REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS

EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF SOIL-CEMENT BRICKS WITH THE ADDITION OF RUBBER TIRE WASTE

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS

Francisca das Chagas Oliveira
Doutoranda, UFCG, Brasil
E-mail: engenheira.franoliv@gmail.com

Francisco Arlon de Oliveira Chaves
Mestre, IFPI, Brasil
E-mail: arlonoliv@hotmail.com

Anderson de França Almeida
Técnico administrador, IFPI, Brasil
E-mail: andersonalmeida@ifpi.edu.br

Evandro de Carvalho Ribeiro
Mestre, UnB, Brasil
E-mail: eng.prof.evandro@gmail.com

Eugenia Maria dos Santos Cordeiro
Especialista, UESPI, Brasil
E-mail: emscordeiro81@gmail.com

Gilvan Moreira da Paz
Doutor, IFPI, Brasil
E-mail: gilvan@ifpi.edu.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar as propriedades físicas e mecânicas de tijolos solo-cimento produzidos com a incorporação de resíduos de borracha de pneus, visando propor uma alternativa sustentável para reduzir os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado desses resíduos. A metodologia adotada compreendeu a realização de ensaios laboratoriais nas matérias-primas, incluindo a composição química (FRX), identificação de fases mineralógicas (DRX), distribuição do tamanho de partículas (argila e resíduos de borracha de pneus), determinação dos limites de liquidez e de plasticidade. Após a etapa de moldagem, os tijolos foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Os resultados indicaram que as composições contendo 0%, 5% e 10% de resíduos de borracha apresentaram valores médios de absorção inferiores ao limite máximo estabelecido em norma. Quanto à resistência à compressão,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

apenas a mistura com 5% de resíduos de borracha de pneus atendeu aos requisitos especificados pela ABNT NBR 8491/2012.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento; resíduo de pneu; ensaio de absorção; resistência à compressão.

Abstract

This work aims to analyze the physical and mechanical properties of soil-cement bricks produced with the incorporation of tire rubber waste, aiming to propose a sustainable alternative to reduce the environmental impacts resulting from the inadequate disposal of this waste. The methodology adopted included laboratory tests on raw materials, including chemical composition (FRX), identification of mineralogical phases (DRX), particle size distribution (clay and tire rubber residues), determination of liquidity limits and plasticity. After the molding stage, the bricks were subjected to compressive strength and water absorption tests. The results indicated that the compositions containing 0%, 5% and 10% of rubber residues showed average absorption values below the maximum limit established in the standard. As for the compressive strength, only the mixture with 5% of tire rubber waste met the requirements specified by ABNT NBR 8491/2012.

Keywords: Brick cement-soil; tire residue; absorption test; compressive strength.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo analizar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de suelo-cemento producidos con la incorporación de residuos de caucho de neumáticos, con el fin de proponer una alternativa sostenible para reducir los impactos ambientales derivados de la eliminación inadecuada de estos residuos. La metodología adoptada incluyó la realización de pruebas de laboratorio en las materias primas, incluyendo la composición química (FRX), identificación de fases mineralógicas (DRX), distribución del tamaño de partículas (arcilla y residuos de caucho de neumáticos), determinación de los límites de liquidez y de plasticidad. Después de la etapa de moldeo, los ladrillos se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua. Los resultados indicaron que las composiciones que contenían 0 %, 5 % y 10 % de residuos de caucho presentaron valores medios de absorción inferiores al límite máximo establecido en la norma. En cuanto a la resistencia a la compresión, solo la mezcla con un 5 % de residuos de caucho de neumáticos cumplió con los requisitos especificados por la ABNT NBR 8491/2012.

Palabras clave: Ladrillo de suelo-cemento; residuo de neumático; ensayo de absorción; resistencia a la compresión.

1. Introdução

O setor da construção civil destaca-se como um dos maiores consumidores de recursos naturais, o que torna imprescindível a busca por soluções tecnológicas que promovam práticas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis. Nesse contexto, a incorporação de novas tecnologias e materiais alternativos apresenta-se como uma estratégia relevante para a redução dos impactos ambientais associados às atividades construtivas. Além dos benefícios ambientais, o uso de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

materiais alternativos, especialmente aqueles provenientes de resíduos, pode contribuir para a diminuição dos custos finais das obras. Tal abordagem também possui significativa relevância econômica, uma vez que reduz a necessidade de aquisição de matérias-primas convencionais, promovendo a substituição parcial desses materiais por resíduos reaproveitados (ASSAAD e EL-ADAWAY, 2024; MATUTI e SANTANA, 2019; SILVA, SANTOS e SAVARIS, 2018).

Dentre os diversos resíduos sólidos gerados, destacam-se os resíduos de borracha provenientes de pneus inservíveis, os quais representam significativa preocupação para ambientalistas, órgãos governamentais e para a sociedade. Quando descartados de forma inadequada, os pneus são frequentemente destinados a aterros, onde podem persistir no meio ambiente por períodos superiores a 500 anos. De acordo com Wang et al. (2024) um pneu é classificado como inservível quando não apresenta mais possibilidade de reutilização ou reforma. Essa problemática tem sido amplamente discutida na literatura recente (RIBEIRO et al., 2021).

O desenvolvimento sustentável pode ser compreendido como aquele em que a taxa de degradação ambiental é inferior à capacidade de regeneração e assimilação dos impactos pelo meio ambiente. Assim, a utilização de tijolos ecológicos configura-se como uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente favorável, contribuindo para a mitigação dos impactos associados ao setor da construção civil (Gomes e Marco, 2021; Oliveira e Silva, 2021; Salomão, Canguçu e Carvalho, 2018). Outro aspecto positivo refere-se à racionalização da técnica construtiva proporcionada pela utilização de tijolos solo-cimento, os quais contribuem para a redução do desperdício de materiais e para o aumento da produtividade no canteiro de obras. Essa abordagem favorece maior agilidade na execução e, consequentemente, economia nos custos com mão de obra (FERNANDES E RODRIGUES, 2025; NASCIMENTO, FEITOSA e ALMEIDA, 2018).

Nesse contexto, o tijolo solo-cimento apresenta-se como uma alternativa alinhada aos princípios da construção sustentável, destacando-se pelo menor custo

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

potencial, pela possibilidade de reaproveitamento de materiais e pela dispensa do processo de queima, diferentemente dos tijolos convencionais. A eliminação da etapa de queima reduz o consumo de recursos naturais, como a lenha, além de minimizar a emissão de gases poluentes na atmosfera (EUPHROSINO et al., 2021; FIAIS e SOUZA, 2017).

Os tijolos solo-cimento apresentam vantagens ambientais quando comparados aos blocos cerâmicos convencionais. Destacam-se pela simplicidade do processo de fabricação e pela utilização do solo como principal matéria-prima, um recurso amplamente disponível na natureza, mas não pode ser qualquer solo. O solo para a mistura de solo-cimento deve estar limpo, sem galhos, folhas, raízes ou outro material orgânico. Para Zhang et al. (2020), a composição granulométrica ideal para a mistura de solo-cimento tem como objetivo otimizar o empacotamento das partículas, diminuindo os vazios e, assim, reduzindo a quantidade de cimento necessária para alcançar a resistência desejada. A proporção recomendada por esses autores o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, já que exigem baixo consumo de cimento. Além disso, o solo-cimento permite a incorporação de resíduos de diferentes origens e composições, visando à obtenção de misturas com desempenho físico e mecânico aprimorado, especialmente no que se refere à resistência mecânica (MARQUES et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2020).

De acordo com Santos et al (2025), os agregados reciclados de borracha de pneus apresentam-se como materiais promissores para aplicação na construção civil, em função de características como baixa massa específica, elevada elasticidade e propriedades térmicas e acústicas favoráveis. A utilização de resíduos de borracha de pneus tem sido investigada em diversos estudos. Gomes (2018) e Bandeira (2016) concluíram que o tijolo ecológico com adição desse resíduo constitui uma alternativa técnica e economicamente viável, podendo contribuir para a redução do déficit habitacional no Brasil. Por sua vez, Hang et al. (2025); Li; Wang (2024) e Sadek e El-Attar (2015), ao avaliarem o efeito da incorporação de borracha de pneus, observaram redução na resistência mecânica

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

à medida que se elevaram os teores de borracha, independentemente do teor de cimento ou da granulometria do resíduo.

A borracha empregada pelos autores encontrava-se isenta de aço e de fibras têxteis, sendo utilizada em duas faixas granulométricas para substituição dos agregados graúdos e miúdos. Observou-se, ainda, que a absorção de água do concreto aumentou proporcionalmente ao teor de granulado de borracha incorporado à mistura. Com base nos estudos anteriormente citados, este trabalho tem como objetivo investigar as propriedades físicas e mecânicas de tijolos solo-cimento produzidos com a adição de resíduos de borracha de pneus.

2. Revisão da Literatura

2.1 Solo

As litologias de interesse cerâmico são folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos, varvitos e outras rochas de natureza pelítica, que são denominadas genericamente, no jargão cerâmico, de solo. Quanto ao aspecto químico-mineralógico, os solos portam, predominantemente, argilominerais 2:1 (TOT), uma camada octaédrica para duas camadas tetraédricas (Cruz *et al.,* 2022). Um dos principais representantes desse grupo nas rochas citada é a hematita. As hematitas ocorrem misturadas a outros argilominerais em argilas como os solos, geralmente de coloração avermelhada ou amarelada. A presença de hematita indica maior plasticidade em relação às argilas cauliníticas. Esse mineral é rico em óxido de ferro, que confere baixo ponto de sinterização, característica marcante dessas rochas. Os solos são mais abundantes que as argilas quaternárias, possuem ampla distribuição no território nacional e apresentam bom desempenho cerâmico, sobretudo no processamento térmico. Isto tem possibilitado o crescimento de seu aproveitamento, em substituição às argilas de várzea, na cerâmica vermelha, pois constituem depósitos mais espessos e homogêneos, posicionados em situações topográficas mais favoráveis, fora das áreas de inundação, com vantagens técnicas e ambientais para as operações de lavra (Adazabra et al.,2025; CABRAL *et al.*,2018).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

2.2 Tijolo de solo-cimento

O tijolo solo-cimento é apresentado como uma alternativa em busca de edificações cada vez mais sustentáveis, uma vez que agrega menor custo, reaproveitamento de materiais e dispensa o processo de queima como acontece no convencional, evitando uma redução no corte de árvores como também reduzindo os gases lançados na atmosfera (Fernandes et al., 2022). Além de possuírem vantagens ecológicas quando comparados aos blocos cerâmicos convencionais, são de simples fabricação e utilizam como matéria-prima principal o solo, que é encontrado em abundância na natureza, permitindo também a incorporação de resíduos de diferentes fontes e composições para obter uma mistura que contribua para a melhoria da resistência mecânica (Marques et al., 2020) Além disso, nas alvenarias construídas com os tijolos de solo-cimento, as colunas são embutidas em seus furos, fazendo com que o peso das alvenarias seja distribuído sobre as paredes, gerando uma alvenaria estrutural mais segura. A utilização dos tijolos solo-cimento também dispensa o uso de 100% de madeira para a confecção de colunas, além do fácil acabamento, da durabilidade e da limpeza da obra devido à ausência de entulho. Nascimento (2024); Sampaio e Nunes (2017); Fraga et al. (2016) relatam que o uso do tijolo de solo-cimento proporciona um assentamento rápido e prático, evitando desperdícios de material além de proporcionar uma execução com uma mão de obra não especializada, gerando uma economia final da obra.

2.3 Residuos da borracha de pneus

Conforme dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2024), a quantidade de veículos no Brasil teve um crescimento expressivo. Em 2024 esse número chegou a 124 milhões, abrangendo automóveis, comerciais leves, caminhões, ônibus, carretas e motocicletas. Consequentemente, a produção de pneus para transporte acompanhou essa evolução, gerando uma maior demanda por soluções inovadoras para a coleta e o descarte desses materiais quando se tornam obsoletos e inutilizáveis. O processamento de pneus inservíveis

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

produz subprodutos com diferentes tamanhos, possibilitando sua utilização na construção civil em diversas escalas: desde lascas, empregadas em aplicações de engenharia civil pesada, até borracha moída e pó de borracha, que fazem parte de matrizes mais finas. Pesquisas recentes indicam que a granulometria não só influencia a trabalhabilidade das misturas, como também é o fator determinante na transferência de tensões entre o agregado e a matriz ligante (LI et al., 2022) Dessa forma, para avaliar a incorporação das misturas de solo-cimento com borracha, torna-se necessário estudar o comportamento granulométrico dos materiais derivados de pneus inservíveis, juntamente com a análise dos materiais de características conhecidas, como o cimento, nessas condições Gomes, (2018) e Bandeira (2016) concluiram em seus estudos que o tijolo ecológico com adição de resíduo de borracha de pneu, constitui uma alternativa viável técnica e economicamente para a auxiliar na redução do déficit habitacional no Brasil. Além disso, vale lembrar que, a utilização desse resíduo é mais uma alternativa para diminuir a problemática do prejuízo ambiental, ocasionado pelo descarte inadequado do mesmo. Dentre as características mecânicas, destaca-se a resistência à compressão que apresentou grande aumento em relação aos tijolos ecológico padrão. A borracha de pneu é um material viável em obras de engenharia, pois reduz o peso próprio do tijolo e também é ecologicamente correto, tirando da natureza resíduos que poderiam poluir o meio ambiente. Sadek & El-Attar (2015) também desenvolveram um estudo para avaliar o efeito da borracha de pneu sobre as propriedades, dessa vez, de tijolos de solo-cimento e, consequentemente, sobre o comportamento estrutural de paredes de alvenaria sob compressão. A borracha utilizada pelos autores estava livre de aço e fibras têxteis e foi empregada em dois tamanhos para substituir os agregados graúdos e miúdos. Percebeu-se ainda que a quantidade de água absorvida pelo concreto cresceu com o aumento da quantidade de granulado de borracha.

3. Metodologia

3.1 Materiais

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

A proposta deste estudo consistiu na incorporação de resíduos de borracha de pneus na fabricação de tijolos solo-cimento. Para tanto, o solo utilizado como matéria-prima foi coletada na Estrada da Alegria, localizada em Teresina–PI. Brasil. Os resíduos de borracha de pneus foram adquiridos de uma empresa Recicla Codipi de reciclagem situada no bairro Santa Maria da Codipi, em Teresina–PI, Brasil. O granulado de borracha, proveniente de pneus inservíveis, foi obtido por meio de um processo mecânico envolvendo um conjunto de equipamentos composto por triturador, prensa e classificador. O material foi utilizado sem tratamento prévio, sendo submetido apenas ao peneiramento em peneira com abertura de 2 mm. O aglomerante empregado nas misturas foi o cimento Portland CP II-E 32 conhecido pela sua boa resistência inicial e final, durabilidade e cura mais rápida em comparação com outros tipos de cimento.

3.2 Métodos

O solo foi submetido ao processo de destorroamento, seguido de moagem primária em moinho de martelos e moagem fina em moinho de bolas. Por fim, foi classificado em peneira de malha 200 (0.075mm) para garantir a homogeneidade granulométrica da amostra, após esses procedimentos foi submetido a ensaios de caracterização, incluindo análises químico-mineralógicas por fluorescência de raios X (FRX), utilizando um espectrômetro da marca SHIMADZU (modelo EDX-700) e difração de raios X (DRX), utilizando o equipamento XRD-600 da SHIMADZU, equipado com tubo de Cu (λ = 1.54056 Å), com leitura entre 10 e 90° a uma taxa de 2°/min. A identificação mineralógica foi feita utilizando o software HighScore Plus. A análise granulométrica (Figuras 1) e determinação dos limites de consistência (Figuras 2). A análise granulométrica de acordo com ABNT NBR 7181/25, a determinação do limite de liquidez (LL) foi realizada conforme a ABNT NBR 6459:2017, que estabelece o uso do aparelho de Casagrande. O limite de plasticidade (LP) foi determinado de acordo com os procedimentos especificados na ABNT NBR 7180:2016. Os ensaios tecnológicos dos tijolos solo-cimento

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

basearam-se na absorção de água e resistência a compressão simples cujas metodologias estão apresentadas nas normas ABNT NBR 8492/12 e ABNT NBR 8491/12.



Figura 1- Granulometria da argila.

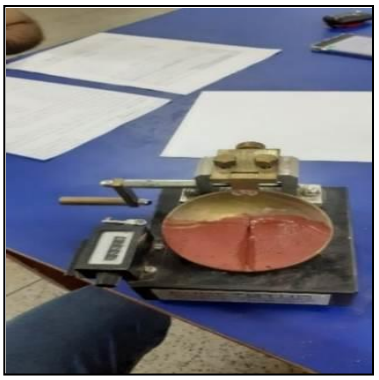


Figura 2 - Aparelho de Casagrande

Os resíduos de borracha de pneus também foram submetidos ao ensaio de granulometria por peneiramento ABNT NBR 7181/25, conforme apresentado na Figura 3 e as análises químicas por fluorescência de raios X (FRX), utilizando um espectrômetro da marca SHIMADZU (modelo EDX-700). As características obtidas, especialmente a distribuição granulométrica, fundamentaram a definição da borracha como material de substituição parcial do agregado miúdo na composição dos tijolos solo-cimento.

A caracterização química obtida por FRX apresenta relevância direta na interpretação dos resultados mecânicos, uma vez que a mineralogia e a composição química do solo influenciam parâmetros como trabalhabilidade, empacotamento das partículas, consumo de água e resistência à compressão.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29



Figura 3 - Granulometria dos resíduos de pneus

Após a etapa de caracterização das matérias-primas, procedeu-se à fabricação dos tijolos solo-cimento. Inicialmente, a argila foi submetida ao peneiramento e ao destorroamento. Em seguida, o solo e o cimento foram homogeneizados manualmente, com posterior adição de água, até a obtenção da consistência adequada para a moldagem. Posteriormente, realizou-se a incorporação dos resíduos de borracha de pneus à mistura, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.



Figura 4 - preparação da mistura.



Figura 5 - Teste de umidade do solo

Os tijolos solo-cimento foram produzidos com o traço 1:7 (cimento: solo) para formulação padrão e, adotando-se teores de incorporação de resíduos de borracha de pneus de, 5% e 10%, em relação à massa do solo. Após a homogeneização, a mistura foi moldada em prensa manual, conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 10833/13 (Figura 6). Após a etapa de prensagem, os tijolos solo-cimento foram submetidos ao processo de cura.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

Durante os sete primeiros dias, as amostras foram mantidas em condições úmidas, mediante aplicação periódica de água com o auxílio de regador, a fim de garantir a adequada hidratação do cimento e o desenvolvimento das propriedades mecânicas.



Figura 6 – Confecção dos tijolos de solo-cimento

Para a realização dos ensaios físicos e mecânicos, foram confeccionadas 13 amostras para cada traço de tijolo solo-cimento (0%, 5% e 10% de incorporação de resíduos de borracha). Destas, sete amostras foram destinadas ao ensaio de resistência à compressão simples, três ao ensaio de absorção de água e ambos foram submetidos à verificação dimensional e logo após aplicou-se o ensaio de densidade aparente experimental conforme a ABNT NBR 8492:2012. O ensaio de absorção de água foi realizado com três tijolos de cada traço (Figura 7), conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 8492:2012. De acordo com a norma, o valor individual de absorção não deve exceder 22%, e a média dos resultados não pode ser superior a 20%.



Figura 7- Ensaio de absorção de água

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

Foram realizados ensaios de resistência à compressão simples mediante o rompimento dos tijolos solo-cimento em prensa apropriada para esse fim (Figura 8). As amostras foram ensaiadas aos 14 e 28 dias de cura, conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 8492:2012. De acordo com a referida norma, a resistência à compressão simples deve apresentar valor individual maior ou igual a 1.7 MPa, e a média dos resultados não deve ser inferior a 2.0 MPa. Para cada traço (0%, 5% e 10% de incorporação de resíduos de borracha de pneus), foram obtidos sete resultados de resistência. Os valores foram apresentados em termos de média.



Figura 8- Ensaio de resistência

A determinação das dimensões finais dos tijolos solo-cimento foi efetuada com paquímetro digital, instrumento com precisão adequada para minimizar incertezas nas medições de comprimento, largura e altura, em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 8491:2012.

Para calcular a densidade aparente experimental do tijolo de solo-cimento conforme a norma ABNT NBR 8491:2012, o método se fundamenta na relação entre a massa seca do tijolo e seu volume geométrico. Três tijolos foram colocados em uma estufa ventilada a uma temperatura de 105 °C a 110 °C por 24 horas para remover toda a umidade. Em seguida, uma balança foi utilizada para medir a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

massa do tijolo seco (m_{seco}) em gramas (g). As dimensões externas do tijolo (comprimento, largura e altura) foram medidas em diversos pontos com o auxílio deum paquímetro digital, a fim de obter uma média precisa para o cálculo do volume (*V)* do tijolo. Após os resultados dos ensaios de absorção de água e resistência à compressão são apresentados como média aritmética das amostras dos tijolos e desvio padrão, por composição. Foi analisada a normalidade dos dados e, desta forma, foi realizada uma análise estatística por análise de variância (ANOVA), adotando-se uma probabilidade de significância (valor-p) menor que ou igual a 0.05 ($p \leq 0.05$), seguida do teste de Tukey.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

4 Resultados e Discussão

4.2 – Ensaios Físicos, Químicos e mineralógicos

4.1.1 Distribuição granulométrica do solo e resíduo, LP (solo) e LL (solo)

Os resultados da análise granulométrica do solo estão apresentados na Tabela 1 e na Figura 9. Os dados obtidos indicam que o material atende aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 10833:2012 para solos empregados na fabricação de tijolos solo-cimento. De acordo com a referida norma, 100% das partículas deve passar nas peneiras de nº 4 (4.8 mm) e nº 10 (2,0 mm), e entre 10% e 50% deve passar na peneira de nº 200 (0.075 mm). A presença de frações arenosas no solo-cimento é considerada favorável, uma vez que esses grãos atuam predominantemente como material inerte de enchimento, contribuindo para a estabilidade volumétrica. Por outro lado, a fração argilosa desempenha papel fundamental na coesão da mistura solo-cimento, especialmente quando umedecida e compactada, proporcionando plasticidade adequada, facilidade de moldagem e resistência inicial suficiente para a desforma do tijolo solo-cimento (Hussain et al., 2024; Segantini e Alcântara, 2010).

Tabela 1 – Granulometria do solo

Peneiras (mm)	Passando (%)
25.4	100
4.75	100
1.19	95.20
0.707	72.70
0.425	50.60
0.149	23.70
0.075	9.20

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

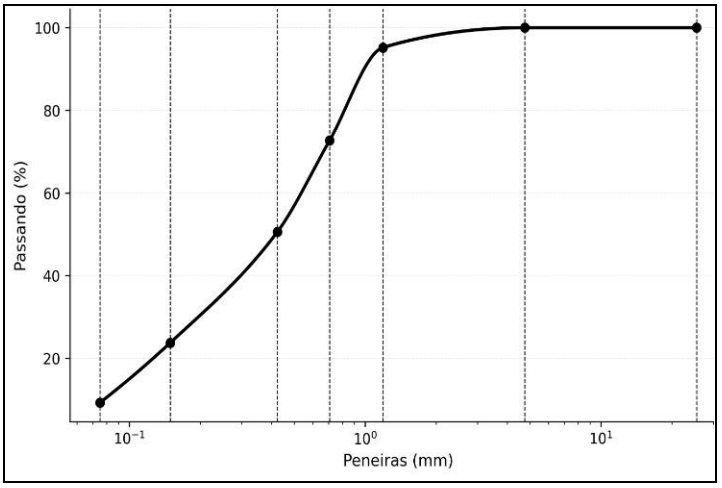


Figura 9 – Gráfico da granulometria do solo

A ABNT NBR 10833:2013, que estabelece os procedimentos para a fabricação de tijolos solo-cimento por meio de prensa manual ou hidráulica, define os parâmetros apresentados na Tabela 2 referentes às principais características requeridas do solo.

Tabela 2- Especificação do solo para produção do tijolo ecológico- NBR 10832/13

Características	Condições
% do solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm (nº 4)	100%
% do solo que passa na peneira ABNT 0,075mm (nº 200)	10 a 50%
Limite de liquidez	≤ 45%
Índice de plasticidade	≤ 18%

Os resultados obtidos nos ensaios de determinação dos limites de Atterberg da argila estão apresentados na Tabela 3 e na Figura 11. Verifica-se que os valores encontrados atendem às prescrições da ABNT NBR 10833:2012, a qual estabelece que o limite de liquidez (LL) deve ser menor ou igual a 45% e que o índice de plasticidade (IP) deve ser menor ou igual a 18%. Ressalta-se que a incorporação dos resíduos de borracha de pneus não promoveu alterações significativas na trabalhabilidade da mistura.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

Tabela 3 - Limite de Plasticidade da argila

Cápsula N.º	01	02	03	04	05		
Peso bruto úmido (g)	8.33	8.16	8.74	8.72	8.89	LL	35.1%
Peso bruto seco (g)	8.17	8.02	8.55	8.55	8.72		
Peso da cápsula (g)	7.43	7.33	7.67	7.74	7.93	LP	21.2%
Peso da água (g)	0.16	0.14	0.19	0.17	0.17	IP	13.9%
Peso do solo seco (g)	0.74	0.69	0.88	0.81	0.79		
Umidade%	21.6	20.3	21.6	21.0	21.5		

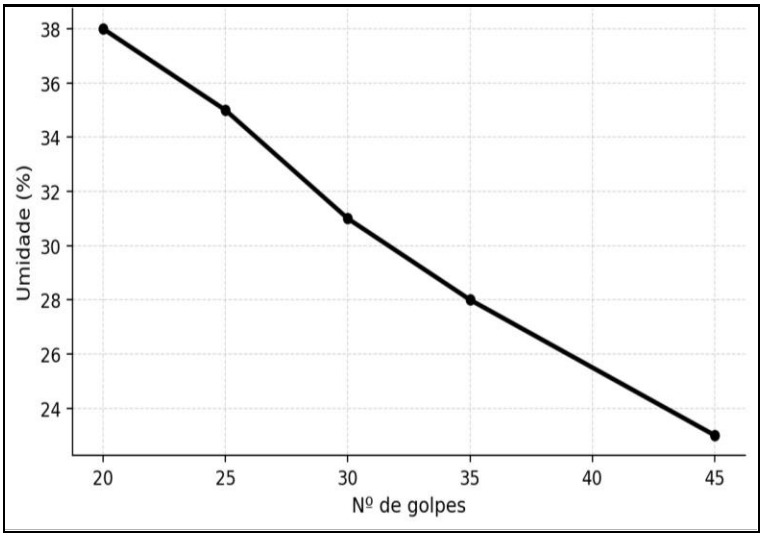


Figura 10 - Resultado do LL

Os resultados do ensaio de granulometria indicam que a maior fração do resíduo de borracha ficou retida na peneira com abertura de 2.00 mm, conforme apresentado na Tabela 4 e na Figura 11. Com base na distribuição granulométrica obtida, os resíduos de borracha de pneus foram classificados como material compatível para utilização como substituição parcial do agregado miúdo na composição dos tijolos solo-cimento. O preenchimento físico com borracha transforma o tijolo de solo-cimento de um material puramente cerâmico/mineral em um compósito com propriedades híbridas. O sucesso desse preenchimento

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

depende diretamente da granulometria (tamanho dos grãos) da borracha: quanto mais fina e próxima à textura da areia, melhor será o encaixe físico e a estabilidade do tijolo (Ferreira e Jara, 2021).

Tabela 4 – Granulometria dos resíduos de borracha de pneus

Borracha de pneus – massa da amostra: 1kg			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% retida	% acumulada
4,8	87.55	8.7648	8.7648
2	372.18	37.2597	46.0245
1,2	275.55	27,5858	73.6103
0,6	158.88	15.9058	89.5161
0,3	70.12	7.0198	96.5359
0,15	26.98	2.7010	99.2369
Fundo	7.62	0.7628	99.9997

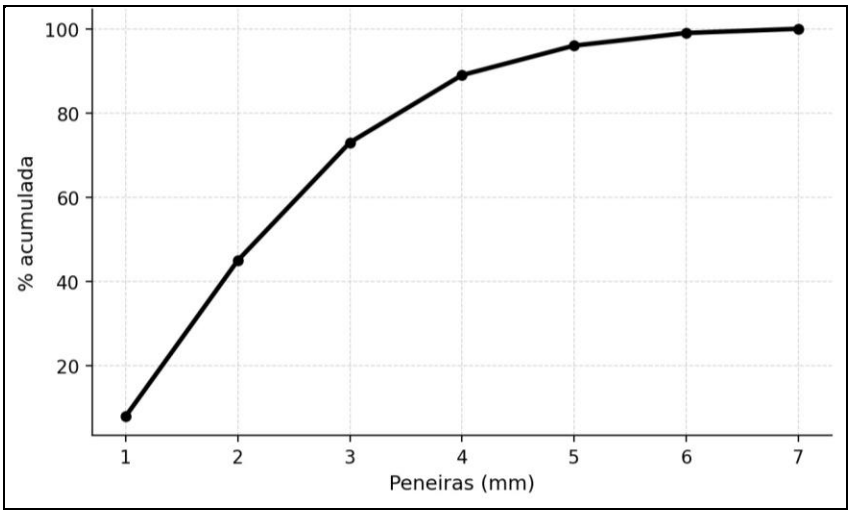


Figura 11 – Gráfico da curva granulométrica dos resíduos da borracha de pneus

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

4.1.2 Identificação mineralógica do solo

Na análise mineralógica do solo, observada na Figura 12, foram identificadas as presenças de caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) (JEPDS - 78 - 2110), feldspato potássio ($KAlSi_3O_8$) (JEPDS - 84 - 0710), quartzo (SiO_2) (JEPDS - 46 - 1045) e hematita (Fe_2O_3) (JEPDS - 73 - 3754). A presença da caulinita fornece ao material uma característica de plasticidade, o que pode aumentar a resistência inicial dos tijolos solo-cimento, facilitando o desmolde da máquina de compactação (Cid-Falceto et al., 2022). O quartzo tem a função de manter a estabilidade dimensional da peça durante a moldagem e secagem, podendo atuar como material de enchimento, facilitando a saída da água utilizada (Kadir et al., 2024). A hematita encontrada no solo, confere a coloração avermelhada do solo, pois a estrutura cristalina é o que causa a reflexão diferenciada da luz no espectro vermelho, resultando em tonalidades do solo que vão do vermelho claro ao vermelho intenso (Melo et al.,2021) e o feldspato potássico é considerado impurezas no solo.

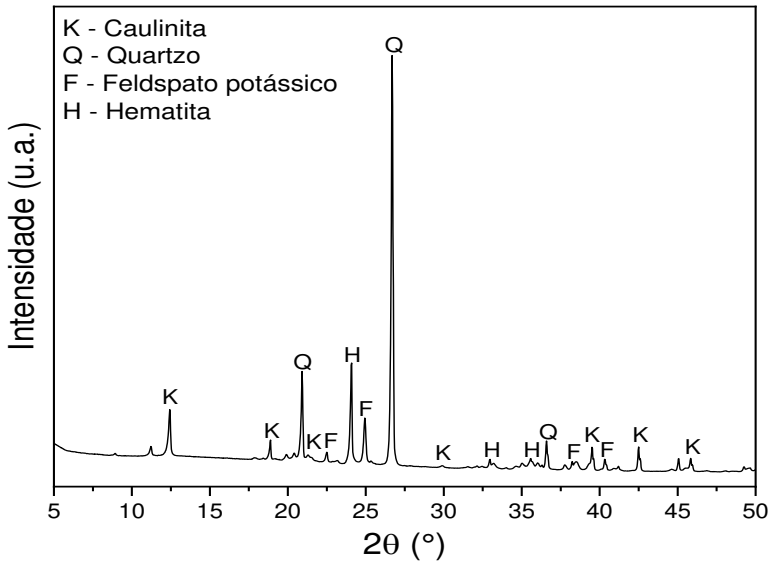


Figura 12 – Gráfico da identificação mineralógica DRX do solo

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

4.1.3 Análise química do solo, cimento e Resíduos de borracha de pneus

A análise química por Fluorescência de Raios X (FRX) possibilita a identificação dos elementos químicos constituintes do cimento, solo e resíduos de borracha de pneus utilizados neste estudo (Tabela 5).

Para o cimento CP II-E 32, a maior concentração foi de óxido de cálcio (CaO), presente nos compostos de óxidos e carbonatos de cálcio responsáveis pela formação dos cristais de C_3S, por exemplo, durante o processo de hidratação do cimento. Foi possível perceber também concentrações de dióxido de silício (SiO_2). A elevada concentração de óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO_2) refere-se a base química necessária para o desenvolvimento de resistência mecânica. O CaO, derivado primordialmente da calcinação do calcário, é o principal componente para a formação do Silicato Tricálcico (C_3S) e do Silicato Bicálcico (C_2S) no clínquer. Durante o processo de hidratação, esses silicatos reagem com a água para formar o Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H), o principal responsável pela colagem das partículas e pela dureza da pasta de cimento.

Constata-se que o solo possui altos teores de sílica (SiO_2) (61.74%) e alumina (Al_2O_3) (10.67%), que, somados, representam 72.41% da composição química total, caracterizando um solo sialítico. É quimicamente estável e provavelmente possui boa porosidade, porém pode ser deficiente em nutrientes essenciais devido à elevada concentração de quartzo (sílica). Trata-se de um solo de alta qualidade para construção ou cerâmica. Esses resultados são consistentes com a distribuição de partículas granulométrica e sugerem a predominância de minerais típicos de solos argilosos, como quartzo e caulinita. Essa interpretação é corroborada pela análise por (DRX) (Figura 12).

Li et al. (2022) e Ribeiro et al. (2023) indicaram que as concentrações de óxido de enxofre SO_3 e óxido de zinco ZnO são geralmente mais altas em resíduos de pneus, pois são utilizados como agentes de cura e ativadores durante o processo de vulcanização. Analisando a composição química da borracha e do agregado miúdo, percebe-se que não há semelhanças significativas que justifique

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

quimicamente a substituição do solo por esse resíduo, a não ser o preenchimento físico que Para um preenchimento eficiente, a borracha deve ter uma granulometria compatível com o solo utilizado.

Tabela 5 - Composição química do cimento, solo e resíduo de borracha de pneus

Amostras	SiO_2	ZnO	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MaO	K_2O	SO_3	TiO_2	Outros
CP II-E 32	10.82	0	0	76.32	4.87	3.05	0.6	2.27	0.43	1.64
Solo	61.74	0	10.67	2.88	4.15	0	16.91	0.06	0.50	3.09
RBP	7.41	68.45	0	1.49	2.12	3.13	1.21	15.11	0.18	0.9

Obs. RBP – resíduo de borracha de pneus

4.2 Analise estatística ANOVA para os ensaios de absorção de água e resistência à compressão

Os resultados da absorção de água dos tijolos foram analisados por análise de variância (ANOVA) o *Valor-p* apresentado é 2.51e-07, este valor é muito menor que o limite padrão de 0.05, portanto, existe uma diferença altamente significativa entre as médias de, pelo menos, dois dos seus grupos, confirmando que o resultado é significativo mesmo a níveis de confiança muito rigorosos (99,9%). O $F_{critico}$ = 5.14 e o F= 472.5, F possui um resultado maior que $F_{critico}$. A ANOVA apresenta uma diferença significativa, mas não diz qual grupo é diferente de qual. Com o *p-valor* tão baixo, o próximo passo é realizar o teste Tukey para identificar onde estão as diferenças. Os resultados do seu teste de Tukey mostram que todos os grupos são significativamente diferentes entre si, já que todos os *p adj* (0.0007843, 0.0000014 e 0.0000004) são muito inferiores a 0.05.

Os resultados da resistência à compressão dos tijolos foram analisados por análise de variância (ANOVA) e não revelou diferenças significativas entre os grupos (F (2.18) = 0.43, *p* = 0.66). Portanto, não há evidencias estatísticas para afirmar que as porcentagens de residuos de pneus influencia os valores da

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

resistência. No teste de Tukey, notou-se que todos os seus valores de p adj (0.94; 0.82; 0.63) são muito maiores que 0,05. Portanto, nenhuma das comparações é estatisticamente significativa. A análise estatística dos dados revela um comportamento distinto para as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos após a incorporação dos resíduos de pneus, ou seja, cada nível de substituição testado gera um impacto único e mensurável, tornando a absorção de água o principal fator de distinção entre os grupos. E confirma que a variação nas porcentagens de resíduos de pneus, dentro da faixa testada, não compromete nem melhora a integridade estrutural dos tijolos de forma significativa.

4.3 Ensaios Físicos e mecânicos nos tijolos de solo-cimento com e sem resíduo

4.2.3 Análise das dimensões dos tijolos solo-cimento

A ABNT NBR 8491:2012 estabelece que os tijolos solo-cimento podem ser fabricados nas seguintes dimensões padronizadas: tipo I – 200 × 100 × 50 mm ou tipo II – 240 × 120 × 70 mm, admitindo-se tolerância de até ±3 mm em cada dimensão, de modo a assegurar a uniformidade geométrica e a estabilidade dos elementos construtivos. Para a verificação dimensional, foram ensaiados três tijolos de cada formulação, considerando-se o limite máximo de variação de ±3 mm para comprimento, largura e altura. As medições realizadas nos tijolos solo-cimento, com e sem adição de resíduos de borracha de pneus, indicaram não conformidades em relação aos requisitos da ABNT NBR 8491:2012. Observou-se que as dimensões médias obtidas foram de 248.63 × 125.50 × 66.34 mm (Tabela 6). Esses resultados evidenciam a necessidade de aperfeiçoamento do processo produtivo, a fim de garantir maior controle dimensional. Verificou-se que a maior variação ocorreu na altura dos tijolos, possivelmente associada à regulagem manual da compactação na prensa utilizada, a qual influencia diretamente a espessura final das peças.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

Tabela 6 – Dimensões médias dos tijolos de solo-cimento para as amostras ensaiadas

% Resíduos	C (mm)	L	H
0%	249.62±0.20	125.43±0.07	66.00±0.50
5%	249.58±0.17	125.46±0.47	65.49±0.46
10%	249.71±0.42	125.62±0.42	67.54±0.43

Obs.: C = comprimento; L= largura; H = altura; DP = desvio padrão.

4.2.4 Ensaio de densidade aparente experimental do tijolo de solo-cimento

Os valores coerentes da densidade para os tijolos de solo-cimento, geralmente variam entre 1.7 e 2.2 de acordo com a ABNT NBR 12023:12. A densidade 2.07g/cm³ e 2.19 g/cm³ são consideradas excelentes para o tijolo solo-cimento. Esses valores indicam que o processo de prensagem foi eficiente e que a dosagem da mistura está bem ajustada. Quanto maior a densidade, menor é o volume de ar (vazios) dentro do tijolo. No solo-cimento, a compactação mecânica força as partículas de solo a se rearranjarem, preenchendo os espaços. Para uma densidade de 2.26 g/cm³ é, sem dúvida, considerável para o solo-cimento, posicionando-se no limite máximo (ou até um pouco acima) do que normalmente se observa em construções tradicionais. Quando um tijolo alcança essa densidade, ocorrem mudanças físicas e mecânicas relevantes que impactam seu desempenho com uma diminuição significativa da porosidade, sendo que a densidade apresenta uma relação inversa com a porosidade. Diante disso, quase todo o ar foi removido durante o processo de prensagem, o que faz com que as partículas de solo, resíduo e cimento estejam unidas, favorecendo as reações de hidratação do cimento. Além disso, uma maior densidade proporciona maior resistência à compressão e reduz a absorção de água, uma vez que a presença reduzida de poros dificulta a infiltração da água por capilaridade. Isso está em linha com os resultados obtidos nos testes de resistência à compressão e absorção de água para 5% de substituição de residuos de borrachas de pneus nos tijolos analisados neste estudo. A tabela 7 apresenta os resultados da densidade aparente do tijolo de solo-cimento.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

Tabela 7 – Densidade aparente dos tijolos de solo-cimento

Resíduos de borracha (%)	Densidade Média (g/cm³)
0%	2.07±0.01
5%	2.26±0.06
10%	2.19±0.01

4.3.1 Absorção de água e resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento

Os resultados resistência e absorção (Figura 15) indicam que a adição de 5% de resíduo de borracha atua como um elemento de otimização. Neste patamar, observou-se o maior valor de densidade aparente (2.26 g/cm³). Este aumento de massa por unidade de volume é o fator gerador dos benefícios subsequentes como maior resistência com uma estrutura mais densa e compacta, o tijolo suportou melhor as cargas, superando os 2.0 MPa exigidos pela norma. Menor Absorção a densidade elevada implica em menos espaços vazios, o que resultou na menor taxa de absorção de água (8.97%), garantindo maior durabilidade e proteção contra a degradação por umidade. Ao elevar o teor de borracha para 10%, ocorre uma inversão de tendência, evidenciando o limite de saturação do resíduo na matriz de solo-cimento. A Queda na Densidade devido à baixa densidade específica da borracha e ao seu comportamento elástico, o tijolo torna-se mais leve e menos compactado. Durante a prensagem, a borracha sofre deformação elástica e, ao aliviá-la, gera microfissuras internas. Essas microfissuras e o aumento da porosidade explicam por que a resistência caiu para 1.70 MPa (abaixo do limite normativo) e a absorção de água disparou para 17.62%. A água encontra um caminho livre através dos vazios criados pela falta de aderência entre a borracha (material hidrofóbico) e a pasta de cimento.

A estatística de Tukey confirmou que o grupo de 5% é um ponto fora da curva positivo para a absorção. Fisicamente, isso ocorre porque o resíduo, nesta proporção, preenche os vazios da matriz solo-cimento sem comprometer a coesão. O resultado é o tijolo mais denso, o que mecanicamente garante o cumprimento da

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

norma (> 2Mpa) e estatisticamente garante a menor permeabilidade. A inversão de tendência observada em 10% explica o valor de extremamente baixo na ANOVA de absorção. A deformação elástica da borracha durante a prensagem atua como um agente disruptor. Ao retornar à forma original pós-prensagem, a borracha rompe as ligações incipientes da pasta de cimento, criando microfissuras (Arumugam e Rajendran, 2025; Youssf, Hassanli e Mills,2019). Para a absorção, isso é fatal: a água penetra facilmente, gerando a diferença estatística altamente significativa. Para a resistência, embora o valor médio tenha caído para 1.70 Mpa, a ANOVA sugere que a dispersão dos dados ou a magnitude da diferença em relação ao controle não permite afirmar que essa queda foi causada exclusivamente pelo resíduo (podendo ser variabilidade intrínseca do processo de fabricação).

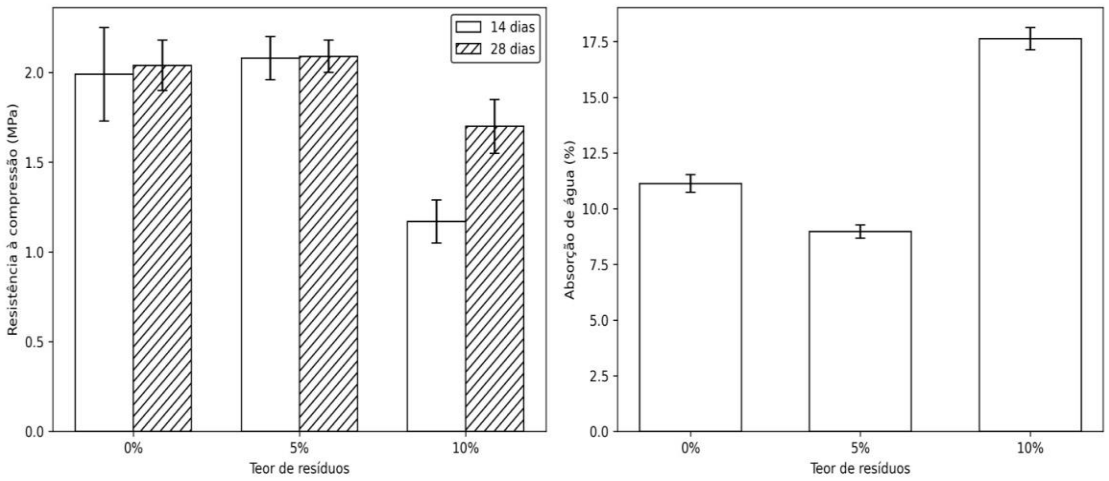


Figura 15 – Gráfico com os resultados do ensaio de absorção de água e resistência à compressão

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

5. Conclusão

O uso de resíduo de borracha de pneu em tijolos solo-cimento é tecnicamente viável e benéfico em baixas dosagens (até 5%), onde o resíduo auxilia no empacotamento das partículas. No entanto, dosagens mais altas (10%) comprometem a segurança estrutural e a durabilidade do material, tornando-o inadequado para funções de suporte de carga conforme as normas técnicas vigentes. A análise estatística (ANOVA) e os ensaios físico-mecânicos nos ajudam a entender exatamente resultados. Por fim, os resultados obtidos reforçam a relevância do desenvolvimento de soluções construtivas sustentáveis, capazes de aliar desempenho técnico, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental, em consonância com os princípios da economia circular e da engenharia de materiais aplicada à construção civil.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica – procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo solo-cimento. Rio de Janeiro, 2013.

ASSAAD, Rami; EL-ADAWAY, Islam Hassan. Enhancing the Performance of Construction Projects through Circular Economy: Quantitative Analysis of Costs and Benefits. *Journal of Management in Engineering*, v. 40, n. 2, 2024. DOI: 10.1061/JMENEA.MEENG-5600.

ADAZABRA, L. K.; VIRANE, G. L.; KWADWO, G. S.; GAVOR, J. K.; OWUSU, I. K. G. Red Clay as a Raw Material for Sustainable Masonry Composite Ceramic Blocks. Sustainability, v. 17, n. 15, p. 6852, 2025.

ARUMUGAM, S.; RAJENDRAN, S. A Comprehensive Review of Natural Rubber Composites: Properties, Compounding Aspects, and Renewable Practices. *Journal of Polymers and the Environment*, *33* (3), 1150-1175, 2025. DOI: 10.32604/jrm.2024.057248.

BANDEIRA, F. O. Estudo da resistência ao cisalhamento de misturas de solo argiloso com resíduo de borracha de pneus. Chapecó: Universidade Federal da Fronteira do Sul, 2016.

CID-FALCETO, J.; MONTAÑÉS, J. L.; VILLACAMPA, L.; CASTELLANO, S. Influence of clay mineralogy on the mechanical and physical properties of compressed earth blocks. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 342, part A, p. 128038, 2022.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

CRUZ, A. P.; GOMES, J. C. C.; SOUZA, V. P. Caracterização tecnológica de solos (litologias pelíticas) para uso na indústria de cerâmica vermelha. Geologia USP. Série Científica**,** São Paulo, v. 22, n. 2, p. 55-68, 2022.

CONTO, Vinícius; OLIVEIRA, Márcio Luiz; RUPPENTHAL, Janaina Elisa. Certificações Ambientais: Contribuição à Sustentabilidade na Construção Civil no Brasil. *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 12, n. 4, p. 100–127, 2017.

BRASIL. Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN). Estatísticas de Trânsito: Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito (RENAEST). Brasília, DF: SENATRAN, 2024.

EUPHROSINO, P. N. et al. Análise comparativa do impacto ambiental entre o tijolo de solo-cimento e a cerâmica vermelha: uma revisão bibliográfica. [S. l.]: [s. n.], 2021.

FERNANDES, J., MATEUS, R., SILVA, S. M., & BRAGANÇA, L. The Role of Thermal Mass in the Sustainable Performance of Earth-Based Buildings. *Sustainability*, 14(10), 5847, 2022.

FERREIRA, G. S.; JARA, A. J. D. Análise da incorporação de resíduos de borracha de pneus em tijolos de solo-cimento para habitação de interesse social. Revista Matéria, v. 26, n. 2, e12984, 2021. DOI: 10.1590/S1517-707620210002.1284

FONTES, Tiago I. M. Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 de fabrico nacional – Otimização de características com resíduo cerâmico e metacaulino. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

FRAGA, Y. S. B. et al. Tecnologia dos materiais: utilização de tijolo de solo-cimento na construção. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE*, v. 3, n. 3, p. 11–22, 2016.

GOMES, M. S.; DE MARCO, G. A Construção civil e seus resíduos. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, v. 2, n. 1, p. 1–15, 2021.

GOMES, R. M. Desenvolvimento de tijolo-ecológico com incorporação de resíduos de borracha de pneu. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2018.

HUSSAIN, M.; JAMEEL, M. T.; AL-NUAIMI, A. S. Mechanical and durability performance of eco-friendly bricks containing fine crumb rubber as partial sand replacement: A microstructural and physical evaluation. Journal of Building Engineering, v. 82, 108255, 2024. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.108255.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

HANG, L. et al. Enhancing the interfacial bond of rubber-cement matrix through chemical treatments and pozzolanic coating. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, p. 1–14, 2025.

KADIR, A. A. A.; SARANI, N. A.; AHMAD, S. S.; SOON, C. F. Influence of quartz and silica sand on the physical and mechanical properties of sustainable fired clay bricks. Journal of Building Engineering, v. 82, p. 108253, 2024.

KOUL, S. et al. Feasibility study of using recycled fresh concrete waste as coarse aggregates in concrete. *Construction and Building Materials*, v. 28, n. 1, p. 549–556, 2012.

LI, Xiaofeng; WANG, Yong. Modification of waste tire rubber with acrylic polymers for high-performance structural concrete. *Journal of Building Engineering*, v. 82, p. 108–125, 2024.

LI, Yong et al. Environmental impact and leaching behavior of heavy metals from waste tire rubber in road construction. *Journal of Cleaner Production*, v. 363, p. 132414, 2022.

MARQUES, C. R. et al. Avaliação da gestão de resíduos gerados em marmoraria: estudo de caso aplicado em Maringá. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*, n. 24, p. 1–19, 2020.

MATUTI, Bruno B. B.; SANTANA, Gerson P. Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de tijolo cerâmico – uma revisão. *Scientia Amazonia*, v. 8, n. 1, p. E1–E13, 2019.

MELO, V. F.; MARQUES, R.; PINTO, L. C.; BATISTA, A. H. Mineralogia do Solo. 2. ed. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Estadual Paraná, p. 670, 2020.

NASCIMENTO, A. M.; FEITOSA, A. O.; ALMEIDA, T. S. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. *Interscientia*, v. 6, n. 1, 2018.

NASCIMENTO, L. P. C. et al. Secagem de tijolos cerâmicos argilosos industriais: uma investigação teórica usando modelos concentrados. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10064.

NASCIMENTO, J. G.; SANTOS, L. S.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, F. A.; FERREIRA, P. H. Tijolos de solo-cimento: uma análise sobre a viabilidade econômica como alternativa sustentável para a construção civil. Caderno Pedagógico, Curitiba, v. 21, n. 12, p. 1-22, 2024.DOI: 10.54033/cadpedv21n12-001.

PATRICIO, S. M. R. et al. Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil. *Cerâmica*, v. 59, n. 349, 2013.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 25/02/2026
Vol: 02.03
DOI: 10.66104/cgy7c865
Pages: 1-29

RIBEIRO, M. C. S. et al. Sustainable recycling of waste tire rubber: A review of chemical treatments and composite applications. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 190, p. 106841, 2023.

RIBEIRO, V. A. et al. Investigação das propriedades do concreto convencional com adição de resíduos de pneu e metacaulim. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, 2021.

RODRIGUES, Luciano S.; FERNANDES, André C. A utilização de tijolos ecológicos em habitações: uma alternativa viável no mercado da construção civil. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, v. 18, n. 54, 2025.

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M. Structural behavior of rubberized masonry walls. *Journal of Cleaner Production*, v. 89, p. 174–186, 2015.

SAMPAIO, Gabriela S.; NUNES, Igor E. S. Estudo interdisciplinar da viabilidade de tijolos de solo-cimento na construção civil. *Caderno de Graduação - UNIT - SERGIPE*, v. 4, n. 2, p. 11–22, 2017.

SANTOS, R. J. et al. Utilização de resíduos de borracha de pneus na fabricação de tijolos de solo-cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, p. 9, 2018.

SILVA, Luiz O.; SANTOS, N. G.; SAVARIS, W. K. Tijolos Solo-Cimento: Fabricação e Utilização em Construções que visam o Equilíbrio Ambiental. *Revista Conexão Eletrônica*, v. 15, n. 1, p. 446–455, 2018.

SILVA, T. R.; AZEVEDO, A. R. G.; CECCHIN, D.; MARVILA, M. T.; AMRAN, M.; FEGYVERES-TOTH, F. E.; PROIETTI, S.; KHAN, M. I. Improving the mechanical, thermal and durability properties of compressed earth blocks (CEBs) by incorporating industrial waste and by-products: A review. Construction and Building Materials, v. 440, 137424, 2024.DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137424.

YOUSSF, O.; HASSANLI, R.; MILLS, J. E. Mechanical performance of novel self-compacting rubberized concrete. Journal of Cleaner Production, v. 208, p. 1421-1439, 2019.DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.155.

HU, YUSHA; YU, XIAOPING; REN, JINGZHENG; ZENG, ZHIQIANG; QIAN, QIMING. Waste tire valorization: Advanced technologies, process simulation and optimization, and sustainability assessment." Science of The Total Environment, vol. 951, 175483,2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175483.

ZHANG, Meng. et al. Effect of clay content on the mechanical properties and microstructure of soil-cement. *Construction and Building Materials*, v. 263, p. 120612, 2020.