

**ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO: Utilização de
resíduo de cerâmica vermelha em substituição parcial ao solo**

**STUDY OF THE COMPOSITION OF SOIL-CEMENT BRICKS: Use of red ceramic
waste as a partial replacement for soil**

Amarildo Rocha Carneiro¹

Joselito Medeiros de Freitas Cavalcante²

RESUMO

O Brasil enfrenta um expressivo déficit habitacional, especialmente entre a população de baixa renda, o que exige soluções construtivas mais acessíveis e sustentáveis. Ao mesmo tempo, as indústrias de cerâmica vermelha geram significativos volumes de resíduos, como fragmentos de tijolos defeituosos e fragmentos de produção, que normalmente são descartados sem tratamento adequado. Neste contexto, este estudo avaliou a viabilidade técnica da substituição parcial do solo arenoso por resíduo de tijolo cerâmico (RTC), provenientes das cerâmicas do vale do Assú-RN, na produção de tijolos de solo-cimento. Foram analisadas propriedades físicas (absorção de água e densidade aparente) e mecânica (resistência à compressão) em amostras com diferentes proporções de RTC (0%; 14%; 29%; 43% e 51% em massa). Os resultados apontaram que a substituição de 29% de RTC proporcionou um desempenho melhor, apesar de não ter atendido aos requisitos da ABNT NBR 8491 ($\geq 2,0\text{MPa}$) para a

¹ Graduando em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campos Angicos-RN. E-mail: amarildo.carneiro@alunos.ufersa.edu

² Graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (1997), com doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (2008). Atualmente, atua como docente no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campos Angicos-RN. E-mail: joselito@ufersa.edu.br

resistência à compressão de 1,98 MPa. A absorção de água com 19,80% e a densidade aparente com 1,194 g/cm³ obtiveram bons resultados. Em contraste, teores superiores a 40% de RTC comprometeram a compactação, aumentando a porosidade e reduzindo a resistência mecânica.

Palavras-chave: déficit habitacional. indústrias de cerâmica vermelha. solo arenoso. resíduo de tijolo cerâmico (RTC). propriedades físicas e mecânica.

ABSTRACT

Brazil faces a significant housing deficit, especially among the low-income population, which requires more affordable and sustainable construction solutions. At the same time, red ceramic industries generate significant volumes of waste, such as defective brick fragments and production fragments, which are usually discarded without adequate treatment. In this context, this study evaluated the technical feasibility of partially replacing sandy soil with ceramic brick residue (CBR), from ceramic factories in the Assú Valley, Rio Grande do Norte, in the production of soil-cement bricks. Physical (water absorption and apparent density) and mechanical (compressive strength) properties were analyzed in samples with different proportions of CBR (0%; 14%; 29%; 43% and 51% by mass). The results indicated that the replacement of 29% CBR provided better performance, despite not meeting the requirements of ABNT NBR 8491 (≥ 2.0 MPa) for compressive strength of 1.98 MPa. Water absorption of 19.80% and apparent density of 1.194 g/cm³ obtained good results. In contrast, RTC contents above 40% compromised compaction, increasing porosity and reducing mechanical strength.

Keywords: housing deficit. red ceramic industries. sandy soil. ceramic brick residue (CBR). physical and mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil é um setor de extrema importância para o desenvolvimento social e econômico de um País, sendo responsável por grande parte da geração de empregos formais e informais, e pelo aumento do Produto Interno Bruto (PIB). Em

2024, a projeção de crescimento do setor foi revisada pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), de 3% para 3,5%, evidenciando sua resiliência e dinamismo.

Entretanto, o desenvolvimento do setor da construção civil exige atenção especial à questão da sustentabilidade ambiental, principalmente no que diz respeito à gestão de resíduos da construção civil (RCC) e dos resíduos sólidos das indústrias de cerâmica vermelha, bem como às emissões de poluentes associadas à queima de combustíveis em atividades como a produção de tijolos cerâmicos e de cimento. Nesse contexto, a busca por soluções mais sustentáveis tem se tornado prioridade na Engenharia Civil, visando o equilíbrio do crescimento econômico e a preservação ambiental.

A relevância da busca por soluções sustentáveis é ainda mais acentuada pelo déficit habitacional no Brasil, que, segundo dados revisados pela Fundação João Pinheiro a partir do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), alcançou 5,8 milhões de moradias em 2019, com uma tendência de agravamento nos anos seguintes. Esse cenário demanda iniciativas inovadoras que promovam a sustentabilidade e a eficiência no setor, buscando conciliar a expansão habitacional com a mitigação dos impactos ambientais.

Diante disso, os tijolos de solo-cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos, alinham-se aos princípios do desenvolvimento sustentável. Eles requerem menos energia na extração da matéria-prima, dispensam o processo de queima e podem ser produzidos diretamente no local da obra, reduzindo custos e impactos associados ao transporte (GRANDE 2003; SANTOS 2020; FERREIRA e SOUZA 2021). A utilização de resíduos sólidos de tijolos cerâmicos provenientes de indústrias de cerâmica vermelha, em especial da microrregião do Vale do Assú-RN, na produção dos tijolos de solo-cimento é uma alternativa sustentável para mitigar o impacto ambiental causado por essas indústrias na região.

A incorporação desses resíduos à mistura não só diminui o desperdício de materiais, mas também contribui para a reciclagem e o reaproveitamento de subprodutos industriais. De acordo com Quintana, FLORES, SILVA e GALIO (2024), o uso de resíduo cerâmico pode aprimorar a resistência mecânica e, conseqüentemente, aumentar a durabilidade, desde que sejam respeitadas as proporções adequadas de resíduo na produção.

Do ponto de vista econômico, o aproveitamento de resíduos cerâmicos reduz os custos de produção, especialmente em regiões com fácil acesso a esses materiais, tornando a tecnologia atrativa para comunidades de baixa renda e empreendimentos de pequeno porte (PEREIRA e ALMEIDA, 2021).

Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo principal estudar propriedades físicas (absorção de água e densidade aparente) e mecânica (resistência à compressão) em amostras de blocos de solo-cimento, com substituição parcial do aglomerante por resíduo de cerâmica vermelha. Será estudado também proporções do solo utilizado nas amostras em relação à proporção de resíduo de cerâmica vermelha. Busca-se, assim, contribuir para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis no setor da construção civil, conciliando as demandas de crescimento habitacional com a preservação ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A importância da argila e da cerâmica vermelha

A argila é uma das matérias-primas mais utilizadas na construção civil ao longo da história, sendo empregada na fabricação de tijolos, telhas e blocos cerâmicos. Seu uso remonta às civilizações antigas, como os egípcios e mesopotâmicos, que já produziam artefatos cerâmicos para construção. Esse material se destaca por sua abundância e maleabilidade, além das propriedades térmicas e mecânicas favoráveis ao uso estrutural.

Na construção civil, a cerâmica vermelha é amplamente empregada na produção de tijolos, telhas e blocos, tendo como principal matéria-prima a argila. De acordo com ISAIA (2010), a cerâmica vermelha passa por processos de moldagem, secagem e queima a altas temperaturas, resultando em um material resistente e durável. Contudo, esse processo industrial gera impactos ambientais significativos, como a extração intensiva de argila, elevado consumo energético e emissão de gases poluentes.

2.2 Geração de resíduos cerâmicos e seus impactos ambientais

De acordo com FERREIRA (2012), a intensa produção do setor cerâmico, impulsionada pela competitividade do mercado e pela pressão para atender à

demanda, tem levado muitas indústrias a adotarem práticas que impactam negativamente o meio ambiente, gerando problemas sociais e ambientais relevantes. Durante o processo de fabricação, é comum a geração de grandes volumes de resíduos, resultantes principalmente da quebra de peças, de defeitos de conformidade e de falhas no processo de queima. Além disso, observa-se que esses resíduos muitas vezes são descartados de forma inadequada no ambiente, o que evidencia a necessidade de ações voltadas para a redução das perdas e a destinação correta dos materiais descartados.

O descarte inadequado desses resíduos pode resultar na degradação ambiental, incluindo a contaminação do solo e de corpos d'água, além da ocupação de aterros sanitários. Dessa forma, a busca por soluções para o reaproveitamento desses resíduos é essencial para minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor da construção civil.

2.3 Reaproveitamento de resíduos cerâmicos na produção de tijolos de solo-cimento

A incorporação de resíduos cerâmicos na produção de tijolos de solo-cimento tem sido estudada como uma alternativa viável para reduzir impactos ambientais e melhorar as propriedades do material. De acordo com SAMPAIO (2015), a adição de resíduos cerâmicos pode aprimorar a resistência mecânica dos tijolos devido à presença de compostos pozolânicos, que reagem com o cimento e contribuem para a formação de uma estrutura mais densa e resistente.

Segundo FONSECA (2018), a incorporação de resíduo cerâmico em tijolos de solo-cimento ou solo-cal favorece a ocorrência da reação pozolânica, devido à presença de óxidos de sílica e alumina em estado amorfo, tanto no solo intemperizado quanto no resíduo. Esses óxidos podem reagir com o hidróxido de cálcio liberado pela cal ou pelo cimento, formando compostos como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, que contribuem para o ganho de resistência do material.

Além disso, os resíduos cerâmicos podem atuar como material de enchimento, reduzindo a porosidade dos tijolos e, conseqüentemente, diminuindo sua absorção de água. Essa característica é relevante para melhorar a durabilidade e o desempenho estrutural do material.

Portanto, a reutilização de resíduos cerâmicos na produção de tijolos de solo-cimento representa uma estratégia sustentável para o setor da construção civil,

promovendo a economia circular e reduzindo a necessidade de descarte inadequado. Além disso, essa alternativa pode contribuir para a redução de custos na fabricação de tijolos e proporcionar benefícios ambientais e sociais ao setor.

2.4 Tijolos de solo-cimento: Características, composição e processo de fabricação

Os tijolos de solo-cimento são elementos construtivos obtidos a partir da mistura de solo, cimento e água, compactados mecanicamente e curados sem necessidade de queima. Esse método de produção reduz significativamente os impactos ambientais, tornando o material uma alternativa sustentável à alvenaria convencional de tijolos cerâmicos queimados (GRANDE, 2003).

A composição dos tijolos de solo-cimento envolve uma proporção otimizada de solo, cimento Portland e água, sendo que a granulometria do solo tem influência direta na resistência final do material (CAMPOS; NASCIMENTO JÚNIOR; BRITO, 2019). Estudos indicam que o teor ideal de argila na mistura varia entre 10% e 16%, proporcionando maior coesão e resistência mecânica ao bloco (GRANDE, 2003).

Segundo (CAMPOS; NASCIMENTO JÚNIOR; BRITO, 2019), o processo de fabricação segue as seguintes etapas: seleção e preparação do solo, dosagem dos materiais, mistura, prensagem e cura, onde os tijolos são mantidos em ambiente úmido por pelo menos sete dias para garantir a hidratação do cimento e o ganho de resistência. No entanto, em regiões de clima semiárido, como o nordeste brasileiro, a manutenção de um ambiente úmido requer adaptações. Para isso, são adotadas estratégias como a cobertura dos tijolos com lonas plásticas, a irrigação periódica com água e, em alguns casos, o uso de câmaras de cura improvisadas, a fim de minimizar a evaporação e garantir as condições ideais para o processo de cura.

2.5 Vantagens e aplicações dos tijolos de solo-cimento na construção civil

Os tijolos de solo-cimento apresentam diversas vantagens em relação aos tijolos cerâmicos convencionais, destacando-se especialmente por seu caráter sustentável. Uma das principais características é que esses tijolos não requerem queima em sua produção, o que contribui significativamente para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e diminui o consumo de lenha ou carvão, geralmente utilizados nos fornos das cerâmicas tradicionais (CAMPOS; NASCIMENTO JÚNIOR; BRITO, 2019).

Além do benefício ecológico, essa tecnologia proporciona redução de custos na construção civil, uma vez que utiliza solo local em sua composição, minimizando gastos com transporte e aquisição de insumos externos (GRANDE, 2003). Essa característica o torna uma opção economicamente viável, especialmente para construções populares e projetos de habitação social.

Outra vantagem importante é a eficiência energética proporcionada pelos tijolos de solo-cimento. O material possui boas propriedades térmicas, ajudando a manter temperaturas internas mais estáveis nas edificações. Essa característica favorece a economia de energia com sistemas de climatização, como ventiladores e ar-condicionado, contribuindo também para o conforto dos moradores (CAMPOS; NASCIMENTO JÚNIOR; BRITO, 2019).

Os tijolos de solo-cimento são amplamente utilizados em projetos de habitação de interesse social, alvenaria estrutural e elementos decorativos. Sua versatilidade permite a construção de paredes portantes, muros, pavimentos e até mesmo infraestruturas comunitárias (GRANDE, 2003).

Dessa forma, os tijolos de solo-cimento representam uma tecnologia acessível e sustentável para a construção civil, aliando benefícios ambientais, econômicos e sociais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, o processo de fabricação dos blocos e a avaliação de suas propriedades mecânica e física foram realizados por meio de etapas, que envolvem desde a escolha dos materiais utilizados para a produção dos blocos de solo-cimento até os ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

3.1 Materiais

Para realização do experimento, utilizou-se água potável proveniente da rede de abastecimento do laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), localizada em Angicos-RN. Essa água é fornecida pela concessionária local, a CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, assegurando qualidade adequada para a produção dos tijolos.

No que diz respeito ao aglomerante, foi utilizado o Cimento Portland comum, tipo CP II - Z – 32 (marca Mizu). Esse tipo de cimento foi escolhido devido à sua ampla comercialização na região de Angicos-RN, o que facilita a aquisição e proporciona um custo acessível. Além disso, o cimento exerce a função essencial de aglomerante hidráulico, promovendo a coesão dos materiais e conferindo resistência mecânica após a hidratação e o processo de cura.

Quanto ao solo, o material adicionado na produção dos tijolos foi coletado nas proximidades de um reservatório de água localizado na UFERSA/Angicos. Optou-se por utilizar somente areia, com objetivo de isolar os efeitos do resíduo cerâmico na mistura. Para garantir a uniformidade das partículas e remover impurezas que pudessem interferir nas propriedades dos tijolos, todo o material foi previamente peneirado em peneira de malha nº8 (abertura de 2,36mm).

Ademais, incorporou-se cal hidratada, adquirida no comércio local de Angicos-RN, facilmente encontrada na região. A adição da cal hidratada visa melhorar a trabalhabilidade e a estabilidade química da mistura.

Por fim, adicionou-se à mistura resíduos de cerâmica vermelha (RCV), obtidos a partir da quebra e moagem manual de tijolos cerâmicos adquiridos no comércio local. Segundo informações do fornecedor, esses tijolos foram fabricados na cidade de Assú-RN. Após a moagem, os resíduos foram peneirados em peneira malha nº 8, de forma que sua composição se adequasse ao tamanho das partículas do solo utilizado.

3.2 Procedimentos experimentais

3.2.1 Confeção dos tijolos

O solo(areia) peneirado foi misturado com o cimento, cal hidratada, água e resíduos cerâmicos triturados, de acordo com a proporção adequada a cada amostra. A mistura foi realizada manualmente com auxílio de pá e enxada até se obter uma massa homogênea. Após essa etapa, foi adicionada água gradualmente, e o material foi misturado até atingir a consistência necessária para prensagem. Essa consistência era verificada por meio de um teste prático: ao comprimir um pouco da mistura na mão, ela deveria se manter coesa sem esfarelar.

Após a mistura, o material foi levado para a prensa manual (Figura 01). No funil da prensa, foi colocada uma peneira (malha 8), pela qual o material foi passado antes da compactação, para eliminar possíveis torrões. A prensagem foi realizada

manualmente com uma regulagem que permitisse um bom desmolde dos tijolos. Tijolos que se quebravam durante o processo de moldagem foram passados novamente pela peneira e retornaram ao processo.

Figura 01 - Prensa manual utilizada na confecção dos tijolos.



Fonte: Autoria própria (2025)

Os tijolos moldados foram curados na bancada do laboratório de Engenharia Civil em temperatura ambiente, sendo deixados para secar à sombra, conforme a NBR 10833:2012. Após a moldagem, os tijolos foram dispostos lado a lado sobre uma superfície plana e lisa durante 24 horas para a cura inicial. Após esse período, foram empilhados e mantidos sob cura úmida por sete dias, sendo molhados periodicamente com cuidado, de forma a não comprometer a integridade das peças.

Esse procedimento visa garantir a hidratação adequada do cimento, essencial para o desenvolvimento das propriedades mecânica e físicas dos tijolos. A NBR 10833:2012, recomenda que os elementos só sejam utilizados após 14 dias da fabricação e orienta o uso de paletes para o armazenamento e transporte. Na Figura 02, observa-se os corpos de prova em processo de cura ao ar livre, evidenciando a importância do controle da umidade e da ventilação para uma secagem uniforme e eficaz.

Figura 02 - Corpos de prova de solo-cimento.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.2.2 Distribuição percentual dos materiais em cada amostra

Na tabela 01 tem-se as proporções de solo arenoso e de resíduo de tijolo cerâmico (RTC) empregada na composição de cinco tipos de amostras de tijolos de solo-cimento. A amostra de referência foi composta por 100% de solo, sem substituição de resíduo. As demais amostras apresentaram substituições parciais do solo por RTC nos seguintes teores: 14% (tipo A), 29% (tipo B), 43% (tipo C), 51% (tipo D). Essa distribuição foi projetada para avaliar o efeito da substituição parcial do solo arenoso pelo resíduo de tijolo cerâmico, analisando sua influência nas propriedades físicas (absorção de água e densidade aparente) e mecânica (resistência à compressão) dos tijolos produzidos.

Tabela 01 – Percentual de solo e resíduo das amostras de tijolos de solo-cimento.

Amostras	Solo (%)	Resíduo (%)
Referência	100	0
Tipo A	86	14
Tipo B	71	29
Tipo C	57	43
Tipo D	49	51

Fonte: Autoria própria (2025).

3.2.3 Cálculo da densidade aparente

A fim de calcular a densidade aparente dos corpos de prova, inicialmente realizou-se a secagem em estufa a $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até a obtenção de massa constante. Em seguida, foi realizada a pesagem de cada corpo de prova. Paralelamente, foram efetuadas medições das dimensões (comprimento, largura e altura) das amostras, possibilitando o cálculo do volume individual. A densidade aparente foi obtida por meio da razão entre a massa seca e o volume de cada unidade, conforme expressa a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Onde:

- ρ = densidade aparente (g/cm^3);
- m = massa seca do corpo de prova (g);
- v = volume do corpo de prova (cm^3).

Posteriormente, foi calculada a média dos valores obtidos para cada tipo de amostra.

3.2.4 Realização dos ensaios

Foram realizados ensaios laboratoriais para avaliar as propriedades físicas e mecânica dos tijolos. Os ensaios para obtenção das propriedades físicas foram: absorção de água e densidade aparente. Para o cálculo da densidade aparente dos corpos de prova, inicialmente realizou-se a secagem em estufa a $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até a obtenção de massa constante. Em seguida, foi realizada a pesagem de cada corpo de prova. Paralelamente, mediram-se as dimensões (comprimento, largura e altura) das amostras, possibilitando o cálculo do volume individual. A densidade aparente foi obtida por meio da razão entre a massa seca e o volume de cada unidade, sendo posteriormente calculada a média dos valores para cada tipo de amostra.

No ensaio de absorção de água conduzido conforme a ABNT NBR 8491:2012, verificou-se a taxa de absorção de umidade dos blocos após imersão por 24 horas. O procedimento incluiu a pesagem inicial das amostras secas, imersão controlada em água limpa e posterior pesagem após a saturação. Esse ensaio é fundamental para avaliar a durabilidade dos tijolos em condições ambientais adversas, permitindo a análise da influência do resíduo cerâmico na permeabilidade do material. A norma

estabelece que a absorção média dos blocos de solo-cimento não pode ser superior a 20%, e nenhum valor individual pode exceder 22%.

Figura 03 - Tanque d'água com os corpos de prova durante o ensaio de absorção.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 04 – Estufa para secagem dos blocos.



Fonte: Autoria própria (2025)

Ensaio de Resistência à Compressão: realizado conforme a ABNT NBR 8492:2012, determinando a capacidade estrutural dos tijolos por meio de compressão axial até a ruptura. O ensaio foi realizado utilizando uma prensa hidráulica com aplicação de carga gradual até a falha do corpo de prova. Foram testadas múltiplas amostras para garantir reprodutibilidade, e os valores médios foram comparados aos padrões estabelecidos pela norma. De acordo com a ABNT NBR 8491:2012, a resistência média dos tijolos não pode ser inferior a 2,0 MPa, e nenhum valor individual pode ser inferior a 1,7 MPa.

Figura 05 - Máquina do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2025).

Os resultados desses ensaios foram analisados e comparados aos requisitos normativos, validando a viabilidade do uso do resíduo cerâmico como substituto parcial do solo arenoso e seus impactos nas propriedades mecânica e físicas dos tijolos.

Além disso, foram realizados registros fotográficos de cada etapa do experimento, conferindo visualmente o processo de mistura, moldagem, cura e ensaios laboratoriais, garantindo rastreabilidade e confiabilidade dos dados obtidos.

Figura 06 – Pesagem dos corpos de prova na balança digital.



Fonte: Autoria própria (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios estão apresentados na tabela 02, que reúne os valores médios das propriedades analisadas (resistência à compressão, absorção de água e densidade aparente) para cada grupo de amostras.

Tabela 02: Resultados das propriedades para cada amostra dos tijolos de solo-cimento.

Amostras	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão da resistência à compressão (MPa)	Absorção de água (%)	Desvio padrão da absorção de água (%)	Densidade aparente (g/cm ³)	Desvio padrão da densidade aparente (g/cm ³)
Referência (0% de resíduo de tijolo cerâmico)						
A	2,88	0,29	13,72	0	1,279	0,007
B	0,79	0,30	21,12	1,34	1,177	0,035
C	0,89	0,32	22,07	0	1,136	0,030

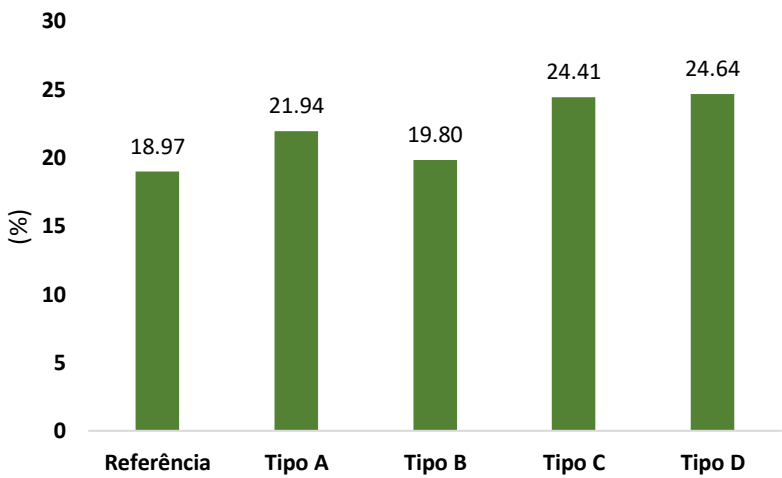
Tipo A (14% de resíduo de tijolo cerâmico)						
E	1,31	0,11	21,18	0,19	1,069	0,029
H	1,20	0,20	22,69	2,09	1,157	0,020
Tipo B (29% de resíduo de tijolo cerâmico)						
G	1,21	0,31	23,87	1,12	1,078	0,037
I	2,75	0,11	15,73	0	1,31	0,014
Tipo C (43% de resíduo de tijolo cerâmico)						
F	1,32	0,37	24,41	0,79	1,126	0,018
Tipo D (51% de resíduo de tijolo cerâmico)						
D	1,23	0,38	24,64	3,95	1,065	0,021

Fonte: Autoria própria (2025).

4.1 Resultados do ensaio de absorção de água

A absorção de água é um parâmetro essencial para a avaliação da durabilidade e da qualidade dos tijolos de solo-cimento, pois está diretamente relacionada à porosidade e à densidade do material. O gráfico 01 apresenta os valores médios de absorção de água obtidos para os diferentes traços de tijolos, variando a porcentagem de substituição do solo pelo resíduo de tijolo cerâmico (RTC).

Gráfico 01 - Absorção de água média para cada tipo de amostra.



Fonte: Autoria própria (2025).

A amostra Referência, composta exclusivamente por solo-cimento (0% de RTC), apresentou a menor absorção de água, com valor médio de 18,97%, indicando menor porosidade e, conseqüentemente, maior compactação do material. A menor absorção de água da amostra de referência (18,97%), possivelmente, está associada à maior homogeneidade da mistura solo-cimento, ausência de materiais porosos e boa compactação.

A partir da introdução do resíduo cerâmico, observou-se uma tendência de aumento na absorção de água. As amostras com 14% de RTC (Tipo A) e 29% de RTC (Tipo B) apresentaram valores médios de 21,94% e 19,80%, respectivamente. Embora a amostra Tipo B possua maior teor de resíduo que a Tipo A, seu índice de absorção foi inferior entre todas as formulações com adição de RTC.

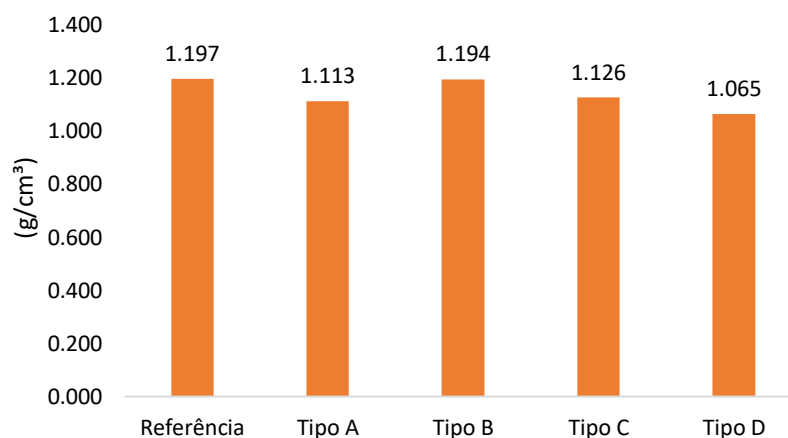
Esse comportamento pode estar associado a uma compactação mais eficiente da massa devido à presença de uma quantidade adequada de partículas com maior uniformidade, capazes de preencher melhor os vazios e reduzir a porosidade do material. Vale destacar que, apenas a amostra do Tipo B atendeu ao limite máximo de 20% de absorção de água estabelecido pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Por outro lado, os teores mais elevados de RTC resultaram em maiores índices de absorção. As amostras Tipo C (43% de RTC) e Tipo D (51% de RTC) apresentaram absorções médias de 24,41% e 24,64%, respectivamente. De acordo com ARAÚJO e SALES (2020), esse comportamento pode ser atribuído à natureza mais porosa do resíduo cerâmico em comparação ao solo, além da possível redução da coesão entre as partículas devido à substituição parcial do solo, prejudicando a compactação e aumentando os vazios na matriz.

4.2 Resultados da densidade aparente

A densidade aparente é uma propriedade relevante dos tijolos de solo-cimento, pois influencia diretamente no desempenho mecânico e na condutividade térmica do material. Conforme ilustrado no gráfico 02, a amostra de referência apresentou a maior densidade aparente média, com 1,197 g/cm³, seguida pelas amostras dos tipos B (1,194 g/cm³), C (1,126 g/cm³), A (1,113 g/cm³) e, por fim, D (1,065 g/cm³).

Gráfico 02 - Densidade aparente média para cada tipo de amostra.



Fonte: Autoria própria (2025).

Observa-se que todas as amostras com substituição parcial do solo por resíduo de tijolo cerâmico (RTC) apresentaram densidades aparentes inferiores à da amostra de referência, o que pode ser atribuído à menor densidade do resíduo cerâmico em relação ao solo original. A redução mais acentuada foi observada na amostra do tipo D, com uma diferença de aproximadamente de 11% em relação à referência.

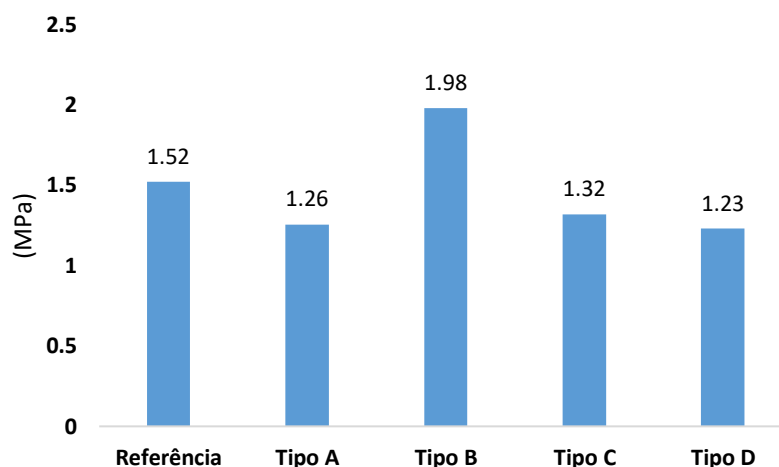
A amostra do tipo B, que apresentou densidade aparente próxima à da amostra de referência, indica que uma substituição moderada do solo por RTC pode manter características físicas similares ao traço convencional. Já nas amostras A, C e, principalmente, D, o decréscimo na densidade pode impactar positivamente na redução de peso dos elementos construtivos, porém, também pode sugerir menor compactação ou presença de maior volume de poros no interior dos tijolos.

Portanto, a análise da densidade aparente demonstra que a incorporação de RTC altera a estrutura física dos tijolos, sendo necessário balancear os percentuais de substituição de forma a garantir desempenho técnico adequado para aplicações em alvenaria. Essa alteração não necessariamente deforma visualmente o tijolo, mas sim modifica suas características internas, impactando o desempenho mecânico e físico.

4.3 Resultados do ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão é um dos principais parâmetros para avaliação da qualidade de tijolos de solo-cimento, sendo essencial para garantir estabilidade e segurança estrutural nas alvenarias. No Gráfico 03, observam-se os valores médios de resistência à compressão para as cinco formulações analisadas.

Gráfico 03 - Resistência à compressão média para cada tipo de amostra.



Fonte: Autoria própria (2025).

A amostra do Tipo B destacou-se com a maior resistência média à compressão, atingindo 1,98 MPa, superando inclusive a amostra de Referência, que apresentou 1,52 MPa. Essa elevação pode estar associada a uma interação mais eficiente entre as partículas do solo e o resíduo cerâmico, promovendo uma melhor compactação e ligação na matriz cimentícia.

Em contrapartida, as amostras Tipo A (1,26 MPa), Tipo C (1,32 MPa) e Tipo D (1,23 MPa) apresentaram valores inferiores à amostra de referência. Isso pode estar relacionado à maior proporção de RTC em suas composições, o que pode ter comprometido a coesão entre as partículas e, consequentemente, reduzido a resistência mecânica dos corpos de prova e ao processo de fabricação dos tijolos.

Apesar da variação nos resultados entre os diferentes traços, é importante destacar que nenhuma das formulações analisadas atendeu ao limite mínimo de 2,0 MPa estabelecido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) para tijolos de solo-cimento utilizados em alvenaria de vedação. Esse resultado indica a necessidade de ajustes nas proporções dos materiais ou nas condições de fabricação, a fim de alcançar a resistência mecânica exigida pela norma.

Os resultados indicam que a substituição parcial do solo por RTC pode ser tecnicamente viável, sobretudo no traço Tipo B, que apresentou desempenho superior ao da formulação convencional. De acordo com QUINTANA, FLORES, SILVA e GALIO (2024), a adição de 20% e 30% de resíduo cerâmico ao solo resulta em melhora significativa na resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias de cura. Tal comportamento demonstra o potencial do resíduo

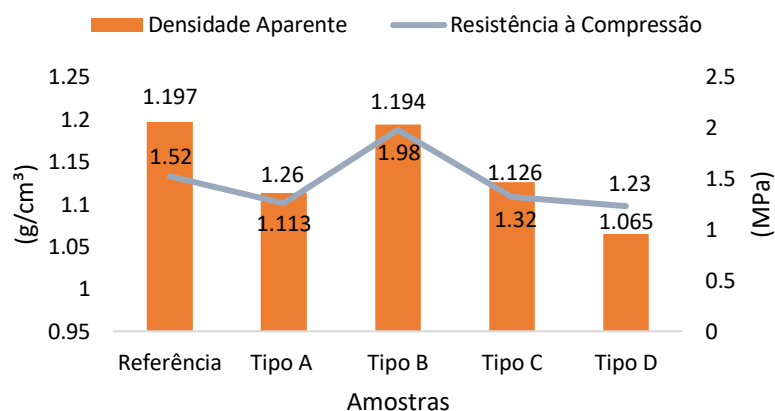
cerâmico como adição benéfica, desde que utilizada em proporções adequadas, promovendo ganho de resistência e contribuindo para a sustentabilidade do processo construtivo.

4.4 Correlação entre as propriedades analisadas nas amostras

A análise conjunta dos resultados obtidos permitiu identificar correlações significativas entre as propriedades físicas e mecânica das amostras, conforme demonstrado nos gráficos 04, 05 e 06.

O gráfico 04 demonstra uma relação direta entre a densidade aparente e a resistência à compressão: amostras com maior densidade tendem a apresentar maior resistência mecânica. A amostra do Tipo B se destaca, apresentando a maior densidade (1,194 g/cm³) e a maior resistência (1,98 MPa), superando inclusive a amostra de referência. Essa relação sugere que a densificação do material, promovida por melhor compactação e distribuição das partículas, contribui significativamente para o ganho de desempenho estrutural.

Gráfico 04 - Correlação entre densidade aparente e resistência à compressão.

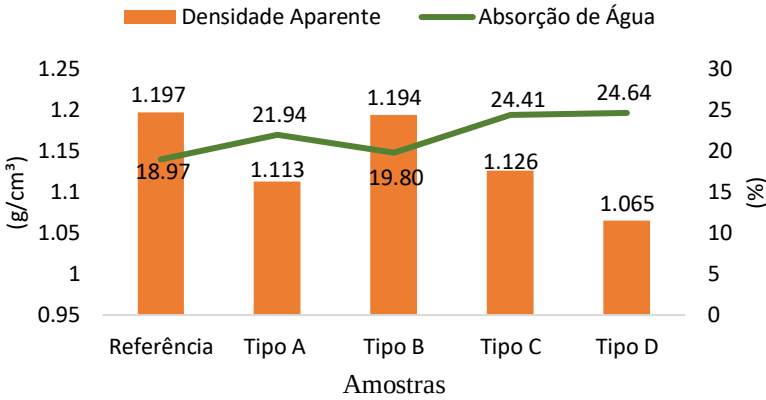


Fonte: Autoria própria (2025) .

Observa-se que, o gráfico 05 indica uma correlação inversa entre densidade aparente e absorção de água, à medida que a densidade aumenta, os índices de absorção tendem a diminuir. Isso é evidenciado pela comparação entre as amostras Tipo B e Tipo D: a primeira, com maior densidade, apresentou absorção de 19,80%, enquanto a segunda, com densidade mais baixa (1,061 g/cm³), apresentou o maior índice de absorção (24,90%). Esse comportamento é coerente com a estrutura interna

dos tijolos, em que menor densidade está associada à maior porosidade, favorecendo a penetração de água.

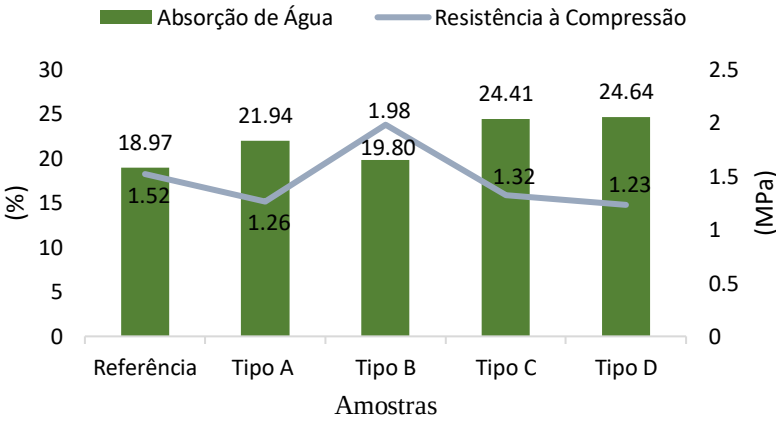
Gráfico 05 - Correlação entre densidade aparente e absorção de água.



Fonte: Autoria própria (2025).

Assim como, o gráfico 06 também mostra uma correlação inversa entre a resistência à compressão e a absorção de água. Amostras com maior absorção, como as dos tipos C e D, apresentaram as menores resistências mecânicas (1,32 MPa e 1,23 MPa, respectivamente). Em contrapartida, o tipo B, com menor absorção entre os formulados com RTC, apresentou o melhor desempenho estrutural. Essa relação reforça que o controle da porosidade, influenciado diretamente pelo teor de resíduo e pelo grau de compactação, é crucial para garantir tanto a integridade física quanto a durabilidade dos tijolos produzidos com resíduos cerâmicos.

Gráfico 06 - Correlação entre resistência à compressão e absorção de água.



Fonte: Autoria própria (2025).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se, com base na análise dos resultados obtidos, que a substituição parcial do solo por resíduo de tijolo cerâmico (RTC) na produção de tijolos de solo-cimento influencia significativamente as propriedades físicas e mecânica dos corpos de prova. De modo geral, observou-se que o aumento do teor de RTC tende a elevar a absorção de água e a reduzir a densidade aparente, reflexo da maior porosidade e menor compactação da matriz. Esse comportamento impacta negativamente na resistência à compressão, especialmente em formulações com teores mais elevados de resíduo, como os tipos C (43%) e D (51%).

Por outro lado, a amostra do Tipo B (29% de RTC) apresentou desempenho notável, superando inclusive a amostra de referência quanto à resistência à compressão e atendendo ao limite de absorção de água estabelecido pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012). Essa formulação demonstrou um equilíbrio favorável entre densidade, absorção e resistência, indicando que teores intermediários de resíduo cerâmico podem promover melhor distribuição granulométrica, preenchendo vazios e melhorando a compactação do material.

As correlações entre as propriedades evidenciaram que a densidade aparente está diretamente relacionada à resistência à compressão e inversamente à absorção de água, reforçando a importância da compactação e da estrutura interna dos tijolos. A resistência mecânica, por sua vez, demonstrou sensibilidade à porosidade induzida pela incorporação do resíduo. Esse comportamento indica que o incremento do teor de resíduo contribuiu para a redução da densidade e para o aumento da absorção de água, comprometendo, conseqüentemente, o desempenho mecânico dos tijolos.

Dessa forma, constata-se que a utilização do resíduo de cerâmica vermelha é viável, desde que sejam adotadas proporções adequadas. A formulação com 29% de RTC se destaca como a mais promissora, apontando um caminho para a produção de tijolos sustentáveis com bom desempenho físico-mecânico.

Recomendações para pesquisas futuras:

- Investigar a influência da granulometria do RTC no desempenho dos tijolos.
- Investigar o uso de aditivos estabilizantes, como aditivos químicos, para melhorar o desempenho de composições com maior teor de RTC.
- Avaliar diferentes pressões de compactação e tempos de cura para verificar seu impacto na densificação e resistência final.

REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 2004.

ARAÚJO, Diego Silva; SALES, André Luiz. **Avaliação do uso de resíduo cerâmico na fabricação de tijolos solo-cimento**. Revista Matéria, v. 25, n. 3, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

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 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **CBIC eleva projeção de crescimento da Construção Civil para 3,5% em 2024**. www.cbic.org.br, 2024. Disponível em: <https://cbic.org.br/cbic-eleva-projecao-de-crescimento-da-construcao-civil-para-35-em-2024/>. Acesso em: 17 de janeiro de 2025.

CAMPOS, A.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. B. do; BRITO, L. T. **Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura**. *Interações*, v. 20, p. 283–296, 2019.

CARTILHA SOLO-CIMENTO. **Cartilha de produção de tijolos de solo-cimento**. Piracicaba: Universidade Metodista de Piracicaba – Unimep, 2016.

CARVALHO, O. O. **Perfil da indústria cerâmica vermelha do Rio Grande sustentável na construção civil.** *Revista Contemporânea*, v. 8, n. 2, p. 45–58, 2021.

FERREIRA, Ruan Landolfo da Silva. **Identificação e disposição final dos resíduos sólidos gerados na fabricação de cerâmica vermelha no Vale do Assú/RN.** 2012. 87 f. Dissertação (Monografia), Curso Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA/Angicos-RN, 2012.

FONSECA, Nayara J. M. **Estudo do uso de resíduo cerâmico na produção de tijolos de solo-cimento e solo-cal.** 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

GRANDE, A. A. **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - EESC-USP, 2003. 165p., dissertação (Mestrado em Arquitetura).

ISAIA, G. C. **Aspectos ambientais da produção de cerâmica vermelha: desafios e perspectivas.** *Revista Materiais de Construção Sustentável*, v. 5, n. 2, p. 112-124, 2010.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Dados revisados do déficit habitacional e inadequação de moradias nortearão políticas públicas.** www.gov.br, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/dados-revisados-do-deficit-habitacional-e-inadequacao-de-moradias-nortearao-politicas-publicas>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.

PEREIRA, M. A.; ALMEIDA, J. S. **Incorporação de resíduos cerâmicos na produção de tijolos de solo-cimento: uma abordagem sustentável.** *Revista Brasileira de Engenharia Sustentável*, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2021.

QUINTANA, Luíse Lence; FLORES, Wladimir Hernández; SILVA, Sabrina Neves da; GALIO, Alexandre Ferreira. **Influência da adição de resíduo cerâmico na resistência à compressão de tijolos de solo-cimento.** *Revista Científica da FATEC Jahu*, Jaú, v. 10, n. 1, pág. 29 - 50, 2024.

SAMPAIO, A. B. **Aproveitamento de resíduos cerâmicos na produção de tijolos de solo-cimento: análise da resistência mecânica.** *Revista Brasileira de Materiais de Construção*, v. 8, n. 1, p. 45-55, 2015.