelece, para fins de determinação do valor da resistência média dos corpos de prova, que se obtenha a média aritmética dos valores de resistência individuais, expressos em megapascals (MPa). Posto isso, a resistência média à compressão simples das amostras aos 14 e aos 28 dias de cura encontram-se constantes na Tabela 6.

Tabela 6. Resistência Média à Compressão dos Corpos de Prova.

Resistência média dos corpos de prova	
Amostragem	Resistência média (MPa)
CP's aos 14 dias	2,593
CP's aos 28 dias	2,580

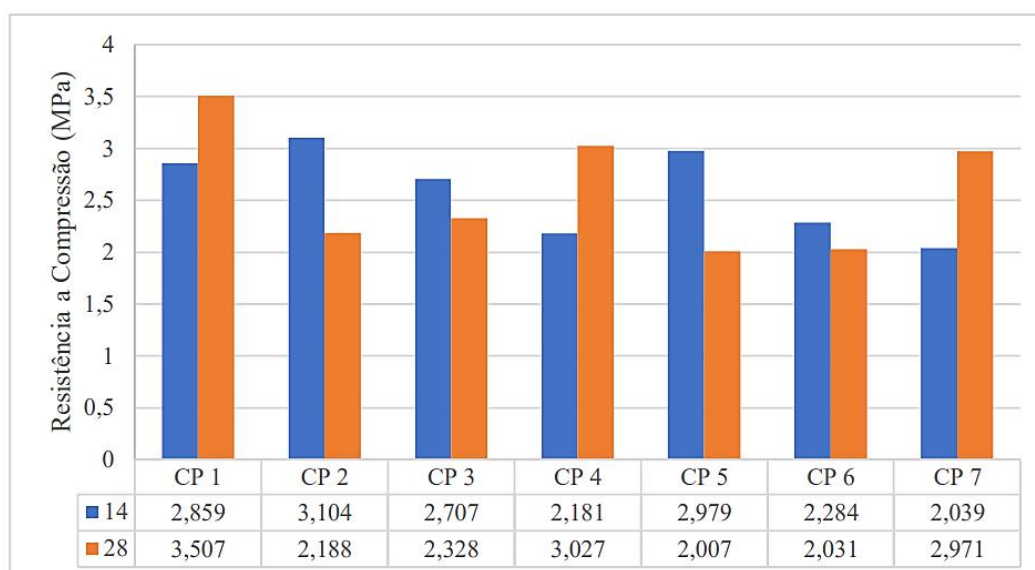
Fonte: Autores (2022).

Nessas circunstâncias, a NBR 8491/2012 delibera que, para amostras submetidas ao ensaio de compressão simples, não é admissível que as mesmas apresentem valores de resistência média à compressão menores que 2,0 MPa, bem como valores de resistência a compressão individual inferiores à 1,7 MPa, para amostras com idade mínima de 7 dias.

Diante disso, é possível afirmar de forma contundente que, frente à aplicação das cargas de compressão simples, os tijolos ecológicos em análise, produzidos na região do Poty Velho, denotaram desempenhos satisfatórios tanto para parâmetros de resistência à compressão individual, como para critérios de resistência média à compressão.

É possível pontuar ainda que, com relação a análises comparativas de eficiência entre amostras aos 14 e aos 28 dias de idade, os tijolos em estudo apresentaram variações ínfimas para valores de resistência média à compressão simples. Contudo, para valores de resistência à compressão individuais, as amostras aos 28 dias de cura compuseram maiores oscilações, bem como apresentaram os maiores e menores índices de desempenho, assim como é evidenciado no Gráfico 1.

Gráfico 1. Gráfico Comparativo de Resistências Individuais dos Corpos de Prova.



Fonte: Autores (2022).

Ao analisar as oscilações constatadas com relação às resistências individuais para os tijolos entendidos no limiar dos 28 dias de cura, foi possível conjecturar uma provável falha no processo produtivo do lote cujos tijolos foram abstraídos.

Neste âmbito, teoriza-se a possibilidade de uma execução errônea do procedimento de cura, posto que, as propriedades físico-mecânicas, bem como resistência à compressão, absorção de água e durabilidade do sistema solo-cimento compactado, estão diretamente correlatadas com o desenvolvimento do processo de cura (Picchi et al., 1990).

3.4 Índice de Absorção de Água

Para os critérios avaliativos desse importante indicador de desempenho, a NBR 8492/2012 designa que, é imprescindível que se faça a determinação dos valores individuais de índice de absorção de água, expressos em porcentagem. Para tal propósito, é necessário estabelecer a relação entre as massas dos corpos de prova secos e saturados, conforme a seguinte expressão:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

- A: é o índice de absorção de água, expresso em porcentagem (%);
- m1: corresponde à massa do corpo de prova seco, em gramas (g);
- m2: é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

Partindo desse princípio, é possível observar, nas Tabelas 7 e 8, os valores individuais de índice de absorção de água, em porcentagem, para os corpos de prova aos 14 e 28 dias de cura, respectivamente.

Tabela 7. Índice de Absorção de Água dos Corpos de Prova aos 14 Dias de Cura.

Índice de absorção de água - CP's aos 14 dias de cura			
Identificação do corpo de prova	Massa do corpo seco (g)	Massa do corpo saturado (g)	Índice de absorção de água (%)
CP 1	3223,30	3720,40	15,42
CP 2	3024,80	3533,80	16,83
CP 3	2988,90	3506,20	17,31

Fonte: Autores (2022).

Tabela 8. Índice de Absorção de Água dos Corpos de Prova aos 28 Dias de Cura.

Índice de absorção de água - CP's aos 28 dias de cura			
Identificação do corpo de prova	Massa do corpo seco (g)	Massa do corpo saturado (g)	Índice de absorção de água (%)
CP 1	3147,00	3675,20	16,78
CP 2	3142,10	3630,80	15,55
CP 3	3247,10	3759,60	15,78

Fonte: Autores (2022).

Concomitantemente, a NBR 8492/2012 deslinda que é de substancial importância o estabelecimento do índice médio de absorção de água dos corpos de prova, outro notável indicativo de desempenho. À vista disso, para fins de determinação desse parâmetro avaliativo, a norma denota que é necessário estabelecer a média aritmética dos índices individuais de absorção de água. Desse modo, na Tabela 9 estão contidos os valores de índices médios para as amostras contempladas.

Tabela 9. Índice Médio de Absorção de Água dos Corpos de Prova.

Índice médio de absorção de água	
Amostragem	Índice médio de absorção de água (%)
CP's aos 14 dias	16,52
CP's aos 28 dias	16,04

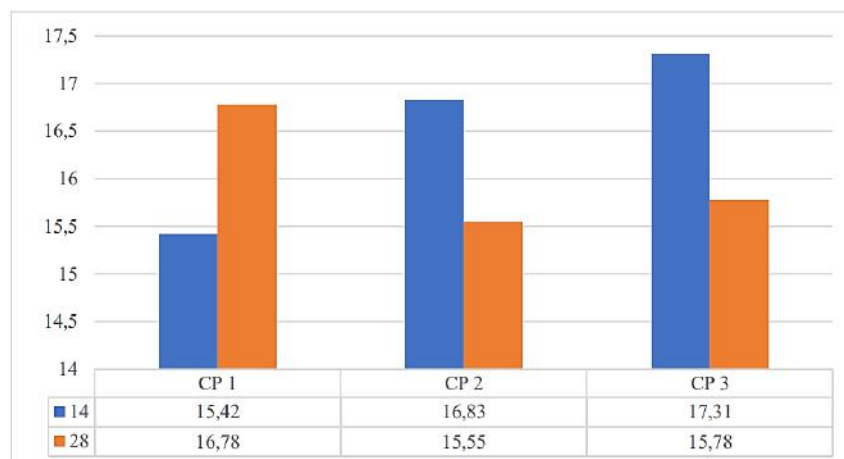
Fonte: Autores (2022).

Nesse contexto, a NBR 8491/2012 defende que, para amostras ensaiadas de acordo com o que foi elucidado anteriormente, valores de índice médio de absorção de água superiores a 20%, assim como valores de absorção individuais maiores que 22%, são inadmissíveis.

Assim, perante o exposto, é possível constatar categoricamente que, frente a ensaios de absorção de água, o tijolo ecológico perscrutado, desenvolvido na região do Poty Velho, apresentou-se incisivamente resguardado no que tange os parâmetros de absorção de água médio e individual, uma vez que os mesmos compuseram resultados inferiores aos limites máximos estabelecidos pela norma.

Outra observação pertinente é a respeito do estabelecimento de relações comparativas entre os tijolos aos 14 e aos 28 dias de cura. Nesse âmbito, é possível pontuar que as amostras entendidas aos 28 dias denotaram um melhor desempenho acerca do índice médio de absorção de água, bem como abrangeram as menores oscilações dentre os resultados para os parâmetros individuais de absorção. As amostras aos 14 dias, contudo, compilaram, de forma esperada, as maiores flutuações para o mesmo índice, assim como é visto no Gráfico 2, isso porque a estrutura dos mesmos ainda era imatura com relação ao processo de cura.

Gráfico 2. Gráfico Comparativo de Índices Individuais de Absorção de Água dos Corpos de Prova.



Fonte: Autores (2022).

4. Considerações Finais

Os ensaios de resistência a compressão simples e de absorção de água, efetuados conforme os critérios normativos inerentes à NBR 8492/2012, denotaram o cunho profícuo dos tijolos de solo-cimento fabricados na região do Poty Velho, em Teresina-PI. Em síntese, condescendente às diretrizes da NBR 8491/2012, com exceção das suas dimensões características, os mesmos encontram-se respaldados quanto às suas propriedades tecnológicas.

Com relação às falhas observadas acerca da execução do procedimento de cura, recomenda-se que a perpetração do mesmo seja concretizada de acordo com os parâmetros entendidos na NBR 10833/2012, visto que esse procedimento demanda precauções e diligências excepcionais que são deslindadas na norma.

De forma concisa, conclui-se que, quanto às suas propriedades tecnológicas, os tijolos ecológicos em análise conferem seguridade ao seu emprego nas edificações, sobretudo, por atenderem a sistemáticos padrões de qualidade impostos pelas normas em vigor, como os parâmetros de resistência à compressão e de absorção de água. Não obstante, estes denotaram incongruências no processo de produção do lote e nas suas dimensões características, mas que, ainda assim, não comprometem a consolidação do seu uso de forma resguardada.

5. Sugestões para Trabalhos Futuros

Efetuar um estudo a respeito do impacto da inserção de resíduos metálicos nas propriedades tecnológicas de tijolos ecológicos.

Referências

- ABCP. (1987) Solo-cimento na habitação popular. São Paulo, SP. *ABCP*, 2.^a Ed., EC4, 14p.
- ABNT. (2012). NBR 8492- Tijolos de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.
- ABNT. (2012). NBR 10833- Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento.
- ABNT. (2012). NBR 8491- Tijolos de solo-cimento – Requisitos.
- Brasileiro, L. L., & Matos, J. M. E. (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, 61, 178-189.
- Campos, R. F. F., Weber, E., & Borga, T. (2017). Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil. *IGNIS Revista de Engenharias e Inovação Tecnológica*, 6(2), 18-34.
- Construção, M. (2018, maio 16). *Principais impactos ambientais da construção civil e como evitá-los*. Mobus Construção. <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/impactos-ambientais-da-construcao/>.
- de Castro Jordan, A., & Freitas, V. A. (2018). Aplicações do tijolo ecológico na construção civil. *Etic-encontro de iniciação científica-issn 21-76-8498*, 14(14).
- dos Santos, M. F. N., Battistelle, R. A. G., Hori, C. Y., & Julioti, P. S. (2011). Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, (2), 57.
- Edwards, B. (2008). *O guia básico da Sustentabilidade*. 226. Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona.
- Fraga, Y. S. B., Barbosa, A. Q., Santos, L. H. P., Mota, W. V., & Dortas, I. S. (2016). Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. *Caderno de graduação-ciências exatas e tecnológicas-unit-sergipe*, 3(3), 11-11.
- Lôbo, J. M. C., de Oliveira Fernandes, R., de Moraes, J. M. P., Barboza, E. N., & da Silva, E. M. (2020). Análise mercadológica do tijolo ecológico solo-cimento na Região Metropolitana do Cariri. *Research, Society and Development*, 9(8), e180984966-e180984966.
- Maurly, M. B., & Blumenschein, R. N. (2012). Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente.

- Mieli, P. H. (2009). Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. *Dissertação (Bacharel em Engenharia dos Materiais). UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.*
- Motta, J. C. S. S., Morais, P. W. P., Rocha, G. N., da Costa Tavares, J., Gonçalves, G. C., Chagas, M. A., ... & Lucas, T. D. P. B. (2014). Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. *e-xacta*, 7(1), 13-26.
- Pereira, C. (2019, 25 de janeiro). *Tijolo ecológico: o que é, tipos, vantagens e vantagens*. Escola Engenharia. <https://www.escolaengenharia.com.br/tijolo-ecologico/>.
- Picchi, F. A., Cincotto, M. A., & BARROS, J. (1986). Tijolos de solo-cal. *Revista A Construção*, 93-8.
- Pisani, M. A. J. (2005). Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. *Sinergia, São Paulo*, 6(1), 53-59.
- Porcina, A. ([sd]). *Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil*. Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil. <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>.
- Santin, E. (2009, dezembro 22). *Solo-cimento*. PORTAL ABCP. <https://abcp.org.br/solo-cimento/>.
- Silva, PF, Sousa, RML, das Chagas Oliveira, F., Melo, ST, Sousa, HF, Lopes, PD, ... & Soares, RAL (2021). Estudo de viabilidade de utilização de garrafa PET triturada na produção de tijolos ecológicos. *Research, Society and Development*, 10 (14), e455101422273-e455101422273.
- Souza, T. A. C., Nunes, G. A., Soares, J. M., & Queiroz, M. T. A. (2011). Análise preliminar da resistência à compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de Ipaba. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 3(5), 48-61.
- Tijolo Ecológico, Análise Tudo Sobre*. ([SD]). Verde Equipamentos. <https://verdeequipamentos.com.br/tijolo-ecologico/>.
- Tosello, M. E. C., Tamashiro, J. R., Silva, L. H. P., Antunes, P. A., & Simões, R. D. (2021). Influência de materiais recicláveis e vinhaça da cana de açúcar na resistência mecânica de tijolos ecológicos. *Research, Society and Development*, 10(2), e56910212911-e56910212911.
- WBCSD (World Business Council For Sustainable Development). (2002b). *The cement sustainability initiative, our agenda for action*.
- 8 perguntas sobre tijolo ecológico*. ([SD]). AECweb. Recuperado 15 de maio de 2022, de <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/8-perguntas-sobre-tijolo-ecolo>