

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
***CAMPUS* PATOS**
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ VALDISTÉLIO GARCIA JUNIOR

**TIJOLOS MODULARES DE PÓ DE PEDRA E CIMENTO: UMA ALTERNATIVA
AO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**

PATOS - PB
2025

JOSÉ VALDISTÉLIO GARCIA JUNIOR

**TIJOLOS MODULARES DE PÓ DE PEDRA E CIMENTO: UMA ALTERNATIVA
AO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador (a): Profa. Ms. Maria Silva Freitas.

**PATOS - PB
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

G216t Garcia Junior, José Valdistélio.

Tijolos modulares de pó de pedra e cimento: uma alternativa
ao tijolo de solo-cimento / José Valdistélio Garcia Junior. - Patos,
2025

32 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus
Patos-PB, 2025.

Orientador(a): Profa. Ms. Maria Silva Freitas.

1. Materiais de construção-materiais alternativos 2. Tijolo
modular de solo-cimento 3. Construção civil-sustentabilidade
I.Título II. Calado, Clara Mariana Barros III.Instituto Federal da
Paraíba

CDU –691

JOSÉ VALDISTÉLIO GARCIA JUNIOR

**TIJOLOS MODULARES DE PÓ DE PEDRA E CIMENTO: UMA ALTERNATIVA
AO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Civil.

APROVADO EM: ____/____20__

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Maria Silva Freitas - Orientadora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Prof. Me. Valteson da Silva Santos - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Prof. Dr. Heber Macel Tenório Vasconcelos - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Dedico este trabalho ao meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, fonte de toda inspiração e força,
reconhecendo que a oportunidade de concluir este curso foi um milagre e uma bênção
concedida por Ele.

*“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o
SENHOR, o seu Deus, estará com você por onde você andar”*

(Josué 1:9)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Senhor Jesus Cristo, pois foi Ele quem tornou este sonho possível. Quando tudo indicava que não daria certo, o Senhor abriu portas e me sustentou em cada etapa desta caminhada.

Agradeço à minha esposa, Regina, por seu amor, paciência e apoio incondicional — sem ela, esta conquista não teria sido possível. Ao meu filho, Isaque, por compreender minha ausência em tantos momentos e por ser uma motivação constante para seguir em frente.

Deixo também um agradecimento especial à minha mãe (in memoriam), cujo legado de criatividade e inovação levarei para toda a vida, e ao meu pai, exemplo de inteligência, trabalho e perseverança, que sempre me inspirou.

Expresso minha gratidão à professora Maria Silva Freitas, minha orientadora, pelo acompanhamento e pelas contribuições valiosas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ainda aos excelentes professores que compartilharam seus conhecimentos com excelência ao longo do curso, bem como aos coordenadores que estiveram à frente da graduação durante minha trajetória. Registro, em especial, minha gratidão ao professor Guilherme, à professora Hannah e ao professor Valteson, profissionais cuja dedicação e paixão pelo ensino são verdadeiras inspirações.

Agradeço também ao técnico de laboratório, Wendel, pelo suporte essencial e pela disponibilidade durante todas as etapas de realização deste trabalho.

Por fim, sou grato aos meus colegas de curso pelo apoio, parceria e troca de experiências que tornaram essa caminhada mais leve, enriquecedora e significativa.

RESUMO

O uso de materiais alternativos na construção civil tem se destacado como estratégia eficaz para reduzir custos e impactos ambientais. Nesse contexto, o tijolo modular de solo-cimento surge como uma solução sustentável, unindo praticidade e eficiência. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico e mecânico de tijolos modulares produzidos com pó de brita em substituição integral ao solo natural, verificando sua conformidade com os parâmetros da ABNT NBR 8491:2012. Foram confeccionadas amostras em prensa manual, utilizando cimento CP II F 32 RS, nos traços 1:7, 1:8 e 1:9 (cimento : pó de brita). Os tijolos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples aos 14 e 28 dias de cura e a ensaios de absorção de água aos 28 dias. Os resultados indicaram resistências médias de 2,54 MPa, 2,41 MPa e 2,06 MPa, respectivamente, atendendo aos limites mínimos normativos de 2,0 MPa. O índice médio de absorção variou entre 12,68% e 13,12%, situando-se abaixo do limite máximo de 20% estabelecido pela norma. Conclui-se que a utilização do pó de brita como substituto integral do solo é tecnicamente viável, contribuindo para a sustentabilidade e para a valorização de resíduos da mineração, configurando-se como alternativa promissora para a produção de tijolos modulares em pequena e média escala.

Palavras-chave: tijolo modular; pó de brita; cimento; sustentabilidade; construção civil.

ABSTRACT

The use of alternative materials in civil construction has emerged as an effective strategy to reduce costs and environmental impacts. In this context, the modular soil-cement bricks stand out as a sustainable solution that combines practicality and efficiency. This study aimed to evaluate the physical and mechanical performance of modular bricks using crushed stone powder as a total replacement for natural soil, verifying their compliance with the requirements established by ABNT NBR 8491:2012. The samples were manually pressed using CP II F 32 RS cement, with mix ratios of 1:7, 1:8, and 1:9 (cement: crushed stone powder). The bricks were subjected to compressive strength tests at 14 and 28 days of curing and water absorption tests at 28 days. The results indicated average compressive strengths of 2.54 MPa, 2.41 MPa, and 2.06 MPa, respectively, all meeting the minimum normative limit of 2.0 MPa. The average water absorption index ranged from 12.68% to 13.12%, remaining below the maximum limit of 20% established by the standard. It is concluded that the use of crushed stone powder as a full substitute for natural soil is technically feasible, contributing to sustainability and the valorization of mining residues, representing a promising alternative for small- and medium-scale modular brick production.

Keywords: modular brick; crushed stone powder; cement; sustainability; civil construction.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Fluxograma das etapas experimentais | 18 |
| Figura 2 - Curva granulométrica. | 20 |
| Figura 3- Dimensões do tijolo modular. | 21 |
| Figura 4 - Registro da etapa de produção dos tijolos. | 22 |
| Figura 5 - Cura dos tijolos. | 23 |
| Figura 6 - Preparação dos corpos de prova: amostras cortadas ao meio (a), amostra antes do ensaio de resistência à compressão (b) e após ruptura (c). | 24 |
| Figura 7 - Amostras na estufa | 25 |
| Figura 8 - Pesagem da amostra seca | 25 |
| Figura 9 - Pesagem da amostra saturada. | 25 |
| Figura 10 - Valores médios de resistência à compressão (MPa) por traço aos 14 e 28 dias. | 27 |
| Figura 11 - Gráfico das médias dos índices de absorção de água para os traços 1:7, 1:8 e 1:9. | 28 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Distribuição das amostras por traço e tipo de ensaio..... | 23 |
| Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão simples (MPa) | 26 |
| Tabela 3 - Resultados de absorção de água (%). | 28 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 OBJETIVOS..... | 15 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 16 |
| 3.1 TIJOLOS MODULARES E O SOLO-CIMENTO..... | 16 |
| 3.2 O PÓ DE BRITA COMO AGREGADO ALTERNATIVO | 17 |
| 3.3 SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 17 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 18 |
| 4.2 VARIÁVEIS DE ESTUDO | 18 |
| 4.2.1 Variáveis Independentes (Controladas) | 18 |
| 4.2.2 Variáveis Dependentes (Mensuradas)..... | 18 |
| 4.3 MATERIAIS..... | 20 |
| 4.3.1 Materiais Utilizados | 20 |
| 4.3.2 Equipamentos e Instrumentos | 21 |
| 4.3.3 Produção dos tijolos | 21 |
| 4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL..... | 23 |
| 4.4.1 Preparação dos Corpos de Prova para o ensaio de Resistência à Compressão..... | 24 |
| 4.4.2 Ensaio de Absorção de Água | 25 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 26 |
| 5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES | 26 |
| 5.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA | 28 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 29 |
| REFERÊNCIAS | 31 |

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais consomem recursos naturais e geram grande volume de resíduos (SILVA *et al.*, 2014; JOHN; AGOPYAN, 2000). A busca por soluções construtivas sustentáveis tem incentivado a pesquisa e o desenvolvimento de materiais alternativos que conciliam desempenho técnico, viabilidade econômica e menor impacto ambiental. Nesse cenário, o tijolo modular tem se destacado como alternativa construtiva eficiente, oferecendo benefícios como maior rapidez de execução, menor consumo de argamassa e racionalização do uso de materiais.

O tijolo modular vem ganhando espaço nas construções modernas, principalmente pela sua eficiência de encaixe e a facilidade de manuseio o que contribui para a racionalização do processo construtivo e a redução do consumo de argamassa (EMBRAPA, 2000; SIQUEIRA *et al.*, 2016). O tijolo modular mais difundido no Brasil é o do tipo solo-cimento, regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 8491:2012. que estabelece requisitos de resistência à compressão e absorção de água. O desempenho mecânico de tijolos à base de cimento depende da proporção de ligante, da granulometria dos agregados e da compactação do material, fatores que influenciam diretamente na resistência e na durabilidade, Sousa (2018).

Estudos têm investigado alternativas à mistura tradicional solo-cimento. Fonseca *et al.* (2024) analisaram a resistência e durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com solo da região de Tucuruí-PA, mostrando que diferentes teores de cimento impactam fortemente as propriedades mecânicas. Siqueira *et al.* (2016) estudaram a incorporação de resíduos na produção de tijolos prensados manualmente, verificando alterações significativas na resistência e absorção de água. Entretanto, a substituição do solo por pó de brita, resíduo abundante da atividade mineradora, ainda carece de estudos que comprovem sua viabilidade técnica.

Considerando que o pó de brita pode se constituir de diversas granulometrias, mas que, apesar disso, pode atuar como agregado fino em conjunto com o cimento na produção de tijolos modulares, torna-se relevante investigar a viabilidade técnica dessa composição frente aos requisitos normativos estabelecidos na NBR 8491:2012. A utilização desse resíduo, pó de pedra granítica, como insumo na fabricação de tijolos modulares representa uma oportunidade de agregar valor a um subproduto frequentemente descartado ou subutilizado. Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho de tijolos modulares confeccionados com pó de brita e cimento, verificando sua conformidade com os parâmetros normativos estabelecidos para os tijolos de solo-cimento. Desse modo, buscou-se promover práticas comprometidas com os princípios da economia circular, logo, contribuir para a redução dos impactos ambientais da construção civil.

Como será possível observar, este trabalho de conclusão de curso está organizado em três seções: fundamentação teórica, onde são compreendidos conceitos, aspectos e funções atribuídas aos tijolos modulares e o solo-cimento, ao pó de brita como agregado alternativo, e, à sustentabilidade na construção civil; materiais e métodos, no qual se apresentam a perspectiva metodológica, os parâmetros de análise e os procedimentos adotados; e, resultados e discussões, onde estão descritas as análises e as constatações desta pesquisa.

2. 2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de tijolos modulares confeccionados com pó de brita e cimento, verificando sua conformidade com os parâmetros normativos (NBR 8491:2012) para tijolos de solo-cimento, com foco na resistência à compressão e na absorção de água.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Analisar as variáveis relacionadas a diferentes dosagens de cimento utilizadas no preparo dos corpos de prova em prensa manual;
- Comparar os resultados obtidos com os parâmetros estabelecidos pela NBR 8491:2012, de modo a avaliar a viabilidade técnica do uso do pó de brita como principal material na confecção de tijolos modulares.
- Avaliar o desempenho de tijolos modulares de pó de brita e cimento, produzidos com os traços de 1:7, 1:8 e 1:9, conforme requisitos de resistência à compressão e absorção de água da NBR 8491:2012.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A busca por materiais alternativos e sustentáveis tem se tornado uma prioridade nas pesquisas da área, com o objetivo de reduzir impactos ambientais e otimizar o uso de insumos (JOHN; AGOPYAN, 2000). A adoção de tecnologias construtivas baseadas em materiais recicláveis e de baixo custo é uma estratégia que reforça o compromisso da Engenharia Civil com a sustentabilidade e a eficiência produtiva.

3.1 TIJOLOS MODULARES E O SOLO-CIMENTO

Os tijolos modulares de solo-cimento surgiram nesse contexto como uma alternativa tecnológica sustentável à alvenaria convencional. Esse tipo de elemento é produzido a partir da mistura de solo, cimento e água, sendo moldado e compactado sob pressão. Essa característica dispensa o processo de queima, o que reduz o consumo energético na fabricação (SIQUEIRA *et al.*, 2016). Essa particularidade confere ao sistema construtivo um menor impacto ambiental, além de possibilitar maior economia na execução das edificações.

A ABNT NBR 8491:2012 estabelece os parâmetros mínimos de desempenho para esses blocos, especificando valores de resistência à compressão não inferiores a 2,0 MPa e índices máximos de absorção de água de até 20%. Tais exigências normativas são cruciais para garantir a durabilidade e a segurança dos elementos construtivos, especialmente em alvenarias de vedação e resistência moderada.

Além disso, Fonseca *et al.* (2024) e Siqueira *et al.* (2016) ressaltam que o desempenho mecânico e físico dos tijolos de solo-cimento depende fortemente da proporção entre solo e cimento, da granulometria dos agregados e da compactação aplicada. Esses fatores influenciam diretamente na resistência à compressão e na absorção de água, parâmetros essenciais para o atendimento às normas técnicas vigentes.

Estudos como o de Araújo (2019) e Siqueira *et al.* (2016) indicam que variações na composição dos materiais e nas condições de cura podem impactar significativamente o comportamento mecânico dos tijolos modulares. Esses resultados são coerentes com os princípios fundamentais da tecnologia dos materiais cimentícios (BAUER, 2012), sendo aplicáveis a qualquer tipo de tijolo modular produzido com ligante hidráulico. Esses autores enfatizam a importância de seguir critérios normativos e de controle tecnológico rigoroso durante a produção, de modo a garantir o desempenho e a uniformidade do produto final.

3.2 O PÓ DE BRITA COMO AGREGADO ALTERNATIVO

O pó de brita é um subproduto da britagem de rochas, gerado em grande volume nas pedreiras e, em muitos casos, descartado inadequadamente no meio ambiente. Devido à sua granulometria fina e elevada disponibilidade, esse material tem sido estudado como substituto parcial ou total do solo em misturas cimentícias (RIBEIRO; LIMA; NEVES, 2016).

A incorporação de frações de pó de brita em blocos de concreto contribui para a melhoria da resistência mecânica e para a redução da absorção de água, desde que a dosagem de cimento seja ajustada para garantir coesão e estabilidade (RIBEIRO; LIMA; NEVES, 2016). Sales e Lima (2011) confirmam essa tendência em blocos de solo-cimento, destacando que misturas com teores adequados de cimento (em torno de 8 a 10%) apresentaram desempenho compatível com os limites da NBR 8491:2012. Esses autores também apontam que o uso do pó de brita pode reduzir o consumo de solo natural e o impacto ambiental das obras, além de agregar valor a um resíduo frequentemente negligenciado. Essa prática, segundo John e Agopyan (2000), está alinhada aos princípios da construção sustentável e da economia circular, que visam a reintrodução de materiais residuais nos ciclos produtivos.

3.3 SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O uso de subprodutos industriais e minerários na produção de materiais de construção tem ganhado destaque como estratégia de inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental. Segundo Bauer (2012), a evolução dos materiais na construção civil está diretamente associada à capacidade de adequar produtos tradicionais às novas exigências de desempenho, economia de recursos e responsabilidade ambiental. Nesse contexto, o pó de brita, subproduto gerado em grande volume durante o processo de britagem de rochas, apresenta-se como um insumo alternativo com elevado potencial de aproveitamento.

Devido à sua granulometria fina e composição estável, esse material pode atuar como substituto total ou parcial de agregados naturais em múltiplas aplicações, reduzindo a demanda por recursos primários e promovendo a valorização de um subproduto mineral, ao destiná-lo a um emprego de maior relevância técnica no âmbito da construção civil. Pesquisas como as de Ribeiro, Lima e Neves (2016) e Sales e Lima (2011) demonstram que o pó de brita pode melhorar características como compacidade e resistência em produtos cimentícios, desde que adotadas proporções adequadas de ligante. Nessa perspectiva, o aproveitamento do pó de brita na fabricação de tijolos modulares pode ser entendido como uma alternativa construtiva sustentável.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, descrevem-se os procedimentos adotados para a produção, cura e ensaio dos tijolos modulares vazados, detalhando os materiais, equipamentos, traços utilizados e métodos de caracterização. A sequência metodológica seguida no estudo está sintetizada no fluxograma apresentado na figura 1, o qual organiza visualmente as etapas executadas, garantindo clareza, reprodutibilidade e conformidade com os requisitos normativos.

Figura 1 - Fluxograma das etapas experimentais



Fonte: Autor (2025).

4.2 VARIÁVEIS DO ESTUDO

4.2.1 Variáveis Independentes (Controladas)

- Traço da mistura: proporções de cimento e pó de brita utilizadas, sendo analisados três traços distintos — 1:7, 1:8 e 1:9 (cimento: pó de brita).
- Tempo de cura: dois períodos de cura adotados — 14 dias e 28 dias — conforme as normas técnicas aplicáveis para blocos de concreto e solo-cimento.
- Tipo de material ligante: utilização do cimento Portland composto CP II F 32 RS, da marca MIZU, constante em todos os traços.

4.2.2 Variáveis Dependentes (Mensuradas)

- Módulo de finura (M_f)

A distribuição granulométrica do material foi determinada conforme a ABNT NBR 17054:2022, que estabelece o procedimento para análise granulométrica de agregados miúdos e grãos por peneiramento. A partir dos resultados obtidos, calculou-se o módulo de finura (M_f), índice representativo do grau de finura do material, conforme a Equação 1:

$$M_f = \frac{\sum \text{percentuais retidos acumulados}}{100} \quad \text{Equação 1}$$

O módulo de finura expressa a proporção relativa das partículas retidas nas peneiras padronizadas. Valores mais baixos de M_f indicam agregados mais finos, enquanto valores mais altos correspondem a agregados mais grossos. Segundo Neville (2016) e Mehta e Monteiro (2014), agregados com M_f compreendido entre 2,2 e 2,9 são classificados como médios, apresentando bom equilíbrio entre trabalhabilidade, compacidade e resistência, sendo adequados à produção de argamassas, concretos e blocos prensados.

- Resistência à compressão (MPa)

A resistência à compressão foi determinada por meio de ensaio mecânico realizado em prensa hidráulica, de acordo com a ABNT NBR 8492:2013, com o objetivo de avaliar o desempenho estrutural dos tijolos após os períodos de cura. A resistência à compressão (f_c) foi obtida pela Equação 2:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

f_c = resistência à compressão (MPa);

F = carga máxima aplicada até a ruptura (N);

A = área da superfície de aplicação da carga (mm²).

- Absorção de água (%)

O ensaio de absorção de água foi conduzido conforme a ABNT NBR 8492:2013, por imersão total dos corpos de prova durante 24 horas, após secagem em estufa e pesagem subsequente. O índice de absorção (A) foi calculado segundo a Equação 3:

$$A = \left(\frac{M_s - M_d}{M_s} \right) \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que: A = absorção de água (%);

M_s = massa do corpo de prova saturado (g);

M_d = massa do corpo de prova seco (g).

Os resultados foram posteriormente comparados aos limites estabelecidos pela ABNT NBR 8491:2012, que define os valores mínimos de resistência e máximos de absorção para tijolos e blocos de solo-cimento. A tabela 1 descreve todas as variáveis estudadas.

4.3 MATERIAIS

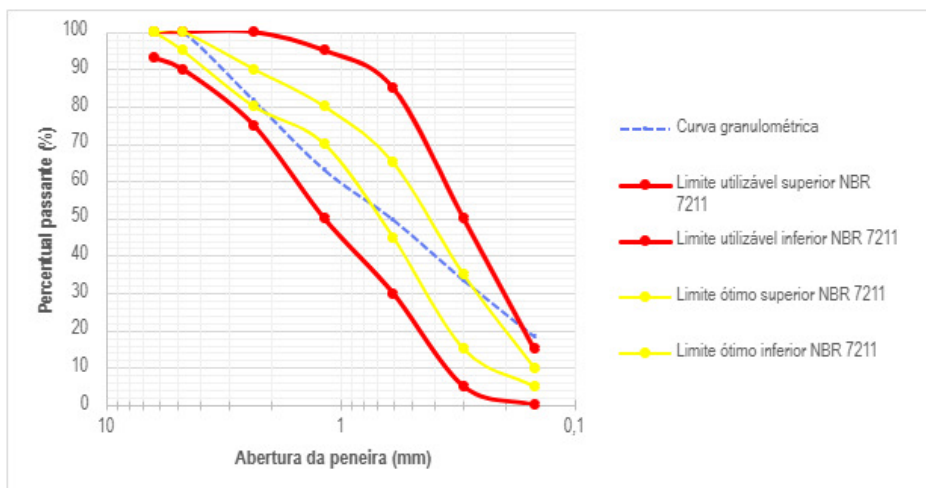
4.3.1 Materiais Utilizados

Cimento Portland CP II F 35 RS, pó de rocha granítica e água da concessionária local foram usados para produzir os blocos de pó de pedra comprimidos modulares. O cimento Portland composto, CP II F 32 RS, foi escolhido por apresentar boa trabalhabilidade e resistência, além da ausência de adições minerais (0%), essa característica contribui para maior uniformidade e reduz a interferência nos resultados experimentais.

A distribuição granulométrica do pó de pedra (Figura 1) foi obtido com o uso de peneiras da série normal, de 4,5 mm ao fundo, (ABNT NBR 17054:2022). O pó foi empregado como substituto integral do solo. O módulo de finura (Mf) obtido foi de 2,54 e DMC de 4,75 mm. Segundo Neville (2016) e Mehta e Monteiro (2014), um material adequado para a produção de blocos prensados, destaca-se pela sua dimensão máxima característica (DMC) do agregado de 4,75 mm.

Na Figura 2 observa-se que a curva granulométrica pó de brita se encontra predominantemente dentro dos limites ótimos estabelecidos pela NBR 7211.

Figura 2 - Curva granulométrica.



Fonte: Autor (2025).

4.3.2. Equipamentos e Instrumentos

- Betoneira de 200 L (marca CSM): utilizada para homogeneização das misturas, garantindo distribuição uniforme dos materiais.
- Prensa manual (marca Verde Equipamentos): responsável pela moldagem e compactação dos tijolos modulares, assegurando dimensões padronizadas e densificação adequada.
- Prensa hidráulica de compressão: utilizada para o ensaio de resistência à compressão simples, conforme recomendações da ABNT NBR 8492:2013.
- Peneiras metálicas padronizadas: utilizadas para a caracterização granulométrica do pó de brita.
- Balança digital de precisão: utilizada para pesagem dos materiais e determinação das massas específicas.
- Paquímetro: utilizado para aferição das dimensões geométricas dos tijolos.
- Estufa elétrica: empregada para secagem das amostras nos ensaios de absorção de água.
- Pás, baldes dosadores e carrinho de mão: utilizados no manuseio e transporte dos materiais durante o processo de mistura e prensagem.

4.3.3 Produção dos tijolos

Foram produzidas 75 unidades de tijolos modulares vazados, com dimensões de 12,5 cm × 25,0 cm × 6,6 cm (Figura 3), divididas igualmente entre três traços de cimento distintos: 1:7, 1:8 e 1:9 (cimento: pó de brita, em volume).

Figura 3 - Dimensões do tijolo modular



Fonte: Adaptado de Google (2025).

A seleção desta faixa de traços baseou-se em práticas convencionais de produção de tijolos ecológicos, que demonstram a influência da dosagem de ligante nas propriedades

mecânicas do produto final (MELO *et al.*, 2023). Fabricantes de máquinas e equipamentos, como a Verde Equipamentos (2020), confirmam que a variação do traço é uma prática comum para ajustar as características dos tijolos, como a resistência, em função da matéria-prima disponível. O uso de traços variados permite analisar a relação entre o teor de cimento e o desempenho dos tijolos, investigando a otimização da dosagem para conciliar requisitos técnicos e viabilidade econômica. Além disso, a literatura especializada em solo-cimento reforça que o desempenho mecânico depende da proporção de ligante, granulometria e compactação, Bauer (2012).

A mistura dos materiais foi realizada em betoneira de 200 L da marca CSM (Figura 4), garantindo a homogeneização completa do composto. Inicialmente, foram adicionados os materiais secos (cimento e pó de brita) e, posteriormente, a água, em quantidade suficiente para proporcionar uma consistência adequada à prensagem. O controle da umidade foi feito por observação empírica, de modo que a mistura atingisse plasticidade e coesão suficientes para ser moldada sem segregação ou excesso de água, esse método consiste em comprimir uma amostra da mistura na palma da mão: o teor ideal de umidade é atingido quando a amostra forma um torrão coeso e estável, que não esfarela ao ser solto de uma altura de aproximadamente um metro e que, ao mesmo tempo, não apresenta excesso de água que exsudaria sob pressão. Após o preparo da mistura, o material foi moldado em prensa manual da marca Verde Equipamentos, formando tijolos modulares vazados com dimensões de 12,5 cm × 25,0 cm × 6,6 cm (Figura 4). Durante o processo, buscou-se manter pressões e tempos de prensagem constantes, assegurando a uniformidade dos corpos de prova. Cada tijolo foi identificado e numerado de acordo com o traço correspondente, para controle das amostras.

Figura 4 - Registro da etapa de produção dos tijolos.



Fonte: Autor (2025).

Os tijolos foram submetidos a processo de cura natural ao ar e mantidos úmidos pelos primeiros sete dias, conforme se observa na figura 5, protegidos da incidência direta do sol e da

chuva, durante os períodos de 14 e 28 dias. Essa etapa teve como finalidade garantir o desenvolvimento adequado das reações de hidratação do cimento, assegurando o ganho progressivo de resistência mecânica.

Figura 5 - Cura dos tijolos.



Fonte: Autor (2025).

4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Treze blocos de cada traço foram selecionados para ensaios laboratoriais (totalizando 39 tijolos), enquanto as demais permaneceram como reserva técnica. As amostras foram submetidas aos ensaios de resistência à compressão em duas idades distintas, 14 e 28 dias de cura e absorção de água, aos 28 dias. A escolha do prazo de 14 dias de cura se justifica, pois, após esse período, os tijolos já apresentam resistência suficiente para o transporte e início de uso em obra, embora a resistência total só seja atingida aos 28 dias (EMBRAPA SOLOS, 2000). A resistência de referência final é estabelecida aos 28 dias, conforme as diretrizes gerais para produtos de solo-cimento (NBR 8491 e NBR 8492).

A produção de um número superior de amostras teve como finalidade permitir a seleção aleatória dos corpos de prova, garantindo maior representatividade estatística dos resultados e minimizando variações decorrentes do processo de prensagem manual, homogeneização da mistura e condições de cura. A Tabela 1 apresenta a distribuição detalhada das amostras de tijolos modulares utilizadas em cada traço experimental, bem como o número de corpos de prova destinados a cada tipo de ensaio e idade de cura.

Tabela 1 - Distribuição das amostras por traço e tipo de ensaio.

| Traço Cimento: Pó de pedra | Nº de amostras | Ensaio de resistência à compressão | | Ensaio de absorção de água |
|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|---------|----------------------------|
| | | 14 dias | 28 dias | 28 dias |
| 1:7 | 25 | 5 | 5 | 3 |
| 1:8 | 25 | 5 | 5 | 3 |
| 1:9 | 25 | 5 | 5 | 3 |

Fonte: Autor (2025).

4.4.1. Preparação dos Corpos de Prova para o ensaio de Resistência à Compressão

Concluído o período de cura, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, utilizando uma prensa hidráulica devidamente calibrada. A preparação dos corpos de prova, que incluiu o corte ao meio e o capeamento com pasta de cimento para garantir superfícies planas e paralelas para a aplicação da carga, foi realizada conforme orienta a norma, ABNT NBR 8492:2013, que estabelece os critérios para o ensaio de blocos de concreto e solo-cimento. A Figura 6 ilustra as etapas de preparação das amostras (6.a), o ensaio de compressão antes (6.b) e depois da aplicação da carga (6.c).

Figura 6 - Preparação dos corpos de prova: amostras cortadas ao meio (a), amostra antes do ensaio de resistência à compressão (b) e após ruptura (c).



a



b



c

4.4.2. Ensaio de Absorção de Água

Após 28 dias de cura, foi realizado o ensaio de absorção de água dos tijolos, conforme procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 8492:2013, que trata da determinação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos e blocos de solo-cimento. As amostras foram inicialmente secas em estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, até massa constante (Figura 7). Após o resfriamento das amostras até a temperatura ambiente, elas foram imersas em água por um período de 24 horas. Após a imersão, o excesso de água superficial foi removido com um pano úmido e a massa saturada foi determinada para o cálculo do índice de absorção, conforme a norma. As pesagens da amostra seca e úmida são ilustradas nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

Figura 7 -
Amostras na estufa.



Fonte: Autor (2025).

Figura 8 -
Pesagem da amostra seca.



Fonte: Autor (2025).

Figura 9 -
Pesagem da amostra saturada.



Fonte: Autor (2025).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos na caracterização do material (pó de brita) e nos ensaios físicos e mecânicos realizados nos tijolos modulares de pó de brita-cimento, comparando-os com as normas técnicas pertinentes e a literatura da área.

5.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os resultados individuais e médios dos ensaios de resistência à compressão simples são apresentados na Tabela 2, para os diferentes traços (1:7, 1:8 e 1:9) e tempos de cura (14 e 28 dias). Na tabela 2 é demonstrado também o ganho de resistência entre os períodos mencionados.

Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão simples (MPa).

| Traço em volume | Amostras com 14 dias de cura | | | Amostras com 28 dias de cura | | |
|--|------------------------------|--------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|---|
| (Cimento: pó de brita) | ID. | Resistência à compressão (MPa) | Média da Resistência à compressão (MPa) | ID. | Resistência à compressão (MPa) | Média da Resistência à compressão (MPa) |
| 1:7 | 7.1 | 2,04 | 2,11 | 7.6 | 2,43 | 2,54 |
| | 7.2 | 2,20 | | 7.7 | 2,42 | |
| | 7.3 | 2,12 | | 7.8 | 3,02 | |
| | 7.4 | 2,06 | | 7.9 | 2,30 | |
| | 7.5 | 2,12 | | 7.10 | 2,51 | |
| Ganho de resistência no traço 1:7, entre os períodos de 14 e 28 dias (%) | | | | | | 20,38 % |
| 1:8 | 8.1 | 2,21 | 2,04 | 8.6 | 2,24 | 2,41 |
| | 8.2 | 2,12 | | 8.7 | 2,01 | |
| | 8.3 | 1,81 | | 8.8 | 2,74 | |
| | 8.4 | 1,98 | | 8.9 | 2,56 | |
| | 8.5 | 2,06 | | 8.10 | 2,50 | |
| Ganho de resistência no traço 1:8, entre os períodos de 14 e 28 dias (%) | | | | | | 18,14 % |
| 1:9 | 9.1 | 1,89 | 1,96 | 9.6 | 2,18 | 2,06 |
| | 9.2 | 1,88 | | 9.7 | 2,17 | |
| | 9.3 | 2,15 | | 9.8 | 1,80 | |
| | 9.4 | 1,91 | | 9.9 | 2,23 | |
| | 9.5 | 1,98 | | 9.10 | 1,93 | |
| Ganho de resistência no traço 1:9, entre os períodos de 14 e 28 dias (%) | | | | | | 5,15 % |

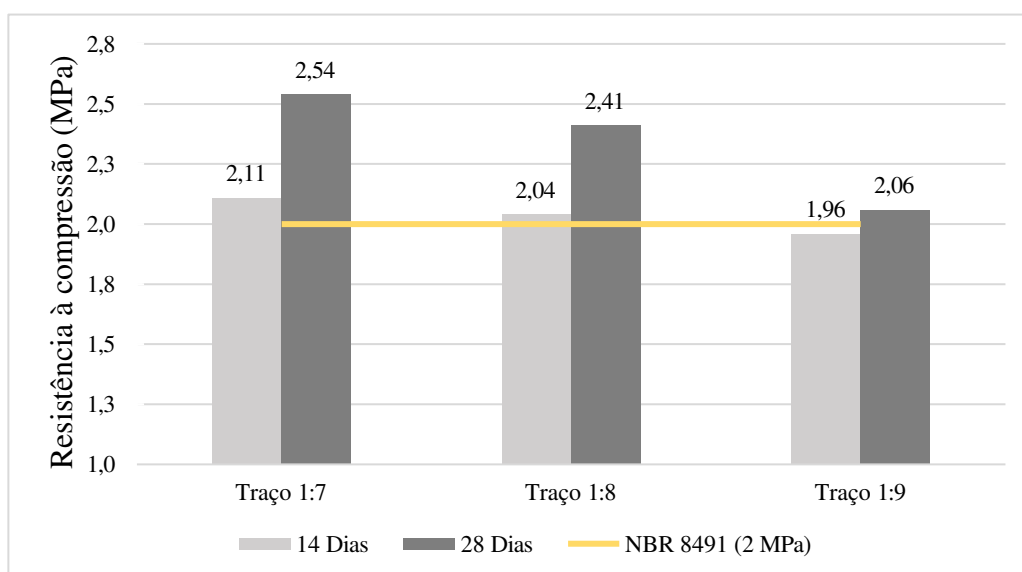
Fonte: Autor (2025).

A norma de referência para tijolos de solo-cimento, ABNT NBR 8491:2012, estabelece uma resistência mínima média de 2,0 MPa para blocos sem função estrutural. Observa-se que:

- **Conformidade Normativa:** Os traços 1:7 e 1:8 atingiram a resistência mínima exigida pela NBR 8491:2012 aos 28 dias, demonstrando viabilidade técnica. O traço 1:9 apresentou resistência de 2,06 MPa, ligeiramente acima do limite normativo, mas indicando uma margem de segurança menor. É importante notar que, aos 14 dias, os traços 1:7 (2,11 MPa) e 1:8 (2,04 MPa) já haviam ultrapassado a resistência mínima normativa de 2,0 MPa exigida para os 28 dias. O traço 1:9 apresentou resistência de 1,96 MPa aos 14 dias de cura, valor que se encontra abaixo da resistência mínima normativa de 2,0 MPa exigida para os 28 dias
- **Influência do Cimento:** O traço com maior teor de cimento (1:7) resultou na maior resistência mecânica, corroborando a literatura (SALES; LIMA, 2011; RIBEIRO; LIMA; NEVES, 2016), que aponta que a dosagem do ligante é crucial para o desempenho final do material.

A Figura 10 ilustra graficamente a comparação da resistência média dos traços em relação ao limite normativo (2 MPa) aos 14 e 28 dias.

Figura 10 - Valores médios de resistência à compressão (MPa) por traço aos 14 e 28 dias.



Fonte: Autor (2025).

5.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Tabela 3 apresenta os resultados médios do índice de absorção de água, determinado aos 28 dias de cura, conforme a ABNT NBR 8492:2013.

Tabela 3 - Resultados de absorção de água (%).

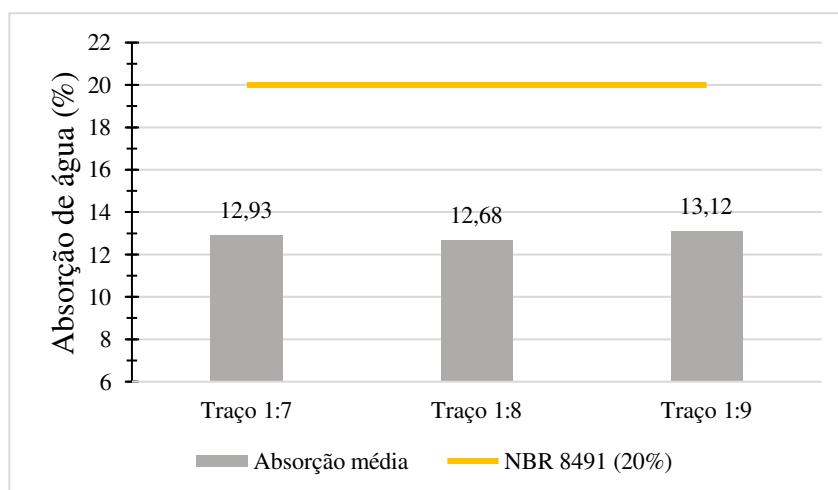
| Traço (Cimento:Pó de Brita) | Média da absorção de água (%) |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1:7 | 12,93% |
| 1:8 | 12,68% |
| 1:9 | 13,12% |

Fonte: Autor (2025).

A ABNT NBR 8491:2012 estabelece um limite máximo de absorção de água de 20% para a média dos resultados de tijolos de solo-cimento. Os resultados demonstram que todos os traços testados (1:7, 1:8 e 1:9) atendem ao requisito normativo, apresentando índices de absorção bem abaixo do limite estabelecido. Isso indica que a substituição integral do solo pelo pó de brita não comprometeu a compacidade e a porosidade do material de forma a inviabilizá-lo para uso em construção.

Estes resultados estão de acordo com estudos como os de Resende *et al.* (2024), Kou e Poon (2008) e Tam *et al.* (2007), que observaram que a substituição de agregados convencionais por resíduos pode resultar em produtos com desempenho satisfatório. A tendência de que o traço com maior teor de cimento (1:7) apresente um índice de absorção ligeiramente menor (12,93%) também está alinhada à literatura que relaciona a dosagem do ligante à porosidade da matriz cimentícia. A Figura 11 ilustra graficamente a comparação dos índices de absorção com o limite normativo de 20%.

Figura 11 - Gráfico das médias dos índices de absorção de água para os traços 1:7, 1:8 e 1:9.



Fonte: Autor (2025).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica e o comportamento físico e mecânico de tijolos modulares de solo-cimento, utilizando o pó de brita como substituto integral do solo natural. Com base nos resultados experimentais e nas discussões apresentadas nas seções anteriores, foi possível depreender conclusões relevantes quanto à adequação do material, seu desempenho e seu potencial sustentável.

A caracterização granulométrica do pó de brita revelou um módulo de finura médio de 2,54, enquadrando-o na faixa de agregados médios (2,2 a 2,9), considerada ideal pela literatura técnica (NEVILLE, 2016; MEHTA; MONTEIRO, 2014) para a produção de materiais cimentícios prensados. Esse resultado confirmou a adequação do pó de brita para uso no processo de fabricação de tijolos, assegurando boa trabalhabilidade e compacidade nas misturas.

Em relação à resistência à compressão simples, os resultados demonstraram que todos os traços apresentaram ganhos significativos com o tempo de cura. Aos 28 dias, os traços 1:7 (2,54 MPa) e 1:8 (2,41 MPa) atenderam plenamente ao requisito mínimo de 2,0 MPa estabelecido pela ABNT NBR 8491:2012 para tijolos sem função estrutural. O traço 1:9 (2,06 MPa) ficou ligeiramente acima do limite, indicando uma margem de segurança menor, mas ainda dentro da faixa aceitável para aplicações não estruturais.

Quanto à absorção de água, todos os traços testados apresentaram médias entre 12,68% e 13,12%, valores significativamente abaixo do limite máximo de 20% permitido pela ABNT NBR 8491:2012. Desse modo, esses resultados indicaram que os tijolos produzidos possuem boa compacidade e baixa porosidade à absorção de água atendendo adequadamente aos requisitos normativos para esta propriedade física.

De modo geral, conclui-se que a utilização do pó de brita como substituto integral do solo natural é tecnicamente viável para a produção de tijolos modulares. O desempenho do material mostrou-se compatível com as normas brasileiras para solo-cimento, validando uma abordagem construtiva sustentável e alinhada aos princípios da economia circular. Essa prática, conforme defendido por John e Agopyan (2000), contribui para a reintrodução de resíduos nos ciclos produtivos e para a redução do consumo de recursos naturais, promovendo benefícios ambientais e econômicos.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a realização de estudos que avaliem a durabilidade dos tijolos frente a agentes externos, como ciclos de molhagem e secagem, bem como sua resistência à abrasão. Sugere-se também uma análise de viabilidade econômica

detalhada da produção em escala industrial, considerando aspectos logísticos do aproveitamento do pó de brita na região de estudo. Além disso, futuras pesquisas podem investigar a adição de diferentes tipos de cimento ou aditivos com o objetivo de otimizar ainda mais as propriedades mecânicas e de absorção de água do material.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. F. **Tijolo ecológico com adição de frações do pó de brita granítica e do mármore**. 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/7bf7ec31-e001-4328-a6ab-5411b5f7ac67/download>. Acesso em: 3 out. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211:2019**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8492:2013**: Alvenaria estrutural – Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491:2012**: Tijolo de solo cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:2009**: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção civil**. 5. ed. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tijolos de solo-cimento: produção e utilização**. (Circular Técnica, 17). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.
- FONSECA, S. L. *et al.* Avaliação da resistência à compressão e da durabilidade de tijolos de solo-cimento com solo paraense da região de Tucuruí, Brasil. **Revista Tecnia**, v. 9, n. 2, p. 45–58, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ifg.edu.br/tecnia/article/view/2095>. Acesso em: 1 out. 2025.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993.
- JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente / CETESB, 2000. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001128234>. Acesso em: 30 out. 2025.
- KOU, S. C.; POON, C. S. Properties of concrete prepared with fine and coarse recycled aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 9, p. 871–878, 2008.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- MELO, F. F. de S. *et al.* Estudo da influência de parâmetros de processo na produção de tijolo de solo-cimento. **Cerâmica Industrial**, v. 28, n. 1, p. e162801, 2023.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- RESENDE, H. F. *et al.* Uso de resíduos de construção e demolição como agregado reciclado no concreto: uma breve revisão de literatura. **Revista Principia**, v. 61, n. 3, p. 691–709, 2024.
- RIBEIRO, R. A.; LIMA, R. C. A.; NEVES, G. A. Utilização do pó de brita como substituição parcial da areia natural na produção de blocos de concreto. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1123–1136, 2016.
- SALES, A.; LIMA, L. J. Uso de resíduo de pedreira como material de construção em blocos de solo-cimento. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 135–147, 2011.

SANTOS, J. C. *et al.* Avaliação do desempenho de blocos de solo-cimento produzidos com resíduos minerais. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 4, 2021.

SIQUEIRA, E. *et al.* Características mecânicas de tijolos ecológicos com incorporação de resíduo. **Nativa**, v. 4, n. 3, p. 195–200, 2016.

SILVA, C. T. M. **Análise da absorção de água de tijolos de solo-cimento incorporados com pó de brita**. 2020. TCC (Ciência e Tecnologia) – UFRSA, Angicos, 2020.


SILVA, R. V.; BRITO, J. de; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201–217, 2014.

SOUSA, J. F. **Fabricação e análise de tijolos de solo-cimento**. 2018. Monografia – UFRJ, Macaé, 2018.

SOUZA, L. A. *et al.* Aproveitamento de resíduos de britagem de rocha na produção de blocos de concreto. **Revista Matéria**, v. 24, n. 3, 2019.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M.; LE, K. N. Recycled construction and demolition waste in concrete: a review. **Advances in Building Technology**, v. 1, p. 1253–1258, 2007.

VERDE EQUIPAMENTOS. **Qual o traço do tijolo ecológico?** 27 ago. 2020. Disponível em: <https://verdeequipamentos.com.br/2020/08/27/qual-o-traco-do-tijolo-ecologico/>. Acesso em: 29 out. 2025.

| | |
|---|---|
|  | INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA |
| | Campus Patos - Código INEP: 25281925 |
| | Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB) |
| | CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None |

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de Conclusão de Curso

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Assunto: | Trabalho de Conclusão de Curso |
| Assinado por: | Jose Valdistelio |
| Tipo do Documento: | Anexo |
| Situação: | Finalizado |
| Nível de Acesso: | Ostensivo (Público) |
| Tipo do Conferência: | Cópia Simples |

Documento assinado eletronicamente por:
■ Jose Valdistelio Garcia Junior, DISCENTE (202116550037) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS, em 28/01/2026 07:46:21.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/01/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1744927
Código de Autenticação: 922c2a5ead

