



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS LUCAS DA SILVA

RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA (RCV) PARA PRODUÇÃO DE TIJOLO
SOLO-CIMENTO - Estudo da Absorção de Água e Resistência à Compressão

ANGICOS/RN

2025

MATHEUS LUCAS DA SILVA

**RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA (RCV) PARA PRODUÇÃO DE TIJOLO
SOLO-CIMENTO - Estudo da Absorção de Água e Resistência à Compressão**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. (a) Dra. Marcilene Vieira da
Nóbrega

ANGICOS/RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586r Silva, Matheus Lucas da.
Resíduo de cerâmica vermelha (RCV) para a
produção de tijolo solo-cimento - estudo da
absorção de água e resistência à compressão /
Matheus Lucas da Silva. - 2025.
45 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. Tijolo. 2. Resíduo. 3. Construção. 4.
Absorção. 5. Resistência. I. Nóbrega, Marcilene
Vieira da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MATHEUS LUCAS DA SILVA

**RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA (RCV) PARA PRODUÇÃO DE TIJOLO
SOLO-CIMENTO - Estudo da Absorção de Água e Resistência à Compressão**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 30/ 07/ 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof(a) Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega (UFERSA/Campus Angicos)
Presidente

Joselito Medeiros de Freitas Cavalcante, Prof. Dr. (UFERSA/Campus Angicos)
Membro Examinador Interno

Walney Gomes da Silva, Prof. Dr. (IFRN/Campus Mossoró)
Membro Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus presente em nossas vidas, que em todo tempo está a me sustentar, me capacitando a alcançar aquilo que Ele tem reservado para mim.

Agradeço aos familiares e amigos mais próximos que sempre que possível me incentivaram e me apoiaram de alguma forma.

Agradeço a minha orientadora Marcilene Vieira da Nóbrega, que de maneira gentil e paciente me direcionou na elaboração deste trabalho.

Agradeço a Adna, técnica do laboratório de Engenharia Civil da Ufersa – Angicos, por todo apoio e orientação.

Agradeço ao Prof. Augusto Sousa, técnico do laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) da Ufersa – Mossoró, na ajuda com a trituração do resíduo cerâmico.

Agradeço ao Prof. Walney Gomes do IFRN – Mossoró, por conseguir o laboratório para a realização dos ensaios de resistência à compressão.

Agradeço a empresa Prointest na pessoa do Eng. Wilson Dantas por abrir as portas de seu laboratório e possibilitar a realização do ensaio de resistência à compressão.

Sabemos que todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles que são chamados segundo o seu propósito.

Romanos 8:28

RESUMO

Este trabalho tem como foco os tijolos de solo-cimento, uma alternativa construtiva que vem ganhando destaque por seu potencial sustentável na indústria da construção civil. Produzidos a partir da mistura de solo, cimento (em torno de 10% da massa total) e água, esses tijolos não exigem queima em fornos, o que reduz significativamente o consumo de energia e a emissão de gases poluentes em comparação aos tijolos cerâmicos convencionais. Visando aprimorar ainda mais seu desempenho ambiental, este estudo propõe a incorporação de Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV) na composição dos tijolos de solo-cimento, oferecendo uma solução viável para o reaproveitamento desse tipo de resíduo, ao mesmo tempo em que contribui para a redução do impacto ambiental do setor. O tijolo solo-cimento é um material versátil com diversas aplicações. Ele é amplamente utilizado em pavimentação, servindo como camada de base e sub-base para pavimentos rígidos e flexíveis. Além disso, suas propriedades o tornam ideal para a construção de valetas de drenagem, revestimento de canais, diques, estabilização e proteção superficial de taludes, reservatórios e barragens de terra. Também é empregado em fundações de edifícios e muros de arrimo e, de forma mais comum, na produção de tijolos e blocos prensados para alvenarias. O estudo, de caráter experimental, teve como objetivo principal analisar a absorção de água e a resistência à compressão em compostos de solo-cimento com a adição de RCV. Especificamente, buscou-se investigar a influência de diferentes tamanhos de grãos e dosagens de RCV nas propriedades da mistura e avaliar o desempenho desses materiais após 7 dias de cura. A metodologia empregou ensaios laboratoriais, com a produção de corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Para cada uma das misturas, foram confeccionadas 10 amostras, totalizando 50 corpos de prova. As dosagens foram quantificadas por pesagem, com a variação percentual e diferentes tamanhos das partículas do RCV. Os ensaios de absorção de água foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA, Campus Angicos, e os de resistência à compressão na empresa Prointest em Mossoró. Os resultados atestaram que todos os corpos de prova apresentaram composições adequadas para a fabricação do tijolo solo-cimento. A inserção do resíduo cerâmico não comprometeu as propriedades tecnológicas, os corpos de prova com composição de 30% de resíduo passante na peneira N° 200 (30% de RCV em substituição ao cimento), apresentaram resultados significativos em relação ao traço de referência. No ensaio de absorção de água todos os corpos de prova alcançaram os valores médios abaixo de 20%, conforme NBR 8492 (ABNT, 2012). Em relação ao ensaio de resistência à compressão simples, as amostras atingiram os valores exigidos pela NBR supracitada (2,0 MPa). Os resultados experimentais demonstram que a utilização de resíduo de cerâmica vermelha na mistura de solo-cimento é uma alternativa conveniente e sustentável para o emprego final desses resíduos.

Palavras-chave: Tijolo; Solo-cimento; Resíduo; Construção; Absorção; Resistência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapa de coleta do solo.....	24
Figura 2 - Processo de destorroamento manual do solo	25
Figura 3 - Etapa de coleta do resíduo de cerâmica vermelha	26
Figura 4 - Preparo do resíduo cerâmico: a) resíduo graúdo; b) máquina de abrasão Los Angeles; c) material ensacado	26
Figura 5 - Prensa hidráulica	29
Figura 6 - Mistura seca do solo, cimento e RCV	29
Figura 7 - Processo de compactação e prensagem dos corpos de prova.....	30
Figura 8 - Armazenamento dos corpos de prova	31
Figura 9 - Etapas do ensaio de absorção de água: a) tijolos na estufa; b) tijolos submersos....	32
Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão simples	33
Figura 11 - Valores médio da absorção de água e desvio padrão	34
Figura 12 - Valores médio da resistência à compressão e desvio padrão	37
Figura 13 - Resistência à compressão X Absorção de água	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - NBR 10833 (ABNT, 2012)	19
Tabela 2 - Dosagens dos corpos de prova.....	28
Tabela 3 - Absorção de água dos corpos de prova.....	34
Tabela 4 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

CP V – ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

NBR – Norma Brasileira

RCV – Resíduo de Cerâmica Vermelha

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 O tijolo solo-cimento como material de construção.....	16
2.1.1 Considerações gerais	16
2.1.2 Principais propriedades.....	17
2.1.3 Materiais constituintes	18
2.1.3.1 Cimento Portland.....	18
2.1.3.2 Solo.....	19
2.1.3.3 Água	20
2.2 Resíduo de cerâmica vermelha.....	20
2.2.1 O uso de resíduos de cerâmica vermelha em materiais	21
3 METODOLOGIA	23
3.1 Tipo de pesquisa.....	23
3.2 Local da pesquisa	23
3.3 Materiais utilizados	23
3.3.1 Cimento Portland.....	23
3.3.2 Solo.....	24
3.3.3 Água	25
3.3.4 Resíduo de cerâmica vermelha.....	25
3.4 Confeção dos corpos de prova.....	27
3.4.1 Quantidade de amostras.....	27
3.4.2 Dosagem	27
3.4.3 Percentuais e granulometrias de resíduo	28
3.4.4 Prensa manual.....	28
3.4.5 Obtenção da mistura	29
3.4.6 Moldagem dos corpos de prova.....	30
3.4.7 Cura dos corpos de prova	31

3.5 Ensaio tecnológicos	31
3.5.1 Caracterização física.....	31
3.5.1.1 Ensaio de absorção de água.....	31
3.5.3 Caracterização mecânica	33
3.5.3.1 Ensaio de resistência à compressão	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Ensaio tecnológicos	34
4.1.1 Absorção de água	34
4.1.2 Resistência à compressão	36
4.1.3 Relação entre a absorção de água e resistência à compressão.....	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	39
REFERÊNCIAS.....	40
ANEXO A – MÉDIA DOS VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS 5 CORPOS DE PROVA ENSAIADOS	45

1 INTRODUÇÃO

A procura por materiais que proporcionem um menor impacto ambiental, que apresentem diminuição em emissões de poluentes na atmosfera, que possibilite uma redução ou reaproveitamento de resíduos, oferecendo boa relação custo-benefício e que possam ser usados na construção civil de maneira a cumprir as exigências técnicas que as normas estabelecem, se apresentam como pautas fundamentais para uma constante ascensão da construção civil e sociedade.

É perceptível o crescimento acelerado da indústria da construção civil em todo o Brasil e no mundo. Mesmo diante desse acelerado crescimento, ela ainda não conseguiu na mesma velocidade solucionar a problemática do desperdício e a geração de resíduos. Segundo a Unila (2022), a construção civil é um dos setores que mais consomem recursos naturais. O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável responsabiliza o setor pelo consumo de 40% à 70% dos recursos naturais extraídos do Planeta Terra, e responsável pela produção de 30% do lixo sólido.

De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER), com dados de 2023, é provável a existência de cerca de 5.578 empresas de cerâmica e olaria em todo o Brasil, o que resulta em uma produção anual de 5.896.037.000 blocos cerâmicos. No Rio Grande do Norte, indústrias de cerâmica vermelha ganham enorme relevância, sendo considerada uma das mais importantes na região nordeste, com domínio de micro e pequenas empresas, organização familiar e com um sistema de produção carente de tecnologias (Dantas, 2021).

Em meio a essa realidade relevante, tem se considerado medidas de reaproveitamento dos resíduos oriundos em sua maioria das indústrias de cerâmica vermelha, como também provenientes do desperdício e perdas em canteiros de obra. E como forma de atenuar o grande volume de descarte desses resíduos no meio ambiente, pesquisas vêm propondo a utilização desses resíduos como parte constituinte de materiais de construção. E uma dessas aplicações consiste em inserir resíduos de cerâmica vermelha na mistura solo-cimento.

Devido às suas qualidades estruturais e à contribuição para a sustentabilidade, o tijolo de solo-cimento ganha cada vez mais espaço nos contextos construtivos em todo o mundo. O que proporciona a particularidade desse tipo de tijolo é a forma simples em que pode ser produzido, otimização do tempo e o custo da atividade construtiva. Quando comparados aos tradicionais materiais de construção, os tijolos de solo-cimento oferecem diversas vantagens, principalmente para a construção de moradias de baixo custo. Entre essas vantagens, destaca-se o uso de recursos

locais, o que diminui os gastos com transporte e logística. Além disso, é uma técnica de construção simples, que pode ser executada por trabalhadores sem especialização (Aguiar, 2024).

O tijolo solo-cimento pode oferecer diversas aplicabilidades no contexto da construção civil, conforme Aguilar (2024), a mistura de solo-cimento se mostra como um material versátil podendo ter diversas aplicações no cenário da construção civil, incluindo contrapisos, fundações, blocos, paredes monolíticas e pavimentação. Optar por esse tipo de material, proporciona redução de tempo na obra, maior economia construtiva e uma diminuição acentuada na degradação do meio ambiente.

Diante desse cenário, o trabalho em questão tem como finalidade analisar por meio de ensaios e experimentos a resistência à compressão e a absorção de água da mistura de solo-cimento produzida com diferentes quantidades de resíduos de cerâmica vermelha e variações no tamanho dos grãos desse resíduo. Buscando avaliar mediante a essas diferentes interações quais propriedades possam sofrer alterações em seu comportamento.

O desenvolvimento de pesquisas que proporcione a difusão de novas alternativas construtivas menos impactantes ao meio ambiente é importante. Dessa forma, esse estudo busca, de maneira ampla, desenvolver compósitos de solo-cimento com a inserção de resíduo de cerâmica vermelha para avaliar o seu comportamento, buscando com esses procedimentos se chegar a resultados que sejam satisfatórios e que agreguem ao conhecimento coletivo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a absorção de água e a resistência à compressão em compostos de solo-cimento com resíduo de cerâmica vermelha adicionado.

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar a absorção de água e a resistência à compressão da mistura solo-cimento obtida com diferentes tamanhos granulares de resíduo de cerâmica vermelha;
- Analisar quais propriedades da mistura solo-cimento apresentam alterações pelas diferentes dosagens de resíduo de cerâmica vermelha incorporadas a sua composição.

- Avaliar a absorção de água e a resistência à compressão da mistura solo-cimento com apenas 7 dias de cura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O tijolo solo-cimento como material de construção

2.1.1 Considerações gerais

O uso do tijolo solo-cimento no Brasil remonta a década de 1940, com alguns exemplos de obras notáveis como o Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro e rodovias em Minas Gerais e Bahia. Já na década de 1960, pesquisas desenvolvidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT) alavancaram a difusão técnica, consolidando seu uso em diversos contextos construtivos (Sampaio e Nunes, 2017).

O tijolo solo-cimento é um material comumente usado no âmbito da construção civil, fabricado a partir da mistura de solo, cimento e água, onde a proporção do cimento é algo em torno de 10% em relação à massa total da mistura. De acordo com a ABCP (2002), o solo-cimento pode ser definido como um produto endurecido em decorrência da mistura compactada do solo, cimento e água, no qual adquire resistência e durabilidade por causa das reações de hidratação que acontecem devido a presença do cimento.

O solo-cimento tem sido usado com diversas finalidades, a sua utilidade se dá em pavimentação como camada de base e sub-base para pavimentos rígidos e flexíveis, valetas de drenagem, revestimento de canais, diques, estabilização e proteção superficial de taludes; reservatórios e barragens de terra; fundações de edifícios, muros de arrimo, e, mais comumente, em alvenarias de tijolos e blocos prensados (SOUSA, 2018).

Dentro das aplicações desse tipo de tijolo, Sousa (2018) enfatiza algumas vantagens do tijolo solo-cimento, entre elas está o seu uso como alvenaria estrutural, o bom comportamento térmico e a boa durabilidade do mesmo. Ainda segundo Sousa (2018), outra vantagem do tijolo solo-cimento, é a possibilidade da adição de outros materiais como resíduos diversos em sua mistura; além da não necessidade da queima no processo de fabricação, oferecendo menos consumo de energia e, como resultado, menos danos ambientais.

Em meio aos vários fatores que possam interferir na qualidade do tijolo solo-cimento, se destaca o tipo de solo, o método de mistura e o grau de compactação. Além desses fatores, outros como a cura, a densidade e a homogeneização da mistura do solo com o aglomerante também podem intervir no resultado final (Aguiar, 2024). O teor de umidade ótima também é um fator relevante para a qualidade do tijolo. É definida em função da

densidade máxima obtida através do ensaio de compactação recomendado pela NBR 12023 (ABNT, 2012).

2.1.2 Principais propriedades

As propriedades físicas e mecânicas desse tipo de tijolo, também se caracteriza como um ponto de extrema importância para ser estudado. O conhecimento apropriado das propriedades físicas e mecânicas dos materiais é relevante para se definir em quais contextos e de que forma, aquele determinado material pode ser melhor utilizado e aproveitado.

Os ensaios mecânicos oferecem a garantia de se determinar propriedades mecânicas que se referem ao comportamento do material quando esse está sob a ação de esforços e que são expressas em função de tensões e/ou deformações. As tensões são respostas internas devido a esforços externos que atuam sobre determinada área de um corpo (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2012).

De acordo com Fernandes (2016), a resistência mecânica é definida como sendo a resistência que um corpo suporta diante da ação de possíveis esforços, como tração, compressão, torção, cisalhamento, flexão simples e composta. A resistência mecânica diz respeito à tensão na qual o material se rompe, e é considerada a propriedade mais importante para os materiais estruturais.

O estudo das propriedades físicas e mecânicas desse material é crucial para garantir sua eficiência em diferentes contextos construtivos, especialmente em relação à resistência à compressão, que é fundamental para a estabilidade e segurança das obras. O contínuo aprimoramento das técnicas de produção e a análise detalhada das suas características mecânicas abrem caminhos para a utilização cada vez mais eficaz e sustentável do tijolo solo-cimento na construção civil.

As características do solo-cimento são articuladas por diversos fatores, incluindo a natureza do solo, a quantidade de cimento, o nível de umidade, a força de compactação, o processo de mistura e as condições de cura. Embora qualquer solo possa ser teoricamente estabilizado com cimento, o tipo de solo a ser utilizado é o fator mais crítico. Contudo, restrições econômicas e de trabalhabilidade limitam a gama de solos que podem ser estabilizados, tornando o teor de cimento um aspecto determinante, pois o custo de produção do solo-cimento eleva-se proporcionalmente ao teor de argila do solo (GÓIS, 2012).

Assim, as propriedades físicas e mecânicas do tijolo solo-cimento estão intimamente ligadas aos materiais e método empregado no processo de fabricação. O conhecimento

adequado dessas características intrínsecas do tijolo solo-cimento, oferece garantia de um produto seguro e adequado para ser usado nos variados contextos da construção civil.

2.1.3 Materiais constituintes

2.1.3.1 Cimento Portland

O cimento portland é o segundo material mais utilizado no planeta Terra (ABCP, 2002). Ele é possuidor de boa resistência mecânica, tem um custo financeiro comparativamente baixo, fácil aquisição e oferece rapidez na execução, se mostrando um produto de extrema relevância em obras de cunho civil (AGUIAR, 2024).

Segundo a NBR 5732 (ABNT, 1991), o cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico que durante o processo de fabricação obtido por meio da moagem do clínquer Portland, se adiciona em sua composição uma ou mais formas de sulfato de cálcio, como também escórias e materiais carbonáticos. Constituído em grande parte por calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, seu processo de produção envolve basicamente a mistura da matéria prima e queima em temperaturas de aproximadamente 1400 °C, criando com esse processo o clínquer, que após o resfriamento é moído (CUNHA, 2014).

O cimento portland é constituído do clínquer e adições, sendo o próprio clínquer o seu principal componente, estando presente em todos os cimentos, já as adições podem variar de acordo com as finalidades desejadas para a aplicação do produto. O Clínquer é um ligante hidráulico de alta resistência, que desenvolve reações químicas quando entra em contato com água. A princípio, o cimento se mostra como um material pastoso, vindo em seguida a endurecer e obter elevada resistência e durabilidade (GÓIS, 2012).

Apesar do mercado brasileiro apresentar variedade referentes a adições e propriedades específicas de cimento Portland, a escolha ideal para os fins desejados é importante. E no caso da confecção de corpos de prova, essa especificidade se torna ainda mais crucial. Uma vez que a seleção do tipo de cimento deve levar em conta não apenas as características de resistência e durabilidade que se busca no material final, mas também as condições de cura disponíveis, o tempo de pega desejado e, como também, a aplicação futura.

2.1.3.2 Solo

Conforme Caputo (2011), o conceito de solo abrange todo o tipo de material que possa se achar na superfície da terra resultante da desintegração mecânica e decomposição química das rochas, resultado da ação do intemperismo, sendo cometido pelo agrupamento das partículas minerais, água e ar, criando um sistema ternário.

Para Góis (2012), o solo pode ser definido como um composto natural da superfície terrestre, formado de materiais minerais e orgânicos, resultado das interações de fatores climáticos, geográficos, biológico, físico-químico, através do tempo, podendo sofrer alterações devido a ação humana.

Segundo Silva *et al.* (2015), uma correta seleção do solo para o tipo específico de construção é crucial, tornando-se imprescindível o conhecimento de sua composição, suas propriedades e seu comportamento. E se por qualquer motivo, o material não apresentar as características ideais, é possível corrigi-lo através de estabilização. Góis (2012) relata sobre a importância de se realizar classificação geotécnica, pois a mesma possibilita deduzir comportamentos mecânicos e hidráulicos desejados dos solos quando aplicados a situações específicas.

Para misturas de solo-cimento específicas para tijolos prensados, é fundamental que os solos possuam um teor mínimo de fração fina, isto é, cerca de 20% de silte e argila. Em via de regra, o solo adequado para as misturas de solo-cimento deve ser constituído por argila e silte, causador da coesão da mistura quando esta é umedecida e compactada (AGUIAR, 2024). A NBR 10833 (ABNT, 2012), recomenda que o solo utilizado na mistura solo-cimento seja composto das propriedades descritas na Tabela 1:

Tabela 1 - NBR 10833 (ABNT, 2012)

Material	Características
Solo	100% passando pela peneira 4,75 mm (Nº 4)
	10% a 50% passando pela peneira 0,075 mm (Nº 200)
	Limite de Liquidez (LL) menor ou igual a 45%
	Índice de plasticidade (IP) menor ou igual a 18%

Fonte: Adaptado Aguiar (2024)

2.1.3.3 Água

Segundo a NBR 7182 (ABNT, 2025), a umidade ótima corresponde, na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente seca máxima, expressada com uma aproximação de 0,1%, isto é, a quantidade ideal de água para se realizar uma compactação estável, obtendo dessa forma, um melhor grau de compactação.

A fração de água na mistura solo-cimento pode variar entre 5% e 20%, e a umidade ótima é determinada como o valor da umidade que se referente ao valor da massa específica aparente seca máxima, ou seja, a quantidade ideal de água para a obtenção de compactação permanente, obtendo assim o melhor grau de compactação (Campos *et al.*, 2017).

Embora usada em pequena proporção, seu controle é fundamental. Ela assegura uma melhor resistência final porque permite uma compactação mais eficiente. Além disso, essa proporção ideal confere plasticidade à mistura, garantindo ao solo resistência mecânica suficiente para sua formação. Assim, evita-se o surgimento de trincas, quebras e aderência excessiva na prensa (SILVA, BRITO e VEIGA, 2007).

2.2 Resíduo de cerâmica vermelha

A indústria cerâmica tem contribuído significativamente para geração de impactos ambientais, seja pela degradação das áreas de extração da matéria-prima, consumo de energia e emissão de poluentes ou pela produção de resíduos sólidos. Os resíduos que mais são gerados tratam-se de peças cerâmicas provenientes de quebras durante a fabricação ou que não atendem especificações, embora esse produto seja responsabilidade de quem o produz, são comumente amontoados nos pátios das olarias ou utilizados no cascalhamento de estradas (OLIVEIRA, 2014).

Em 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução nº 307/02. Essa norma estabeleceu as diretrizes, procedimentos e critérios de gestão para resíduos sólidos, visando o descarte ecologicamente correto com base na classificação de cada resíduo. Os resíduos provenientes da fabricação de blocos de cerâmica, assim como os gerados em obras de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, são enquadrados na Classe A. Devido à obrigatoriedade de reciclagem dos resíduos cerâmicos (Classe A), diversos estudos têm sido conduzidos para explorar a reutilização desse material, oferecendo alternativas para o descarte adequado por parte dos geradores (SOUSA, 2020).

A produção de blocos cerâmicos envolve cinco etapas principais: extração e preparação da matéria-prima, moldagem e conformação, secagem, queima e resfriamento. Blocos que não atingem os padrões de qualidade antes da queima podem ser novamente incorporados ao processo de beneficiamento da matéria-prima. No entanto, após a queima, essa reciclagem se torna inviável. Isso porque o tratamento térmico, com temperaturas entre 700°C e 900°C, provoca alterações significativas na estrutura molecular do material. Especificamente, ocorre a desidroxilação e o amorfismo dos argilominerais presentes na massa argilosa do bloco. Essas transformações conferem ao material, quando moído, reatividade química e características pozolânicas, conforme apontado por (GARCIA *et al.* 2014).

Dallacort *et al.* (2002) enfatiza que o resíduo cerâmico quando triturado, oferece potencial para adição mineral quando misturado com o cimento portland, pois apresenta composição físico-química de acordo com o que especifica a *American Society for Testing and Materials 618* (ASTM, 2019).

2.2.1 O uso de resíduos de cerâmica vermelha em materiais

Em se tratando de materiais que possam ocasionar interferências nas propriedades do tijolo solo-cimento, a inserção de resíduos cerâmicos em sua produção surge como uma alternativa viável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Segundo Aguiar (2024), a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM) explica a cerâmica como sendo todo o material inorgânico, não metálico, obtido por meio de tratamento térmico, que é classificado como: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, cerâmica branca, materiais refratários, isolantes térmicos, abrasivos, vidros, cimento e cal.

Conforme Aguiar (2024), o uso de resíduos cerâmicos em tijolos de solo-cimento traz um aumento interessante na resistência do tijolo. Kasinikota *et al.* (2021) asseguram que o resíduo cerâmico tem um potencial elevado para substituir o solo no traço do solo-cimento sem alterar o desempenho mecânico e a durabilidade; ressaltando a interferência da granulometria das partículas. Para os autores mencionados, a resistência à compressão ganha um melhoramento com a adição de 24% de resíduo cerâmico.

Para Dallacort *et al.* (2002), grande parte das argilas, com que os blocos cerâmicos são fabricados, no seu estado natural possui pequena atividade pozolânica, mas quando calcinada a uma temperatura da ordem de 700 a 900 °C, acaba se tornando reativa. Isso porque o tratamento térmico destrói a estrutura cristalina da argila e a transforma em uma estrutura

sílico-aluminosa amorfa. Quando moído, esse material apresenta composição físico-química dentro das especificadas pela ASTM 618 (ASTM, 1992) para ser usado como adição mineral em misturas com cimento portland.

Dessa forma, a incorporação do resíduo cerâmico à composição do tijolo solo-cimento, apresenta-se como uma alternativa promissora, não só do ponto de vista econômico, mas também ambiental, ao melhorar a resistência do material e reduzir o impacto dos resíduos.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa

O presente trabalho é um estudo experimental de fatores que pudessem interferir nas propriedades de mistura para solo-cimento (absorção de água e resistência à compressão) incorporada com resíduo de cerâmica vermelha. A pesquisa experimental tem como objetivo testar hipóteses que resultam da convicção do pesquisador, manipulando diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo.

O estudo buscou realizar algumas interações na mistura solo-cimento usando o resíduo de cerâmica vermelha como substituição parcial do aglomerante em diferentes proporções e com tamanhos de partículas distintas. E com isso, os corpos de prova foram submetidos a ensaios que estabeleceram a sua resistência à compressão e a porcentagem de absorção de água.

3.2 Local da pesquisa

O peneiramento do solo e resíduo, a preparação das amostras e o ensaio de absorção de água foram executados no Laboratório de Engenharia Civil da UFERSA, Campus Angicos. Por sua vez, o ensaio de Resistência à Compressão foi realizado na empresa Prointest, localizada na cidade de Mossoró.

3.3 Materiais utilizados

3.3.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para a fabricação dos corpos de prova da mistura solo-cimento, foi o Cimento Portland CP V - ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial). Obtido no comércio local e posteriormente estocado no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA, Campus Angicos/RN.

3.3.2 Solo

O solo usado na mistura foi obtido através da extração realizada às margens do açude localizado nas imediações da UFERSA, Campus Angicos. Através de inspeção visual pode-se inferir que se trata de um solo escuro, macio e com presença de matéria orgânica.

Figura 1 - Etapa de coleta do solo



Fonte: Autor (2025)

Dada a alta concentração de torrões, o solo foi submetido a um processo de destorroamento manual, seguido por secagem em estufa com temperatura de aproximadamente 100 °C. Após o período de 24 horas na estufa, foi realizado o peneiramento na peneira N° 16 (1,18mm), conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016), e, em seguida, o solo seco foi armazenado em recipiente apropriado.

Figura 2 - Processo de destorroamento manual do solo



Fonte: Autor (2025)

3.3.3 Água

Foi feito o uso da água do próprio sistema hidráulico que abastece o laboratório de Engenharia Civil, Campus Angicos. A NBR 10833 (ABNT, 2012) recomenda que a água esteja livre de substâncias que prejudiquem a hidratação do cimento, conforme a ABNT NBR 15900-1.

3.3.4 Resíduo de cerâmica vermelha

O resíduo de cerâmica vermelha foi obtido mediante a coleta na Cerâmica Casa Forte localizada na cidade de Assú/RN. Esse resíduo tratava-se de tijolos cerâmicos quebrados e irregulares, material esse, rejeitado no controle de qualidade da empresa e consequentemente descartado.

Figura 3 - Etapa de coleta do resíduo de cerâmica vermelha



Fonte: Autor (2025)

Após a seleção, o material foi transportado para o laboratório e submetido à moagem na máquina de Abrasão Los Angeles (NBR 6465) no LAMES - Laboratório de Mecânica dos Solos na Ufersa de Mossoró. Posteriormente, os resíduos triturados passaram por um processo de peneiramento, sendo retida apenas a fração passante na peneira nº 4 (4,75mm) (NBR 7181). O material que não passou pela peneira foi devolvido para ciclos adicionais de moagem na máquina Los Angeles. Concluída a moagem, os resíduos foram armazenados em saco plástico.

Figura 4 - Preparo do resíduo cerâmico: a) resíduo graúdo; b) máquina de abrasão Los Angeles; c) material ensacado



a)

b)

c)

Fonte: Autor (2025)

3.4 Confeção dos corpos de prova

3.4.1 Quantidade de amostras

Na presente pesquisa, para fins de ensaio, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm. Para cada uma das misturas, foram produzidas 10 amostras, totalizando 50 corpos de prova. Desse conjunto, 8 amostras de cada mistura foram selecionadas com base na qualidade do seu acabamento final. Dessas 8, 5 foram destinadas aos ensaios de resistência à compressão e as 3 restantes, ao ensaio de absorção de água.

De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012), a amostra a ser utilizada nos ensaios deve ser representativa do lote conforme definido na norma NBR 8491, consistindo em um total de 10 tijolos retirados de uma amostragem de 20 tijolos recolhidos de cada dosagem. Cada tijolo deve ser identificado de maneira que sua origem possa ser facilmente rastreada. Inicialmente, a amostra deve passar pelo ensaio de análise dimensional. Em seguida, 7 tijolos serão utilizados para o ensaio de compressão simples, enquanto os 3 tijolos restantes serão destinados ao ensaio de absorção de água.

3.4.2 Dosagem

Conforme a norma NBR 10833 (ABNT, 2012), é recomendado a preparação de três misturas de solo-cimento. Após a preparação dessas misturas, se realiza a moldagem de no mínimo 20 tijolos de cada mistura utilizando uma prensa, que posteriormente passará pelo processo de cura de acordo com a própria recomendação da norma. Em seguida, de forma aleatória, é coletada 10 unidades que serão enviadas para o laboratório.

São realizados os ensaios nos corpos de prova de solo-cimento conforme as normas NBR 8492 e NBR 10836, respectivamente. Com base nos resultados, é selecionado a mistura mais econômica que cumpra os requisitos físico-mecânicos das especificações contidas na NBR 8491 ou NBR 10834.

Os corpos de prova produzidos nesta pesquisa continham em sua composição solo, cimento, água e resíduo de cerâmica vermelha. As dosagens de cada material foram quantificadas por pesagem, isto é, para cada 1000g de solo, era utilizado 100g de cimento.

3.4.3 Percentuais e granulometrias de resíduo

O compósito de solo-cimento é um material que carrega em sua composição basicamente uma mistura de solo e cimento, na qual a proporção de cimento pode ser de 10% em relação à massa total da mistura. Esse trabalho analisou a mistura solo-cimento preparada com diferentes percentuais de resíduo de cerâmica vermelha em sua composição e com diferentes tamanhos de partículas.

Os corpos de prova foram divididos em três grupos: corpos de prova de referência (CPR) com um traço padrão (solo: cimento); corpos de prova Tipo A e corpos de prova Tipo B. Nos grupos de Corpos de provas A e B, o tamanho do grão do resíduo (GR 01 e GR 02) será variada, como também o percentual do resíduo de cerâmica vermelha (RCV) em relação ao cimento. A percentagem de resíduo cerâmico na mistura será de 20% e 30%. Na Tabela 2 tem-se a descrição do processo de dosagem dos tijolos:

Tabela 2 - Dosagens dos corpos de prova

Granulometrias	CP (Ref.)	CP (A)	CP (B)
GR 01	Solo + 10% cimento	Solo + 8% cimento + 2% RCV	Solo + 7% cimento + 3% RCV
GR 02	Solo + 10% cimento	Solo + 8% cimento + 2% RCV	Solo + 7% cimento + 3% RCV

Fonte: Autor (2025)

3.4.4 Prensa manual

Conforme Sousa (2018), as características do tijolo solo-cimento resultam do entrosamento entre os grãos do solo compactado. Os mesmos são possuidores de baixa porosidade e alta densidade, o que o diferencia dos tijolos cerâmicos. A acomodação dos grãos está diretamente ligada a energia de compactação presente durante o processo de prensagem dos tijolos. Por isso a importância de um equipamento adequado para essa finalidade.

A NBR 10833 (ABNT, 2012) não especifica qual tipo de prensa é a mais indicada para a confecção dos corpos de prova, se é a manual ou mecânica. O que é recomendado pela norma citada, é a transferência imediata da mistura para o molde e posteriormente a sua

prensagem. Dessa maneira, para a confecção dos corpos de prova, foi utilizada a prensa manual disponível no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA, Campus Angicos.

Figura 5 - Prensa hidráulica



Fonte: Autor (2025)

3.4.5 Obtenção da mistura

A mistura dos corpos de prova foi constituída por solo, cimento e resíduo de cerâmica vermelha, conforme a Figura 6. Para esse experimento, o solo utilizado na fabricação dos corpos de prova obteve um teor de umidade padrão. Durante um período de 24 horas, o solo passou pelo processo de secagem em uma estufa com temperatura aproximada de 100°C, com isso, a umidade do solo foi retirada. Com o solo completamente seco, foi possível controlar a quantidade de água a ser usada na mistura solo-cimento.

Figura 6 - Mistura seca do solo, cimento e RCV



Fonte: Autor (2025)

3.4.6 Moldagem dos corpos de prova

Para a mistura solo-cimento, a umidade ideal é crucial para uma compactação eficaz. A prensagem, intimamente ligada à umidade da massa, otimiza a densificação. Para a obtenção da umidade ótima da mistura solo-cimento, a quantidade de água inserida foi estabelecida mediante um teste tátil-visual e se buscou atingir uma maior massa específica aparente seca possível para o processo de compactação dos corpos de prova.

Buscando aumentar a densidade do material, reduzindo os espaços vazios entre as partículas da mistura dentro das formas, os corpos de prova foram devidamente compactados em duas camadas, com 15 golpes proferidos em cada camada utilizando um soquete cilíndrico. Depois da compactação, os moldes foram levados para a prensa hidráulica onde foram submetidos a uma carga aproximada de 350 kg, e, em seguida, os corpos de prova foram desmoldados passado um período de 30 minutos. O processo de moldagem está representado na Figura 7:

Figura 7 - Processo de compactação e prensagem dos corpos de prova



3.4.7 Cura dos corpos de prova

Após a moldagem, os corpos de prova passaram por um período mínimo de cura de 7 dias antes de serem submetidos aos ensaios tecnológicos. Esse tempo de cura foi fundamental para que os corpos de prova obtivessem a resistência necessária mediante a hidratação do cimento presente em sua mistura. Tentando evitar a perda de umidade para o meio externo, os corpos de prova foram armazenados após sua confecção em uma caixa plástica, como representado na figura abaixo:

Figura 8 - Armazenamento dos corpos de prova



Fonte: Autor (2025)

3.5 Ensaio tecnológicos

Neste trabalho, foram realizados os ensaios de Absorção de água e Resistência à compressão simples. Objetivando com esses procedimentos analisar as características intrínsecas do material solo-cimento.

.

3.5.1 Caracterização física

3.5.1.1 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água dos corpos de prova foi realizado aos 7 dias após a cura das amostras confeccionadas, obedecendo as recomendações da NBR 13555 e NBR 8492.

Para a execução do ensaio, os corpos de prova foram colocados na estufa até atingirem massa constante em uma temperatura de 100°C. Após o período em estufa, as amostras foram pesadas para a obtenção da massa seca. Em seguida, foram imersas em água por 24 horas consecutivas e, posteriormente, retiradas da imersão e pesadas para a aferição da massa úmida. Os valores individuais de absorção de água (A), expressos em porcentagem (%), foram obtidos pela Equação 1, conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012):

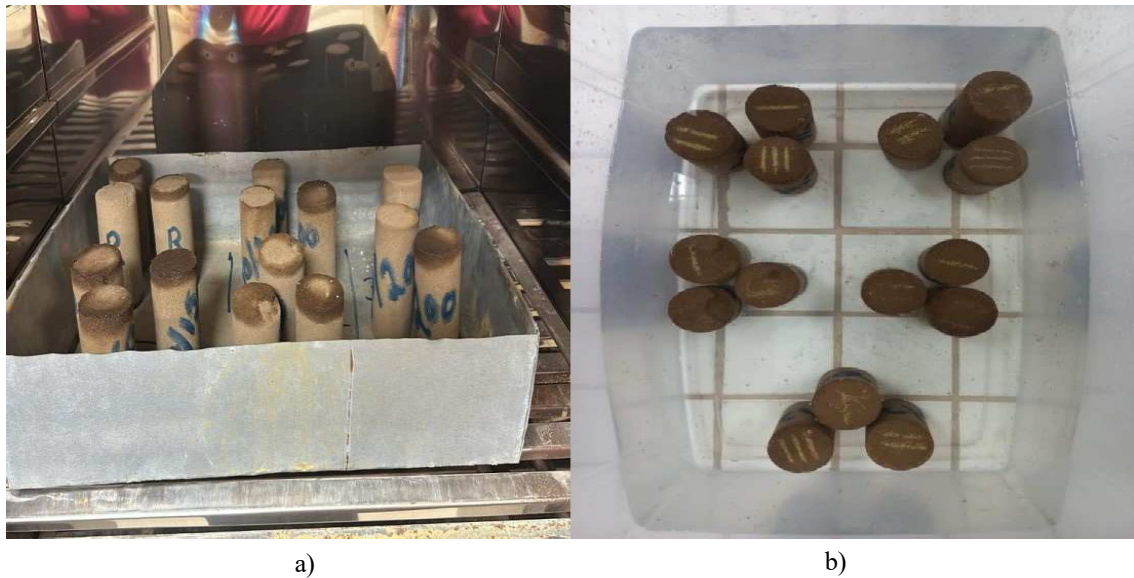
$$A (\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

A : absorção de água (%);

m_1 : massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m_2 : massa do corpo de prova saturado (g).

Figura 9 - Etapas do ensaio de absorção de água: a) amostras na estufa; b) amostras submersas



Fonte: Autor (2025)

3.5.3 Caracterização mecânica

3.5.3.1 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão simples dos corpos de prova cilíndricos foram realizados no laboratório da empresa Prointest, por meio de uma prensa hidráulica com célula de carga de 100 toneladas, aos 7 dias, obedecendo as recomendações das normas NBR 12025 e NBR 8492 respectivamente. Os valores individuais oriundos do ensaio de resistência à compressão simples para os corpos de prova cilíndricos, foram obtidos conforme a Equação 2:

$$Rc = \frac{Q}{Ac} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Rc : Resistência à compressão simples dos corpos de prova cilíndrico;

Q : Carga aplicada (Kgf);

Ac : $\pi \times d^2/4$, área dos corpos de prova cilíndricos (cm²), sendo $d = 5\text{cm}$.

Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão simples



Fonte: Autor (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos, de forma sintetizada, os resultados alcançados nas diversas etapas desta pesquisa, haja visto que a descrição metodológica já detalhou cada item previamente.

4.1 Ensaio tecnológicos

4.1.1 Absorção de água

Na Tabela 3, observa-se os resultados referentes ao ensaio de absorção de água que foram realizados conforme as normas NBR 13555 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012) para as composições solo-cimento moldadas com adição de resíduo de cerâmica vermelha.

Tabela 3 - Absorção de água dos corpos de prova

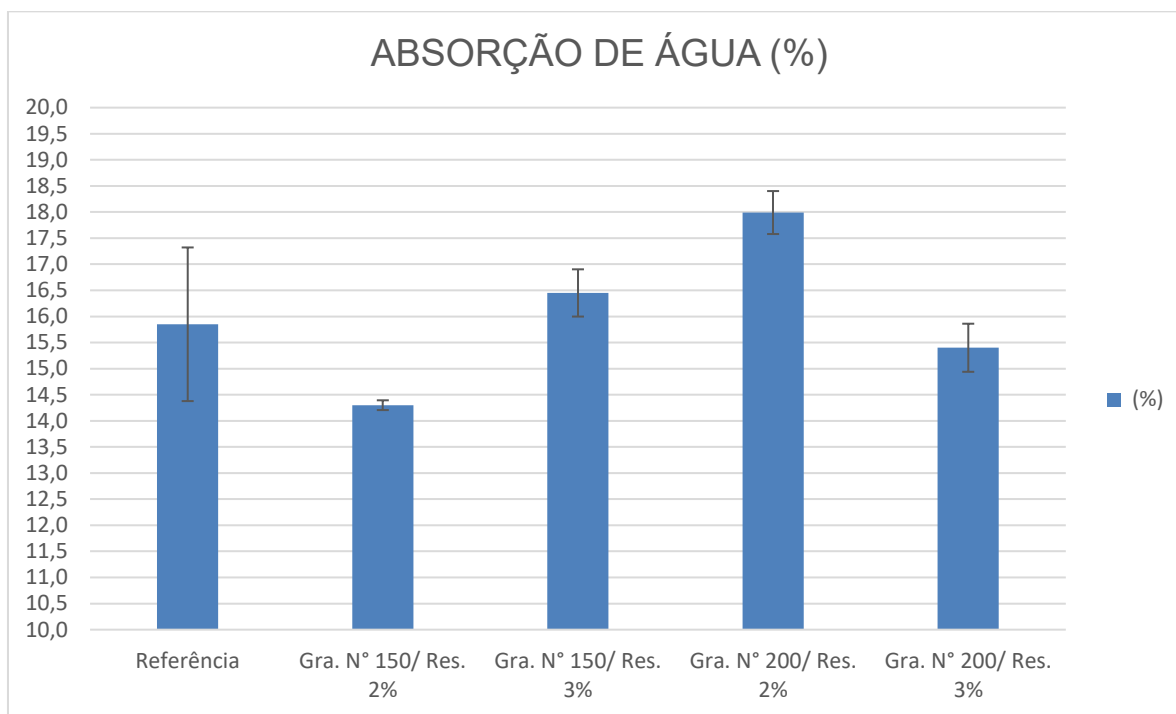
Composições	Absorção (%)
Referência	15,85 ($\pm 1,47$)
Pen. N°. 150/ Res. 2%	14,30 ($\pm 0,09$)
Pen. N° 150/ Res. 3%	16,45 ($\pm 0,45$)
Pen. N° 200/ Res. 2%	17,99 ($\pm 0,41$)
Pen. N° 200/ Res. 3%	15,40 ($\pm 0,46$)

Fonte: Autor (2025)

Percebe-se que as amostras atenderam, de forma geral, os limites estabelecidos pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012) quanto à absorção de água - que não pode apresentar média dos valores maiores que 20% e individuais acima de 22%, demonstrando resultados satisfatórios.

De acordo com Kasinikota *et al* (2021), a quantidade de resíduo cerâmico gera influência na absorção de água dos tijolos, isto é, a absorção de água é maior à medida que se aumenta a quantidade de resíduo cerâmico, o que pode ser observado neste trabalho nas composições Pen. N°150/ Res. 30% e Pen. N° 200/ Res. 20%, conforme ilustrado na figura 11:

Figura 11-Valores médio da absorção de água e desvio padrão



A análise da absorção de água nas diferentes composições demonstra que a variação no teor de resíduo e no tamanho dos grãos influenciaram de forma direta a porosidade, e consequentemente, a capacidade de absorção de água.

É perceptível que, para o resíduo passante na peneira N° 150, o aumento da porcentagem de resíduo de 20% para 30% resultou em um acréscimo significativo na absorção de água, passando de 14,30% para 16,45%. Esse comportamento pode indicar que nessa faixa granulométrica o resíduo contribui para uma estrutura com uma quantidade maior de vazios interligados em seu interior, ocasionando com isso em um material mais permeável.

Por outro lado, para o resíduo com a granulometria mais fina, resíduo passante na peneira N° 200, o comportamento foi inverso: as amostras que continham em sua composição apenas 20% de resíduo apresentaram um maior valor de absorção, chegando a 17,99%, enquanto as amostras com 30% de resíduo demonstraram uma absorção menor, cerca de 15,40%. Esse resultado sugere que, devido ao aumento do teor de resíduo mais fino, existe uma tendência de preenchimento dos poros e uma melhor densidade das misturas, o que reduz no interior do material a existência dos vazios e, consequentemente, a absorção de água.

O comportamento das misturas apresentados indica que a interação entre as partículas do resíduo e sua proporção na mistura, pode afetar diretamente a estrutura porosa do material. Os resultados apontam que em partículas maiores (peneira N° 150), possibilita o aumento da

porosidade; já em partículas mais finas (peneira N° 200), e com maior porcentagem pode atuar como material de preenchimento, melhorando a densidade das misturas e reduzindo a porosidade das mesmas, promovendo assim uma menor absorção.

Portanto, o controle adequado do tamanho das partículas e da porcentagem de resíduo se mostra essencial para a otimização das propriedades físicas do material, especialmente quando se busca menor absorção de água, o que está diretamente relacionado à durabilidade e desempenho em ambientes úmidos.

4.1.2 Resistência à compressão

O ensaio para a determinação da resistência à compressão simples dos corpos de prova foi realizado aos 7 dias, em consonância com as normas NBR 12025 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012). Os valores representados na Tabela 4, são referentes a média de três valores selecionados que indicassem um desvio padrão menor em comparação às demais amostras ensaiadas.

Tabela 4 - Resistência à compressão simples dos corpos de prova após 7 dias de cura.

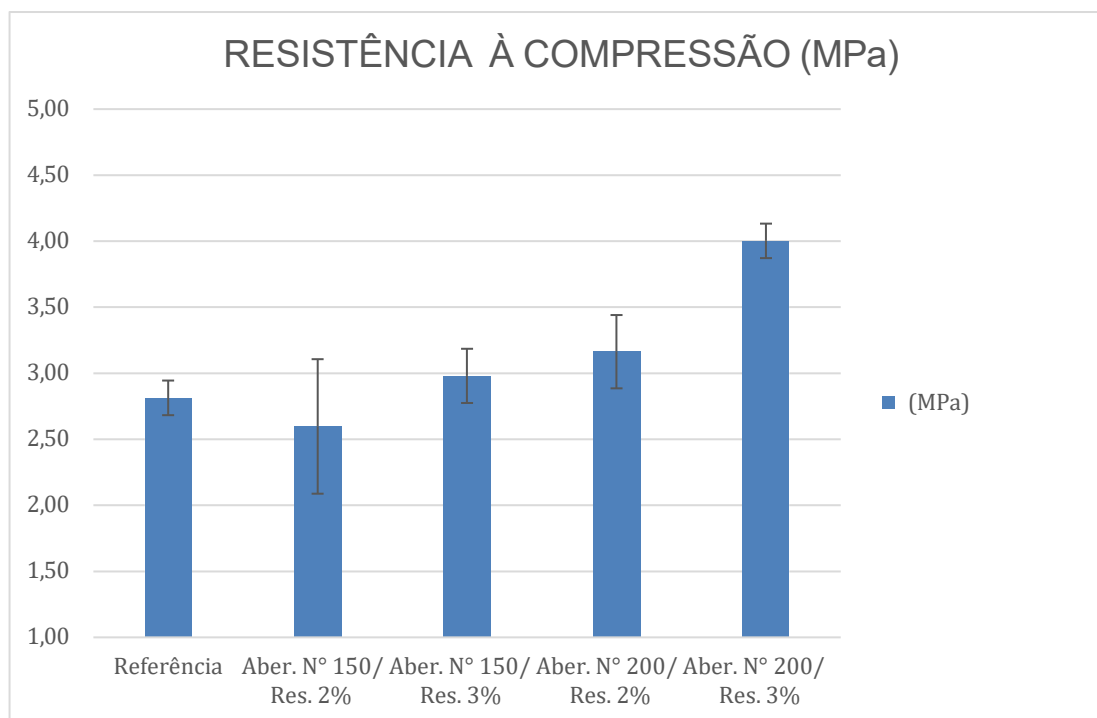
Composições	MPa
Referência	2,81 ($\pm$ 0,13)
Pen. N° 150/ Res. 2%	2,60 ($\pm$ 0,51)
Pen. N° 150/ Res. 3%	2,98 ($\pm$ 0,21)
Pen. N° 200/ Res. 2%	3,16 ($\pm$ 0,28)
Pen. N° 200/ Res. 3%	4,00 ($\pm$ 0,13)

Fonte: Autor (2025)

É possível observar que todas as médias dos valores atenderam a norma NBR 8491 (ABNT, 2012), que preconiza o mínimo de 1,7 MPa para valores individuais e média de 2,0 MPa.

Os valores de resistência à compressão das diferentes misturas ensaiadas neste estudo demonstraram variações relevantes em decorrência da inserção do resíduo de cerâmica vermelha. A Figura 12 demonstra o aumento perceptível dessa resistência:

Figura 12 - Valores médio da resistência à compressão e desvio padrão



Fonte: Autor (2025)

Observa-se que os corpos de prova confeccionados com o resíduo passante na peneira N° 150 com adição de 20% de, sofreu uma leve redução da resistência à compressão, atingindo cerca de 2,60 MPa, com um desvio padrão alto. No entanto, com a elevação da proporção de resíduo para 30%, ainda na peneira N° 150, a resistência foi ligeiramente superior à da amostra de referência, alcançando aproximadamente 3,0 MPa, o que sugere um possível efeito de preenchimento proporcionado pelo resíduo mais fino.

Os corpos de prova fabricados com o resíduo passante na peneira N° 200, apresentaram uma maior média de resistência à compressão. As amostras que continham 20% de resíduo, a resistência média aumentou para cerca de 3,2 MPa, e com 30%, atingiu o maior valor dentre todas as composições testadas, chegando a aproximadamente 4,0 MPa. Além disso, o desvio padrão dessas amostras foi menor, indicando maior consistência dos resultados.

Portanto, esses dados indicam que a produção da mistura solo-cimento com resíduos de cerâmica vermelha com partículas mais fina e uma maior proporção de resíduo, garante ao material uma resistência à compressão mais satisfatória. Para Aguiar *et al.* (2024), esse aumento na resistência à compressão pode ser explicado pelo efeito de empacotamento das

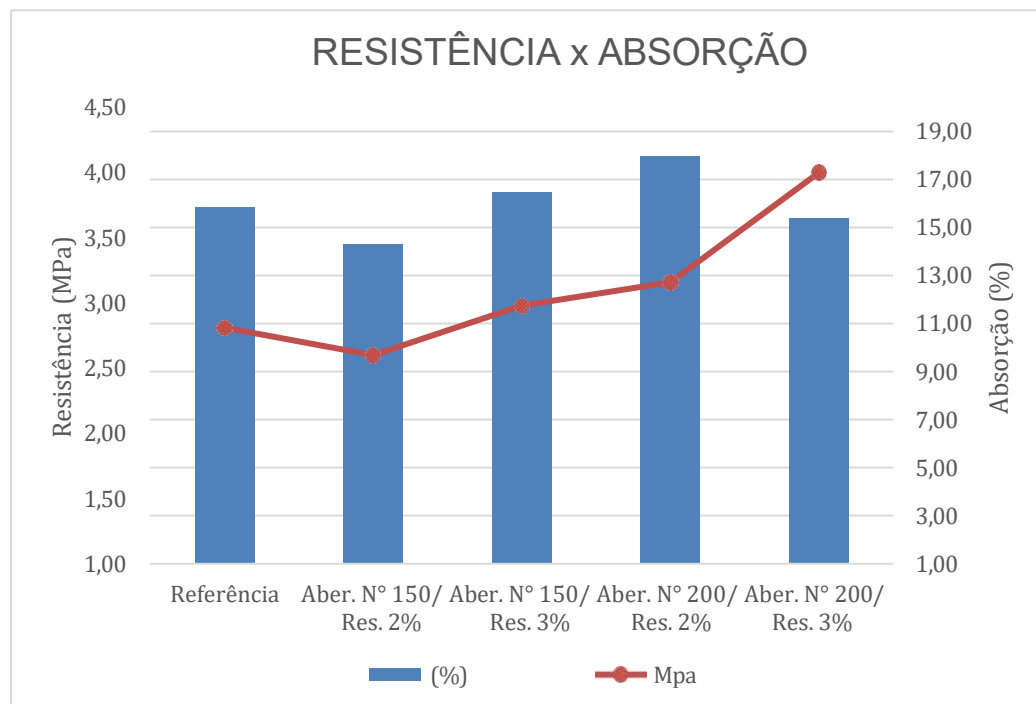
partículas do resíduo cerâmico, que vem a contribuir para uma compactação mais eficiente e uma maior coesão entre os componentes.

4.1.3 Relação entre a absorção de água e resistência à compressão

Os corpos de prova confeccionados com o resíduo passante na peneira N° 200 e proporção de 30% de resíduo de cerâmica vermelha, apresentaram maior resistência à compressão e uma porcentagem de absorção de água baixa. É perceptível que existe uma estreita relação entre a resistência à compressão e a absorção de água do material. Segundo Amaral (2016), a resistência à compressão e a absorção de água estão intrinsecamente conectadas, demonstrando que o aumento da resistência à compressão correlaciona-se com a diminuição da absorção de água.

Os valores da mistura supracitada corroboram com o autor, onde a mesma alcançou a maior resistência à compressão simples e também obteve uma porcentagem de absorção de água baixa. A relação entre a resistência mecânica e a absorção de água desse estudo está ilustrada na figura a seguir:

Figura 13 - Resistência à compressão X Absorção de água



Fonte: Autor (2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados experimentais obtido nessa pesquisa, é possível concluir que:

- A incorporação do resíduo de cerâmica vermelha, em substituição parcial ao cimento na mistura de solo-cimento para a produção de tijolos, comprovou que todas as composições ensaiadas atenderam os requisitos normativos de absorção de água e resistência à compressão simples.
- A maior resistência à compressão foi observada nos corpos de prova produzidos com o resíduo de cerâmica vermelha com grãos mais fino e com maior porcentagem desse resíduo na mistura.
- Todos os corpos de prova confeccionados apresentaram absorção de água abaixo dos 20% estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).
- Considerando os aspectos técnicos, a substituição parcial do aglomerante por resíduo de cerâmica vermelha, se mostra viável para produção de tijolos solo-cimento. Da perspectiva ambiental, dispõe-se da grande vantagem de redução no uso do cimento, oferecendo destinação final a um passivo ambiental da indústria ceramista.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

1. Aplicar a metodologia deste estudo a novas composições de solo, cimento e RCV.
2. Aumentar a porcentagem de RCV em substituição parcial ao cimento, ajustando a proporção de cimento e, com isso, avaliar as propriedades tecnológicas desta mistura, chegando desta forma, a máxima substituição a ser incorporada dentro dos requisitos estabelecidos pelas NBRs equivalentes.
3. Variar o tamanho granular do resíduo cerâmico, inserindo-o parcialmente como aglomerante na mistura solo-cimento, variando o tamanho dos grãos em função do tempo de moagem, visando um produto com melhor empacotamento de partículas.
4. Avaliar se há melhorias nas propriedades físicas e mecânicas do material devido a um tempo de cura superior a 7 dias, isto é, aos 14 e 28 dias.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002) **Guia básico de utilização do cimento Portland**. BT-106, 7. ed., São Paulo. 28p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) **Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. NBR 8492**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 7 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). **NBR 13555: Solo-cimento Determinação da absorção de água - Método de ensaio**. 5 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:2025: Solos - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo — Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2025.

AGUIAR, Amanda de Oliveira. **AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**. 2024. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - Rj, 2024.

AGUIAR, Amanda de Oliveira *et al.* **Inovação sustentável na construção: tijolos de solo-cimento melhorados com resíduo cerâmico reciclado**. Revista Caderno Pedagógico, Rio de Janeiro, v. 13, n. 21, p. 01-24, 12 jun. 2024.

ALMEIDA, Valeria Castro de et al. **Avaliação da influência da granulometria no reaproveitamento de resíduos de blocos cerâmicos**. Rio de Janeiro: Brazilian Journal Of Development, 2020. 14 p.

Amaral, M. C. (2016) **Avaliação dos efeitos da incorporação de resíduo de lama de cal nas propriedades e microestrutura de uma mistura solo-cimento**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

ANICER. 2020. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>. Acesso em: 02 abr.2025.

Campos, R. F. F., Weber, E., & Borga, T. (2017). **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil**. IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação.

Caputo, H.P., **Mecânica dos solos e suas aplicações**, vol.1, Editora LTC, 6a edição, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

CUNHA, V. M. **Avaliação experimental da mistura solo-cimento para aplicação em camadas de base de pavimentação**. 2015. Trabalho de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas, Brasília, 2014.

DANTAS, Micaela Maria. **TRABALHO, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NO APL DE CERÂMICA VERMELHA DO RIO GRANDE DO NORTE**. 2021. 64 f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciências Econômicas, Departamento de Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - Rn, 2021.

DALLACORT, Rivanildo *et al.* **Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [s. l], v. 6, n. 3, p. 511-518, 29 abr. 2002.

FERNANDES, Hugo Lavor. **Análise das propriedades mecânicas do tijolo ecológico de argila vermelha com adição de pó de granito**. 2016. 39 f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2016.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaaios dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 365 p.

GARCIA, E., CABRAL JUNIOR, M., QUARCIONI, V. A., et al. **Resíduo de cerâmica vermelha (RCV): uma alternativa como material pozolânico**. Revista Cerâmica Industrial, v. 19, n. 4, pp. 31 – 38, Julho/Agosto 2014.

GÓIS, Luciano Costa de. **ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA CAL EM COMPOSIÇÕES BINÁRIAS DE SOLO-CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS MACIÇOS**. 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

Kasinikota, P., & Tripura, D. D. (2021). **Evaluation of compressed stabilized earth block properties using crushed brick waste**. Construction and Building Materials, 280, 122520. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122520>

MARCHIORI, Jordan Cunha. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO PRENSADOS COM A INCORPORAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS**. 2020. 122 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo Campus São Mateus, São Mateus-Es, 2020.

OLIVEIRA, P. H. M. **Influência da adição de resíduo cerâmico nas propriedades mecânicas do concreto**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2014.

PRESA, Marcello Bastos. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo-cimento**. 2011. 41 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília-Df, 2011.

PUREZA, Júlio César Cestari; VICENZI, Juliane; BERGMANN, Carlos Pérez. **Utilização de**

Resíduos de Baixa Granulometria como Matéria-prima na Produção de Cerâmica Vermelha: Considerações quanto aos Mecanismos de Sinterização. Cerâmica Industrial, Porto Alegre/Rs, p. 27-33, 12 maio 2007.

ROCHA, Cyntia de Oliveira et al. **Caracterização de blocos em concreto para alvenaria estrutural do município de Muriaé-MG.** Revista Interdisciplinar de Pensamento Científico, Itaperuna, v. 3, n. 2, p. 98-111, jul. 2017.

Sampaio, G. S., & Nunes, I. E. S. (2017). **Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade.** Janus, 12 (22).

Silva, J., de Brito, J., & Veiga, M. R. (2007). **Avaliação do comportamento à água de argamassas com incorporação de agregados cerâmicos.** Engenharia Civil, n. o28, Escola de Engenharia Da Universidade Do Minho, Guimarães, 37–45.

Silva, R. A., Soares, E., Oliveira, D. V, Miranda, T., Cristelo, N. M., & Leitão, D. (2015). **Mechanical characterisation of dry-stack masonry made of CEBs stabilised with alkaline activation.** Construction and Building Materials, 75, 349–358.

SOUSA, Julião Ferreira de. **FABRICAÇÃO E ANÁLISE DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO.** 2018. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé/Rj, 2018.

SOUSA, André Albino de. **POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUO CERÂMICO EM MISTURA DE SOLO-CIMENTO PARA APLICAÇÃO EM CAMADA DE PAVIMENTAÇÃO.** 2020. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

UNILA. **Construções sustentáveis exigem preocupação com materiais e processos.** 2022. Disponível em: <https://portal.unila.edu.br/noticias/construcoes-sustentaveis>. Acesso em: 08 abr. 2025.

ANEXO A – MÉDIA DOS VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS 5 CORPOS DE PROVA ENSAIADOS

