

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ROMÁRIO SILVA DOS SANTOS

ANÁLISE DA RESISTENCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM
CORPOS DE PROVA DE SOLO-CIMENTO PRENSADO

MONOGRAFIA

ARACAJU

2023

ROMÁRIO SILVA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA RESISTENCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM
CORPOS DE PROVA DE SOLO-CIMENTO PRENSADO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. MSc. Emiliana de Souza Rezende Guedes.

ARACAJU

2023

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária: Elizabete T. Ramos - CRB-5/1028.
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Romário Silva dos

S237a Análise da Resistência à Compressão e Absorção de Água em
Corpos de Prova de Solo-Cimento Prensado. Aracaju/SE. /Romário
Silva dos Santos. – Aracaju, 2023.

64 f. : il.

Orientador :MSc. Emiliana de Souza Rezende Guedes. Monografia
(Graduação - Engenharia civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2023.

1. Tijolo Ecológico. 2. Impermeabilizante. 3. Aditivo. 4. Resina. I.
Guedes, Emiliana de Souza Rezende. II. Título.

CDU 69

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 282

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM
CORPOS DE PROVA DE SOLO CIMENTO PRENSADO**

ROMÁRIO SILVA DOS SANTOS

Esta monografia foi apresentada às 19 h do dia 10 de Janeiro de 2024 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof.^ª Dr.^ª Carla Cristina Nascimento
Santos Pereira

(IFS – Campus Aracaju)


Prof. M.Sc. Wilson Ramos Aragão Júnior

(Engenheiro Civil)


Prof.^ª M.Sc. Emiliana de Souza Rezende
Guedes

(IFS – Campus Aracaju)
Orientador


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico este trabalho aos meus pais
por todo o apoio e abdições para
que eu pudesse voar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Rosinalva e Marcelo, por todo o apoio, esforço, dedicação e abdições que fizeram ao longo de todos esses anos para que eu pudesse sonhar.

Agradeço aos amigos que me proporcionaram sorrisos, esperança e força, em especial, Luciana, Natália e Lucas, vocês são magníficos.

Agradeço à professora Emiliana, que não é somente a melhor professora que o IFS já teve como também é um ser humano incrível que me ensinou que a vida é além da graduação, sem você Emi a graduação não seria leve e divertida. Agradeço também aos laboratoristas Denison e Rafael que tiveram a paciência de me aturar e que tiveram sempre dispostos a me ajudar.

Agradeço a todas as pessoas que passaram na minha vida, que me incentivaram, que me impulsionaram, que me fizeram seguir em frente. Obrigado por todas as experiências e momentos.

“Você nunca deve ter medo do que está fazendo quando está certo”
- Rosa Parks.

RESUMO

Santos, Romário Silva dos. **Análise da resistência à compressão e absorção de água em corpos de prova de solo-cimento prensada**. 64 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

A técnica de solo-cimento na Engenharia Civil se destaca pela eficaz combinação de materiais fundamentais, sustentabilidade ambiental e versatilidade estrutural. Ao empregar uma mistura homogênea de solo, cimento e água, essa abordagem resulta em construções robustas e duráveis, abordando as preocupações relacionadas à eficiência energética e responsabilidade ambiental. A adição de aditivos impermeabilizantes reforça a resistência contra água e umidade. A pesquisa ressalta a importância da dosagem precisa e execução cuidadosa dos procedimentos. Os resultados indicam que um período de cura prolongado, especialmente com submersão por 24 horas, resulta em maior resistência à compressão em corpos de prova de solo-cimento. Corpos de prova submersos por 24 horas sem aditivo apresentaram uma média de tensão de ruptura de 2,98 MPa, enquanto aqueles com 4% de aditivo alcançaram 2,42 MPa, os com 8% atingiram 2,31 MPa, e os contendo resina registraram uma média de tensão de 2,49 Mpa. Entretanto, amostras com 4 horas de submersão não atendem aos requisitos normativos para a fabricação de tijolos ecológicos. O corpo de prova com melhor desempenho nesse caso teve uma média de tensão de ruptura de 1,91 MPa. Quanto ao teste de absorção de água, destaca-se que a concentração de 8% de aditivo apresentou uma taxa de absorção mais eficaz de 13,37%. No que diz respeito aos aditivos impermeabilizantes, sua introdução gerou resultados ambíguos, ressaltando a importância da dosagem precisa para evitar impactos negativos na resistência, conforme observado em corpos de prova específicos.

Palavras-chave: Tijolo ecológico, impermeabilizante, aditivo, resina.

ABSTRACT

Santos, Romário Silva dos. **Analysis of compression strength and water absorption in pressed soil-cement specimens**. 64 pages. Monograph (Bachelor's in Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science, and Technology of Sergipe – Aracaju Campus. 2023.

The soil-cement technique in Civil Engineering stands out for its effective combination of fundamental materials, environmental sustainability, and structural versatility. By employing a homogeneous mixture of soil, cement, and water, this approach results in robust and durable constructions, addressing concerns related to energy efficiency and environmental responsibility. The addition of waterproofing additives strengthens resistance against water and humidity. The research emphasizes the importance of precise dosing and careful execution of procedures. Results indicate that an extended curing period, especially with 24-hour immersion, leads to higher compression strength in soil-cement specimens. Specimens submerged for 24 hours without additives showed an average rupture stress of 2.98 MPa, while those with 4% additive reached 2.42 MPa, those with 8% achieved 2.31 MPa, and those containing resin recorded an average stress of 2.49 MPa. However, samples with 4 hours of immersion do not meet regulatory requirements for the production of ecological bricks. The best-performing specimen in this case had an average rupture stress of 1.91 MPa. Regarding the water absorption test, it is noteworthy that the 8% additive concentration exhibited a more effective absorption rate of 13.37%. As for waterproofing additives, their introduction yielded ambiguous results, underscoring the importance of precise dosing to avoid negative impacts on strength, as observed in specific specimens.

Keywords: Ecological brick, waterproofing, additive, resin.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de distribuição geográfica de arquitetura de terra.	17
Figura 2: Construção de casa de adobe.	19
Figura 3: Construção de taipa de mão.	20
Figura 4: Construção de tijolo ecológico.	21
Figura 5: Construção de paredes monolíticas.	23
Figura 6: Aplicação de impermeabilizante.	32
Figura 7: Curva granulométrica do solo argiloso.	38
Figura 8: Curva granulométrica do solo arenoso.	39
Figura 9: Curva da compactação do compósito.	40
Figura 10: Traço da mistura (cimento, argila e areia).	43
Figura 11: Traço com adição de água e homogeneizado.	44
Figura 12: Separação das camadas dos CP's.	44
Figura 13: Cilindro e Tarugos de compactação.	45
Figura 14: Porção da amostra dentro do cilindro de moldagem.	46
Figura 15: Frações da amostra prontas para o processo de compactação (Segunda fração). ..	46
Figura 16: Moldagem da mistura na prensa.	47
Figura 17: Extração do Corpo de Prova.	48
Figura 18: Cura dos Corpos de Prova envolto de plástico filme.	49
Figura 19: CP's submersos em água.	50
Figura 20: CP's seco superficialmente e pesado.	51
Figura 21: Adaptador para ruptura de solo-cimento.	52
Figura 22: Ruptura dos copos de prova.	53
Figura 23: Comparativo da Resistência à compressão dos CP's submetidos a 4h de imersão.	54
Figura 24: Comparativo da Resistência à compressão dos CP's submetidos a 24h de imersão.	56
Figura 25: Comparativo da Resistência à compressão e valores médios de todos os CP's ensaiados.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Especificações dos Corpos de Prova.	42
Quadro 2: Quantitativo de material para moldagem.	43
Quadro 3: Resultados da resistência a compressão em CP's submetidos a 4h de imersão.	54
Quadro 4: Resultados da resistência a compressão em CP's submetidos a 24h de imersão. ..	55
Quadro 5: Valores médios das tensões de compressão.....	57
Quadro 6: Ganho de resistência de todos os CP's ensaiados.....	58
Quadro 7: Resultado do ensaio de absorção de água.	58

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	Histórico de Construções com Solo	16
3.2.	Métodos de Construção com Terra	18
3.2.1.	Adobes	18
3.2.2.	Taipa de mão	19
3.2.3.	Tijolos	20
3.2.4.	Paredes Monolíticas	22
3.2.5.	Outros métodos	23
3.3.	Solo-cimento	26
3.4.	Escolha do Solo	28
3.5.	Dosagem da Mistura	29
3.6.	Impermeabilização	30
3.7.	Aditivos para Aumentar a Resistência à Compressão	32
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1.	Materiais	38
4.1.1.	Solo	38
a)	Solo argiloso	38
b)	Solo arenoso	39
c)	Mistura	40
4.1.2.	Cimento	41
4.1.3.	Aditivos	41
4.2.	Métodos	41
4.2.1.	Preparação das misturas	41
4.2.2.	Moldagem dos corpos de prova	42
4.2.3.	A cura	48
4.2.4.	Ensaio de absorção de água	49
4.2.5.	Ensaio de compressão simples	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1.	Resistencia à Compressão	54
5.2.	Absorção de Água	58
6.	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

A construção de solo-cimento representa uma abordagem singular e inovadora no âmbito da Engenharia Civil caracterizada pela combinação eficaz de materiais básicos, sustentabilidade ambiental e versatilidade estrutural. Essa técnica, que utiliza uma mistura homogênea de solo, cimento e água, tem conquistado destaque devido à sua capacidade de proporcionar edificações sólidas e duráveis, ao mesmo tempo em que responde a preocupações crescentes relacionadas à eficiência energética e à responsabilidade ambiental. Essa técnica representa um avanço significativo na busca por métodos construtivos que conciliam desempenho estrutural, acessibilidade de materiais e preocupações ambientais.

O solo-cimento é caracterizado pela sua simplicidade e eficácia, incorporando ingredientes que frequentemente estão disponíveis localmente, reduzindo assim a necessidade de importação de materiais. Ao utilizar recursos naturais do entorno, essa técnica não apenas minimiza os custos associados ao transporte de materiais, mas também diminui a pegada de carbono e os impactos ambientais ligados à produção e extração de materiais de construção convencionais.

A versatilidade do solo-cimento é uma de suas características mais marcantes. Essa técnica pode ser aplicada em diversos contextos, desde habitações rurais até projetos urbanos mais complexos, tornando-se uma escolha atrativa para diferentes tipos de projetos, desde habitações residenciais até infraestruturas públicas, demonstrando adaptabilidade a diferentes tipos de solo e condições climáticas. A utilização não se restringe apenas às fundações, abrangendo paredes, pisos e outros elementos estruturais, evidenciando a amplitude de aplicações que a torna uma opção valiosa em variados cenários construtiva.

Ao longo das últimas décadas, a construção de solo-cimento tem se destacado como uma alternativa viável em comparação com métodos tradicionais, demonstrando não apenas robustez estrutural, mas também uma menor pegada ambiental.

Além disso, a construção de solo-cimento tem sido objeto de avanços tecnológicos, incorporando técnicas modernas para aperfeiçoar o processo construtivo e aumentar a eficiência. A introdução de aditivos específicos, como os impermeabilizantes, amplia ainda mais as possibilidades, conferindo à estrutura uma resistência adicional contra os elementos, especialmente em ambientes propensos a variações climáticas extremas.

A construção de solo-cimento com a adição de impermeabilizantes representa uma abordagem avançada e ecoeficiente no cenário da construção civil. Esta técnica combina a versatilidade do solo-cimento, uma mistura de solo, cimento e água que endurece formando

uma estrutura robusta, com a eficácia dos aditivos impermeabilizantes, que conferem à estrutura propriedades de resistência à água e umidade.

A aplicação de aditivos impermeabilizantes no solo-cimento não apenas aumenta a durabilidade da estrutura, mas também oferece benefícios adicionais, como a prevenção de infiltrações, a proteção contra a corrosão de armaduras metálicas e a redução do risco de patologias construtivas relacionadas à umidade. Essa combinação proporciona uma solução integral para desafios comuns enfrentados na construção, especialmente em regiões propensas a condições climáticas adversas.

Ao criar uma barreira eficaz contra a penetração de água, a construção de solo-cimento com aditivo impermeabilizante torna-se uma opção atrativa para edificações que demandam alta resistência estrutural e proteção contra intempéries. Essa técnica não apenas responde às necessidades práticas da construção, mas também se alinha com as preocupações ambientais ao aproveitar materiais locais, como solo, e reduzir a dependência de métodos construtivos mais tradicionais e menos sustentáveis.

Além disso, de acordo com o Mapa da Obra (2023), a aplicação de aditivos impermeabilizantes pode ser adaptada para atender a diferentes requisitos específicos, tornando-se uma solução versátil que pode ser empregada em uma variedade de contextos construtivos. Assim, a construção de solo-cimento com aditivo impermeabilizante destaca-se como uma prática que não apenas reforça a estabilidade estrutural, mas também responde aos desafios contemporâneos da construção de forma inovadora e sustentável.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é analisar o comportamento de compósitos formados por solo-cimento e aditivos impermeabilizantes. O objetivo principal consiste em realizar uma análise mais minuciosa e abrangente do desempenho desses materiais, explorando aspectos como resistência e impermeabilidade.

2. OBJETIVOS

Investigar o comportamento mecânico e da capacidade de absorção de água do compósito de solo-cimento prensado.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar as características físicas do solo empregado na produção dos corpos de prova de solo-cimento;
- Estudar a influência da presença de aditivos impermeabilizantes na resistência à compressão e na absorção de água dos corpos de prova de solo-cimento;
- Examinar o efeito da concentração de aditivos impermeabilizantes na resistência à compressão e na absorção de água do solo-cimento;
- Analisar o efeito da cura e do tempo de imersão em água na resistência à compressão do solo-cimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica desempenhou o papel de alicerce teórico neste estudo, abordando um conteúdo essencial para a compreensão do tema proposto. Nesse sentido, foi realizada uma investigação em fontes como livros, normas técnicas e trabalhos científicos, buscando obter o embasamento adequado sobre o comportamento de solo-cimento.

3.1. Histórico de Construções com Solo

Nas civilizações primitivas, o homem utilizava os materiais encontrados na natureza sem modificá-los. Porém, não demorou muito para que ele começasse a aprender a moldá-los e adaptá-los às suas necessidades. A evolução ocorreu em um ritmo lento até a época dos Grandes Descobrimentos, quando a técnica se resumia em modelar os materiais disponíveis, que eram poucos e tinham usos quase sempre limitados. Na construção, os materiais mais utilizados eram pedra, madeira e barro. Os metais eram usados em menor escala, assim como couros e fibras vegetais (BAUER, 1994).

A utilização do solo como material de construção é uma demonstração marcante das possibilidades de aproveitamento dos recursos naturais abundantes na convivência do homem com a natureza. Os antigos já conheciam essa disponibilidade e a exploraram de forma exemplar. Algumas das suas obras resistiram à ação abrasiva dos ventos e das chuvas ao longo dos séculos, como a Grande Muralha da China, que é um dos primeiros exemplos, e um edifício construído com terra há três mil anos, recentemente descoberto no Paquistão e na Índia. O solo também foi utilizado na construção de edifícios na Babilônia, Mesopotâmia, Assíria e no Egito, onde blocos de adobe foram utilizados pela primeira vez para construção de arcos e domos (CEPED, 1984).

O uso do solo como material de construção não se limitou à Europa, Ásia e África (Figura 1). No Novo Continente, no México, era comum a construção de casas em adobe, que consistiam em tranças de solo cobertas com palha e solo compactado, revestida por pedras. Essa técnica construtiva foi utilizada pelos astecas, olmecas e maias, e as pirâmides encontradas em sítios arqueológicos mexicanos foram construídas dessa forma. A diferença estava no tipo de rocha usada para o revestimento: na península de Yucatán, o calcário, enquanto no resto do país, o tufo vulcânico, às vezes recoberto por reboco pintado. A pirâmide do Sol em Teotihuacán (300-900 d.C.) é um exemplo, com 225 metros de base e 63

metros de altura, consistindo em uma montanha artificial composta por dois milhões de toneladas de terra compactada e revestida por tufo vulcânico (SANTIAGO, 2001).

Figura 1: Mapa de distribuição geográfica de arquitetura de terra.



Fonte: Pontes (2012).

No Brasil, o solo foi amplamente utilizado como material de construção até o século XVIII, principalmente em regiões onde a pedra era escassa. Muros da cidade de Salvador, assim como a Casa Forte construída por Caramuru em 1540, foram construídos em taipa. A Sé de palha e o hospital original do Hospital Santa Isabel também foram erguidos com esse método. As grandes igrejas no interior de Minas Gerais e as pequenas capelas do estado também foram construídas com essa técnica. A arquitetura de solo ainda é encontrada nos arredores de Cuiabá, São Paulo e Goiás, com destaque para a taipa de pilão, cuja difusão foi maior nesses estados. A Casa Bandeirista é um exemplo bem conhecido dessa construção em taipa de pilão, ainda presente em São Paulo, e há um exemplar no Ceará, embora de difícil acesso (SANTIAGO, 2001).

Neste sentido, Lima (2010) cita que cidades como Ouro Preto, Diamantina e Paraty têm em comum o uso intensivo, por cerca de 400 anos, de técnicas de construção com taipa-de-pilão, adobe e taipa-de-sopapo ou pau-a-pique. A utilização de solos como material de construção foi bastante comum até 1845, quando surgiu um novo material, o cimento Portland. A partir de meados do século XIX, o solo passou a ser visto como um material de segunda categoria e foi utilizado quase exclusivamente em áreas rurais.

3.2. Métodos de Construção com Terra

3.2.1. Adobes

O termo "adobe" é usado para se referir tanto ao material de construção quanto à técnica de construção que envolve a moldagem manual de terra plástica, seguida de secagem ao ar para posterior uso em uma obra. Dentro desse método de construção, existem três variações: o adobe manual, feito apenas com as mãos; o adobe moldado, também conhecido como "bloco de lama" ou "adobo", que é moldado em um molde; e o adobe mecânico ou extrudido, que envolve a moldagem e extrusão de terra usando processos mecânicos e industriais (FERNANDES, 2013).

Os adobes, segundo Santiago (2001) apresentam formas e dimensões diversas e podem ser fabricados de maneira manual ou com o auxílio de equipamentos mecânicos, utilizando moldes simples ou múltiplos feitos de materiais como plástico, madeira (revestidos ou não com fórmica) ou metal. É comum o uso de desmoldantes, como óleo, areia ou cinzas, mas também é possível produzi-los sem moldes, utilizando o solo no estado plástico e até mesmo extrusão. A produção dos adobes pode variar amplamente, de 100 a milhares de unidades por homem por dia, dependendo se a moldagem é artesanal ou industrializada. No entanto, é inviável produzi-los em condições de clima extremamente quente ou frio.

O adobe é capaz de gerar formas ortogonais e curvas, desde que sua característica de resistência à compressão seja respeitada. Antes da utilização de moldes, o barro era moldado manualmente, produzindo esferas, cones, cilindros e paralelepípedos. Peças de terra com diversos formatos foram encontradas em ruínas arqueológicas, igrejas, capelas e antigas residências. Atualmente, a técnica mais comum de produção de adobe é a utilização de moldes de madeira para a fabricação de uma ou duas unidades ao mesmo tempo, geralmente em formato retangular. O molde é preenchido com a mistura preparada com solos locais e água, e, em muitos casos, com a adição de fibras vegetais para aumentar a resistência do adobe (NEVES & FARIA, 2011).

A construção com adobe (Figura 2) apresenta a capacidade de armazenamento de calor, o que permite a regulação das necessidades de climatização e ventilação, reduzindo os gastos energéticos e, conseqüentemente, as emissões de gases do efeito estufa. Além disso, a regularização das temperaturas proporciona uma sensação agradável de conforto térmico para os usuários. É possível utilizar materiais locais e naturais abundantes na região para a

fabricação do adobe, que possuem elevada massa térmica, contribuindo para uma construção mais sustentável (VAZ et al.,

Figura 2: Construção de casa de adobe.



Fonte: Viva Decora (2023).

3.2.2. Taipa de mão

A técnica construtiva conhecida como taipa de mão é um método artesanal que integra materiais facilmente encontrados na natureza, como madeira e solo, para abordar desafios habitacionais. Essa prática tem raízes antigas e tem sido empregada ao longo da história da humanidade. Além do termo taipa de mão, essa técnica é também chamada por diversos outros nomes, tais como taipa de sopapo, taponas, enchimento, estuque, barro armado ou pau-a-pique. Em Portugal, é conhecida por expressões como parede de entulho, taipa de sebe ou tabique (LOPES, 1998).

Pisane (2004) afirma que “O termo taipa, genericamente empregado, significa a utilização de solo, argila ou terra como matéria-prima básica de construção. A origem, provavelmente árabe do vocábulo, entrou para a língua portuguesa por influência mourisca.”.

Conforme o CEPED (1984) a técnica construtiva da taipa de mão (Figura 3) envolve a criação de uma rede reticulada de madeira, coberta posteriormente com uma massa de solo plástica. No entanto, devido à heterogeneidade do material, os efeitos da retração da massa de enchimento podem ser significativos. Um revestimento aplicado após a secagem pode

minimizar esse efeito desagregador. No entanto, um possível inconveniente é a durabilidade da madeira embutida nas paredes, que pode ser comprometida ao longo do tempo.

Figura 3: Construção de taipa de mão.



Fonte: Viva Decora (2023).

Com o avanço das tecnologias, foi desenvolvida a técnica de taipa mecanizada. Nessa técnica, são utilizados moldes semelhantes aos da taipa tradicional, mas com diferenças na qualidade e dimensões da cofragem e no meio de compactação. A cofragem pode ser móvel ou removível, dependendo das dimensões utilizadas, e é feita com placas e perfis de contraplacado de madeira ou metal (TORGAL et al. 2009).

3.2.3. Tijolos

Em termos técnicos, pode-se descrever o tijolo como uma pedra artificial produzida a partir da argila e submetida ao processo de queima em forno, resultando em um material com dimensões regulares e formato padronizado (D'ALAMBERT, 1993).

O uso de solo local na produção de tijolo de solo-cimento é uma vantagem significativa, pois torna o processo mais acessível e sustentável. O solo pode ser facilmente obtido no próprio local de construção, reduzindo custos e a necessidade de transporte de materiais. Além disso, essa prática promove o uso racional dos recursos naturais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (EUPHROSINO et al., 2022).

O tijolo de solo-cimento apresenta diversas vantagens, como a geração de uma menor quantidade de resíduos, a possibilidade de utilização de resíduos provenientes de outras construções em sua fabricação e a abundância de sua matéria-prima. Além disso, sua produção é realizada a partir da mistura de solo, cimento e água, e sua montagem é feita por encaixe (Figura 4), o que facilita o assentamento e reduz o tempo de execução, diminuindo também a quantidade de argamassa ou cola necessária. É importante destacar que as estruturas construídas com tijolos de solo-cimento apresentam um peso menor, o que reduz o dimensionamento das fundações e outras estruturas (MOTTA et al., 2014).

Figura 4: Construção de tijolo ecológico.



Fonte: AdNormas (2023).

Os tijolos compactados ou prensados são produzidos a partir da mistura de solo e cimento, compactados ou prensados na umidade ideal. O tijolo compactado é fabricado utilizando-se uma forma simples na qual a mistura úmida de solo-cimento é socada, preferencialmente em uma forma articulada, permitindo uma rápida desmoldagem. Já na fabricação do tijolo prensado, utiliza-se um dispositivo mecânico com um sistema de alavanca para prensar a mistura de solo-cimento. O princípio básico dessas máquinas é submeter a mistura de solo-cimento a altas pressões dentro de uma forma metálica. Em prensas manuais, a pressão de moldagem varia de 2 MPa a 4 MPa, mas em algumas máquinas com prensagem hidráulica, essas pressões podem alcançar valores superiores a 10 MPa. Em ambos os processos, o tijolo resultante é consideravelmente superior aos adobes mencionados anteriormente e pode ser empilhado após dois dias de sua fabricação. Devido às pressões

elevadas de prensagem, o consumo de cimento é reduzido em cerca de 5%, e o tijolo obtido apresenta excelente qualidade, superior até mesmo aos de barro cozido (CEPED, 1984).

3.2.4. Paredes Monolíticas

Uma alternativa de construção habitacional é o uso do solo-cimento compactado em paredes monolíticas. Quando executadas de acordo com as recomendações, essas paredes garantem resistência à compressão simples e a choques mecânico semelhante à de alvenaria comum. A quantidade de cimento empregada na mistura deve ser limitada a um teor ótimo que confira a qualidade necessária ao material, sem aumentar o custo de execução da parede. Além disso, quanto maior for a quantidade de cimento utilizada, maior será a resistência à compressão da parede (ABCP, 1998).

Para a construção de muros e paredes monolíticas, pode-se utilizar a compactação do solo sem aditivos, ou com solo-cimento, entre dois pranchões, geralmente de madeira. Ao compactar o solo na umidade ótima, é possível desmoldar e compactar imediatamente a camada seguinte sobre a anterior. Esse método é conhecido como "taipa de pilão", em oposição à técnica de construção com trama de madeira recoberta, conhecida como "taipa-de-sebe", "taipa de mão" ou simplesmente "taipa" (CEPED, 1984).

Segundo Milane e Barbosa (2016), as paredes monolíticas de solo-cimento consistem em fechamentos verticais compostos por um elemento único e contínuo feito a partir da mistura de solo-cimento-água, podendo ter ou não função estrutural. A técnica mais utilizada para construir essas paredes é a compactação do solo-cimento na umidade ótima, em camadas sucessivas, verticalmente, com o uso de fôrmas, guias e é realizada diretamente no local da construção. Recomenda-se a espessura mínima de 10 cm para essas paredes, o que proporciona rigidez e estabilidade ao conjunto.

A construção de paredes monolíticas (Figura 5) com solo-cimento compactado é uma técnica que apresenta diversas vantagens, como descrito em um Boletim técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1998). Algumas das principais vantagens são:

- a. O solo local pode ser utilizado na maioria dos casos, o que reduz ou elimina o custo de transporte de material;
- b. Em muitos casos, é dispensável o uso de revestimento, já que as paredes apresentam acabamento uniforme e liso, desde que protegidas da ação direta da água;

- c. Não é necessária a contratação de mão-de-obra especializada.

Figura 5: Construção de paredes monolíticas.



Fonte: Vitruvius (2022).

3.2.5. Outros métodos

Santiago (2001) menciona a existência de diferentes sistemas construtivos além dos mencionados, como:

- a. “Terra” escavada: Esse tipo de construção visa proteger o interior do edifício do calor diário, minimizando as variações térmicas. Era comuns em cenários com escassez de materiais, restrições de tempo e recursos limitados. Existem duas abordagens principais: a escavação horizontal, em que habitações interconectadas ou isoladas são construídas em montanhas por comunidades trogloditas, com fachadas que escondem a escavação; e a escavação vertical, realizada em terrenos planos, com acesso à construção por escadas ou rampas. No entanto, esses métodos apresentam desafios como erosão e drenagem pluvial adequada.
- b. “Terra” de cobertura: o solo é empregado principalmente como um revestimento para telhados em habitações tradicionais ou em casas enterradas que possuem uma estrutura independente feita de outro material. Em algumas situações, também é utilizada uma combinação de solo com estrutura metálica. Camadas de solo com espessura de 40 a 50 cm, usadas como cobertura, podem reduzir as perdas de calor por isolamento em até 50 a 90%, além de proporcionar um isolamento acústico

mais eficiente. Esse processo de isolamento térmico é amplamente recomendado na arquitetura bioclimática atual. No entanto, o maior desafio enfrentado nessa forma de uso do solo é garantir a adequada drenagem, proteção e estanqueidade.

- c. Terra de enchimento: Essa técnica consiste em utilizar solo para preencher elementos vazios, conferindo maior rigidez e melhor isolamento termo-acústicos às paredes. Para evitar problemas futuros relacionados à umidade e à existência de vazios internos nas paredes, é recomendado o uso de solo seco pulverizado. Essa abordagem é caracterizada por sua execução rápida, dispensando mão de obra especializada e apresentando um custo relativamente baixo. Ela é adequada para construções emergenciais e, em alguns casos, pode ser empregada na construção de moradias destinadas a populações de baixa renda, aproveitando diversos elementos vazios, como pneus velhos, por exemplo.
- d. “Terra” cortada: O solo é empregado diretamente, sem a necessidade de ser processado, ou seja, é simplesmente cortado e utilizado em torrões ou pedaços cortados, preservando sua forma natural. Diversos tipos de solos podem ser utilizados, tais como solos superficiais de boa coesão natural, solos orgânicos ou minerais, ricos em raízes vegetais, ou solos provenientes de regiões áridas, com aglomerações carbonatadas que conferem uma coesão química. No caso de solos ricos em raízes, recomenda-se assentar os blocos com a superfície original voltada para baixo e realizar um reboco para evitar o crescimento de vegetação indesejada.
- e. “Terra” modelada: O solo, em seu estado plástico, pode ser trabalhada manualmente, com ou sem a adição de fibras como palha, pelo de animais ou casca de vegetais. Nesse processo, assemelha-se à moldagem de um pote cerâmico ou de uma escultura, permitindo que a construção adquira formas impressionantes. A técnica exata de controle do solo a ser utilizado ainda não é totalmente conhecida, exigindo um entendimento da tradição local. No entanto, é sabido que essa abordagem dispensa equipamentos sofisticados e requer pouca mão de obra, resultando em custos de construção mais baixos. A espessura das camadas pode variar significativamente, dependendo da técnica adotada. A modelagem direta resulta em paredes mais finas, com cerca de 5 a 7 cm de espessura, enquanto o uso de grandes bolas de terra trabalhadas em camadas (que devem secar antes da aplicação da camada subsequente) resulta em paredes com espessuras maiores.
- f. “Terra” empilhada: Essa técnica pouco conhecida utiliza solo plástico misturado com desengordurantes para construir estruturas de forma simples e econômica.

Encontrada em habitações rurais no Afeganistão e em construções de vários andares no Iêmen, ela apresenta rápida execução, porém requer uma secagem prolongada. O material utilizado pode ser solo siltoso com argila, casca de grãos ou palha trançada, ou solos arenosos com pedregulhos. As camadas de solo são moldadas em bolas empilhadas, com cerca de 66 cm de altura, regularizadas com peças de madeira e alisadas à mão. Após 2 ou 3 semanas, a próxima camada é aplicada, proporcionando proteção contra a água da chuva. No Brasil, há uma variante chamada "barroca", na qual os excessos são cortados antes da secagem completa. Essa técnica seria indicada para habitações de baixa renda, reduzindo custos e oferecendo inércia térmica.

- g. “Terra” derramada: A técnica de utilizar terra no estado líquido, semelhante ao concreto, oferece vantagens como baixo consumo de energia, versatilidade e não exigência de mão-de-obra especializada. Pode ser aplicada na pré-fabricação de elementos, construção de muros e pavimentos. No entanto, a retração durante a secagem é um desafio, que pode ser minimizado com redução das dimensões dos elementos ou estabilização adequada. Na produção de tijolos, é necessário conhecimento da consistência da terra, enquanto fissuração pode ocorrer em paredes inteiriças. Pavimentos em terra derramada são fáceis de executar, podendo ser internos ou externos, com diferentes acabamentos e impermeabilização. O solo estabilizado com cimento é adequado para canais de irrigação ou drenagem.
- h. “Terra” sobre estrutura: A técnica de construção com terra, utilizando solo plástico e misturado ou não com fibras vegetais, é aplicada manualmente sobre uma estrutura portante, como madeira, bambu ou palha trançada. A parede é envolvida completamente pela terra, interna e externamente, sendo recomendado o uso de reboco para proteção adicional e evitar a entrada de animais. O solo utilizado deve ser argiloso, porém com baixa expansão. Embora seja considerada menos durável, com boas fundações e cobertura adequada, pode durar até 50 anos mesmo em áreas com chuva intensa e ameaças de térmitas e roedores. A técnica é resistente a terremotos, tem custo relativamente baixo e permite fácil substituição e ampliação das paredes. Atualmente, também é utilizada em países industrializados.

3.3. Solo-cimento

Os solos não saturados tendem a exibir variações volumétricas ao sofrer alterações no teor de umidade. Pode-se dizer então que, de uma forma geral, seja em maior ou menor escala, todos os solos apresentam um potencial de expansibilidade quando a tensão efetiva entre suas partículas é reduzida por algum motivo. No entanto, costuma-se admitir como solos expansivos aqueles que apresentam expansões superiores a 1% quando estiverem, exclusivamente, em contato com a água, ou seja, sem a necessidade de um carregamento adicional (COSTA NUNES, 1978).

Chama-se de solo-cimento a uma quantidade de solo (terra natural) em que é colocada uma pequena parte de cimento e água, cuja mistura parece uma “farofa”. Quando compactada, a mistura (solo + cimento + água) adquire resistência compatível para seu uso em fundações, contrapisos, paredes monolíticas, tijolos e blocos (ABCP, 1985).

Para a produção do solo-cimento, o solo representa cerca de 85% do total de materiais utilizados. Embora quase todos os tipos de solo possam ser utilizados, os solos economicamente viáveis são aqueles que requerem uma quantidade relativamente baixa de cimento e são fáceis de serem manuseados em grande escala (LOPES, 2002).

Ainda de acordo com Lopes (2002), a qualidade do solo-cimento é influenciada pelo conjunto de propriedades do solo, de modo que a presença de uma única característica desfavorável pode prejudicá-lo, tornando-o inadequado para uso em solo-cimento ou exigindo medidas especiais e muitas vezes caras para seu aproveitamento.

Na elaboração do solo-cimento, destaca-se o solo como o componente preponderante, sendo imperativo escolhê-lo de maneira a aperfeiçoar o consumo de cimento. Na falta de solos que atendam às características requeridas, alguns autores contemplam a opção de combinar dois ou mais tipos de solo, ou mesmo de incorporar areia grossa, visando obter um resultado que seja vantajoso tanto do ponto de vista técnico quanto econômico (FERRAS & SEGANTINI, 2004).

Aprimorar as características dos solos por meio da adição de produtos químicos é uma prática comum, sendo o cimento um dos mais utilizados. O uso do cimento tem como objetivo principal aumentar a resistência mecânica dos solos e aumentar sua durabilidade. O cimento atua como um agente aglutinante, permitindo a cimentação entre as partículas do solo e contribuindo principalmente para o aumento da resistência mecânica. Além disso, o cimento modifica a fração argilosa do solo, permitindo principalmente uma menor expansibilidade. As propriedades dos solos estabilizados com cimento são influenciadas por vários fatores, como

o tipo de solo, a quantidade de aditivo, as condições de aplicação, o grau de mistura e o tempo de cura (CRUZ, 2014).

Embora qualquer tipo de cimento pode ser usado, o cimento Portland é o mais empregado na estabilização do solo. Segundo Neville (2016), o cimento Portland recebe esse nome devido à sua semelhança em cor e qualidade com a pedra de Portland, um calcário extraído em Dorset. Ele é amplamente utilizado em todo o mundo para descrever o cimento obtido pela queima, a uma temperatura de clínquerização, de uma mistura íntima de materiais calcários e argilosos, ou de outros materiais contendo sílica, alumina e óxido de ferro seguida pela moagem do clínquer resultante. Essa definição do cimento Portland é seguida por várias normas, incluindo a adição de sulfato de cálcio após a queima. Atualmente, também é possível adicionar ou misturar outros materiais ao cimento.

O cimento Portland é composto por constituintes fundamentais, que incluem cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), uma certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena quantidade de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de endurecimento do produto. Além disso, possui impurezas como óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), óxido de titânio (TiO_2) e outras substâncias de menor importância. Os principais componentes do cimento Portland são cal, sílica, alumina e óxido de ferro, que geralmente correspondem a 95-96% do total na análise de óxidos. A magnésia está presente em uma proporção de 2-3% e é limitada a um valor máximo de 5% pelas especificações, embora no Brasil esse limite seja um pouco maior (6,4%). Os óxidos menores estão presentes em proporções inferiores a 1%, excepcionalmente chegando a 2% (BAUER, 1998).

No cenário construtivo brasileiro, a alvenaria se destaca como o método predominante na edificação de estruturas. No estudo apresentado por Oliveira et al. (2022) que introduz o bloco de solo-cimento como uma alternativa potencial aos métodos tradicionais estabelecidos. A pesquisa avalia o desempenho de blocos cerâmicos, de concreto e de solo-cimento, analisando tanto sua viabilidade econômica quanto sua aplicação em habitações de baixo custo. Notavelmente, o bloco de solo-cimento se destaca como uma opção competitiva e menos impactante ambientalmente em comparação com os métodos convencionais, atendendo a todos os critérios de habitabilidade estabelecidos nas normas examinadas. Adicionalmente, sua viabilidade econômica destaca-se, consolidando-o como uma alternativa eficaz para a construção de moradias em larga escala. A análise comparativa entre os três métodos do estudo conclui que o método de alvenaria de solo-cimento é mais apropriado para a construção de habitações de interesse social, podendo resultar em economias significativas

nos custos totais da obra em comparação com os métodos convencionais. A principal vantagem desse sistema construtivo reside na eficiência em escala, proporcionando uma conclusão mais rápida e econômica da obra, considerando a mesma quantidade de mão-de-obra. Além disso, ressalta-se a sustentabilidade ambiental desse método, que evita o processo de queima, reduzindo o uso de combustíveis fósseis, emissões de poluentes e a exploração de recursos naturais e hídricos.

3.4. Escolha do Solo

Para escolher o solo mais apropriado entre as opções disponíveis no local da construção, é necessário coletar amostras representativas dos solos em quantidades suficientes para realizar todos os ensaios e testes necessários. Para compor uma amostra do solo, devem ser coletadas porções dele em vários pontos do terreno. Em seguida, as porções coletadas devem ser misturadas uniformemente e divididas em quatro partes iguais, utilizando o processo de quarteamento, para obter a amostra a ser estudada. O processo de quarteamento consiste em formar um monte com a amostra inicial, dividir esse monte em quatro partes iguais, juntar duas partes opostas e descartar as outras duas. Se a amostra inicial for muito grande, o procedimento de quarteamento pode ser repetido várias vezes até que se obtenha a porção adequada para os testes e ensaios de seleção (NEVE & FARIA, 2011).

Os solos ideais para a mistura com o cimento são os que possuem teor de areia um pouco superior a cinquenta por cento, devendo-se evitar solos com matéria orgânica (CEPED, 1984.).

Para que o solo seja adequado para a produção de tijolos de solo-cimento, é importante que ele apresente certa plasticidade e que seu limite de liquidez não seja muito elevado (inferior a 40-45%). Geralmente, recomenda-se utilizar solos que contenham os seguintes percentuais: 10% a 20% de argila, 10% a 20% de silte e 50% a 70% de areia (FRAGA et al., 2015).

De acordo com a Cartilha de Produção de Tijolo de Solo-Cimento (2016), é necessário realizar uma análise preliminar da amostra, que envolve os seguintes exames:

- a. Exame visual: observa-se a cor e a composição da amostra no estado seco, incluindo o tamanho dos grãos. Para isso, examina-se uma amostra em estado seco e observam-se seus componentes arenosos (areia) e argilosos (argila). Vale ressaltar que a porção fina (argilas e limo) que é composta por partículas inferiores a 0,08mm não pode ser visualizada a olho nu.

- b. Exame de odor: detecta-se a presença de matéria orgânica e odores desagradáveis. Se a amostra contiver elementos orgânicos ou cheirar a húmus, essa terra não é adequada para construção.
- c. Exame tátil: identifica a composição e o tamanho dos grãos do material, triturando a amostra entre os dedos e a palma da mão. A terra arenosa apresenta sensação de rugosidade e é fácil de moer. A terra limosa tem ligeira impressão de rugosidade, é fácil de fazer pó e apresenta uma plasticidade média quando úmida. Já a terra argilosa apresenta torrões que resistem à compressão no estado seco e absorve água lentamente no estado úmido, transformando-se em uma massa plástica e colante.
- d. Exame de mordida: identifica o grão com o maior tamanho, onde a terra arenosa provoca sensação desagradável entre os dentes e a terra argilosa sentimos uma sensação lisa e farinhosa entre os dentes.
- e. Exame de água corrente: identifica a proporção de finos na amostra, onde as mãos devem ser lavadas após esfregá-las com a terra ligeiramente úmida. A terra arenosa é fácil de enxaguar, a terra limosa provoca sensação de secura e não é difícil de enxaguar, enquanto a terra argilosa tem uma aparência esponjosa e é muito difícil de enxaguar, sem que a pressão da água seja muito forte.
- f. Exame de aderência: observa-se a quantidade de argila na amostra, onde toma-se um pouco de terra úmida que não se adere aos dedos e corta-se com uma espátula. A terra é bem argilosa se a espátula penetra sem grandes dificuldades e pouco argilosa se a espátula penetra e se retira com facilidade, mesmo quando manchada pela terra.

3.5. Dosagem da Mistura

A dosagem de solo-cimento é uma sequência de ensaios realizados em uma determinada mistura de solo, cimento e água, seguida da interpretação dos resultados por meio de critérios preestabelecidos, resultando na fixação das três variáveis mencionadas. No entanto, as quantidades de água e a massa específica aparente indicada para uma determinada mistura podem sofrer pequenas oscilações devido às variações de campo nas características do solo. Dessa forma, a quantidade de água adicionada à mistura e a massa específica aparente seca da mistura compactada passou a ser consideradas exclusivamente como elemento de controle do serviço. Com isso, o objetivo da dosagem é apenas a fixação da

quantidade adequada de cimento, embora forneça apenas como dados indicativos básicos a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima da amostra ensaiada (ABCP, 1986).

3.6. Impermeabilização

Os impermeabilizantes são produtos desenvolvidos para proteger as superfícies em que são aplicados. Esses produtos desempenham um papel significativo no setor da construção civil e estão disponíveis em várias formas. A escolha do impermeabilizante é feita com base no tipo de umidade que pode comprometer a estanqueidade da construção, destacando-se como uma medida preventiva durante o processo de impermeabilização (REZENDE, 2016).

A impermeabilização constitui uma tecnologia aplicada nos campos da engenharia civil e construção, englobando aplicações específicas de produtos destinados a resguardar superfícies porosas contra a passagem de fluidos. Funciona como uma barreira física para impedir a difusão e vazamento de umidade. A utilização de materiais impermeáveis é crucial em praticamente todas as fases da construção, desde fundações e muros de contenção até reservatórios, piscinas e subsolos. No entanto, em muitos projetos, essa prática é negligenciada devido a questões de controle de custos e falta de informação, resultando em problemas como morbidade, redução da vida útil das edificações, degradação do ecossistema (notadamente em aterros sanitários) e, subsequentemente, a necessidade de reparos que causam danos à integridade física e ambiental. Ao longo do tempo, diversos produtos foram desenvolvidos visando alcançar a máxima estanqueidade nas edificações e atender aos requisitos das normas técnicas. Nesse sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a NBR 9574, estabelecendo os critérios para impermeabilização (FERNANDES et al., 2022).

Silva et al. (2016) estudou uma técnica antiga de fabricação de tijolos, empregando um aditivo hidrofugante natural, o pó da palha de carnaúba. Com o intuito de comprovar sua propriedade impermeabilizante, foram moldados tijolos de solo-cimento com uma proporção de 1:12 e diferentes teores de incorporação (0%, 5% e 10%) desse pó. Os tijolos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água, seguindo as normas específicas. O aditivo demonstrou eficácia como impermeabilizante, pois o aumento de sua incorporação resultou na redução da absorção de água. Embora as resistências à compressão simples tenham diminuído, permaneceram dentro dos padrões normativos. Os

tijolos com incorporação do pó da palha de carnaúba, quando confeccionados com teores variados, apresentaram uma porcentagem de absorção proporcional à quantidade de pó incorporado, diminuindo a absorção com o aumento da incorporação do aditivo. Apesar de todos os resultados atenderem às exigências da ABNT NBR 8492:2012, permitindo a utilização dos tijolos na execução de alvenaria de vedação, destaca-se que a incorporação de 10% do pó da palha de carnaúba obteve os melhores resultados na pesquisa, reduzindo a absorção de água em 3,21% e mantendo a resistência acima do mínimo exigido pela norma.

Dantas (2019) investiga a impermeabilização de blocos de terra compactada, conhecidos como tijolos ecológicos, uma tecnologia evolutiva em relação ao adobe, visando minimizar os impactos ambientais da queima de materiais combustíveis na produção tradicional de tijolos e reduzir os resíduos na construção civil. O foco está na sustentabilidade e nas vantagens econômicas desse modelo em comparação ao convencional. Contudo, a elevada absorção de água representa um desafio significativo. A pesquisa realiza um comparativo entre dois impermeabilizantes do mercado local, avaliando sua eficácia. Os resultados indicam que, apesar de funcionarem, os impermeabilizantes perdem eficácia em chuvas prolongadas, tornando os blocos semelhantes aos não tratados. Testes de capilaridade demonstraram que a resina Hydronorth® superou a concorrente, absorvendo consideravelmente menos água em condições de chuva fraca a moderada. Conclui-se que os tijolos de solo-cimento são mais adequados para regiões mais secas. A resina Hydronorth® se destaca na repelência à água, enquanto a ViaFlex Parede Branco da Viapol® sobressai em acabamento e preço.

Com o objetivo de mitigar as patologias associadas à absorção de água na alvenaria, Masson *et al.* (2016) em sua pesquisa com tijolo maciço, tijolo furado e tijolo refratário utilizou aditivos impermeabilizantes. Dois aditivos foram testados para avaliar sua eficácia na diminuição da absorção de água: o Sela Infiltrações Impermeabilizante Cristalizante cinza e a Tinta semibrilho Acrílica Belacasa. O Sela Infiltrações foi aplicado em duas demãos, com um intervalo de 6 horas entre elas, após umedecimento prévio dos elementos, conforme as recomendações do fabricante. Após a aplicação, foi aguardado um período de 48 horas para completa secagem. A tinta, por sua vez, foi aplicada em três demãos, conforme as especificações técnicas dos fabricantes, e também foi deixado secar por 48 horas. Com base nos resultados deste ensaio, todas as amostras atendem aos requisitos estabelecidos pela norma NBR 15270/2005, que prevê índices de absorção de água entre 8% e 22%. No entanto, é importante ressaltar que os tijolos mais comuns, maciços e furados, apresentam índices bastante próximos ao limite superior de 22% estipulado pela norma, sendo respectivamente

19,7% e 17,28%. Este fato destaca a necessidade de cuidado ao utilizar esses tipos de tijolos em regiões com alta umidade. Os resultados com o uso de impermeabilizantes indicam que não houve redução na absorção de água. Contudo, é relevante observar que os tijolos furados não permitem uma impermeabilização completa devido aos furos, enquanto a tinta, por si só, não é a ferramenta mais adequada para impermeabilização, mas quando combinada com um reboco pode resultar em melhores desempenhos. Recomenda-se o uso de impermeabilizantes em construções mais suscetíveis à umidade e inundações, especialmente ao empregar tijolos maciços à vista (Figura 6), visando evitar possíveis patologias.

Figura 6: Aplicação de impermeabilizante.



Fonte: Vedacit (2020).

3.7. Aditivos para Aumentar a Resistência à Compressão

Em sua pesquisa, Dornelles (2020) analisou o comportamento mecânico de um solo residual argiloso com a adição de diferentes teores de pó de vidro moído e cal de carbureto, em misturas com diferentes pesos específicos aparentes secos. Além disso, a pesquisa avaliou os efeitos da inclusão do ativador alcalino hidróxido de sódio e da estabilização do solo apenas com a adição de cal de carbureto. Para avaliar a estabilização, foram moldados corpos de prova e realizados ensaios de resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão simples e ensaios de rigidez inicial. Foram avaliados tempos de cura de sete e 28 dias em duas temperaturas distintas (23°C e 40°C), a fim de analisar o efeito da cura acelerada no comportamento mecânico das amostras em curto prazo. Os resultados confirmaram que a

adição de materiais alternativos, como o pó de vidro e a cal de carbureto, pode estabilizar o solo estudado, resultando em melhores resistências e rigidezes.

Visando o custo Cruz e Jalali (2006), utilizaram em seu estudo porcentagens de 6 e 10% de cimento em relação à massa de solo seco para melhorar as características dos solos. Além disso, foram considerados os efeitos de ativadores de baixo custo no solo estabilizado para tornar o material mais econômico e melhorar seu desempenho. Os ativadores utilizados foram cloreto de sódio, cloreto de cálcio e hidróxido de sódio, sendo avaliado o efeito da utilização de ativadores no solo estabilizado com 6% de cimento. Os resultados experimentais indicaram que o cimento aumenta substancialmente o desempenho do solo, enquanto alguns dos ativadores melhoram significativamente algumas das propriedades estudadas no solo estabilizado com cimento. Conclui-se que o uso de alguns ativadores de baixo custo pode reduzir significativamente o consumo de cimento, levando a um melhor desempenho e efeitos ambientais positivos, ao mesmo tempo em que reduz os custos.

Na pesquisa conduzida por Souza *et al.* (2008), o solo-cimento emerge como uma matriz altamente eficaz para a integração de resíduos de concreto, permitindo a adição de até 60% desses resíduos em relação à massa do solo, sem comprometer suas características essenciais. A incorporação desses resíduos não apenas propicia condições propícias para o uso do solo em estudo, reduzindo de forma significativa sua retração durante a secagem, mas também o torna altamente adequado para a fabricação de tijolos. Todas as formulações que envolveram a inclusão de resíduos satisfizeram integralmente as normas brasileiras, indicando a viabilidade de adotar dosagens com menos de 6% de cimento na produção dos tijolos. Em relação ao solo analisado, observa-se que a resistência do solo-cimento continua a aumentar significativamente após sete dias, com uma tendência de crescimento que persiste mesmo após 240 dias.

A promoção do uso responsável de matérias-primas é essencial. Inovações tecnológicas direcionadas para a utilização de materiais alternativos têm simplificado a aplicação do solo-cimento, permitindo a inclusão de materiais reciclados, como resíduos de construção civil (RCC), em sua composição. A caracterização do solo desempenha um papel crucial, uma vez que nem todos os tipos são apropriados para serem empregados no solo-cimento. Ficou evidenciado que a utilização do solo-cimento na fabricação de tijolos é viável, proporcionando resultados satisfatórios e representando uma alternativa de baixo custo para a construção civil. Além disso, a substituição parcial do solo por RCC nas composições resultou em um aumento de resistência. Os resultados mais significativos de resistência à compressão foram obtidos em composições com 66,7% de RCC em relação à massa de solo. Em todas as

formulações, a resistência média à compressão superou 2 MPa, ultrapassando assim o valor mínimo exigido por normas (FRIEDRICH et al., 2014).

A investigação experimental de Dallacort *et al.* (2002) abordou a resistência à compressão do solo-cimento, incorporando a substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. Para isso, 81 espécimes cilíndricos desse material foram submetidos a ensaios de compressão, nos quais uma porção do cimento foi substituída pelo material cerâmico moído. Uma programação fatorial foi empregada, considerando três variáveis para estudo: o teor de material ligante (cimento + resíduo cerâmico), a umidade do solo e a quantidade de resíduo cerâmico adicionado. Um estudo estatístico, por meio da análise de variância da massa específica do material e da resistência à compressão, é apresentado. Os resultados possibilitaram concluir que substituições de 25% e 57% do teor de cimento por material cerâmico podem gerar blocos de solo-cimento com resistências superiores a 2 MPa, quando o teor de material ligante é de 6% e 8%, de modo respectivo. Observou-se que os resíduos de material cerâmico moído manifestaram ação pozolânica e efeito fíler.

Valenciano e Freire (2004) conduziram uma análise abrangente das características de combinações de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, visando sua potencial aplicação na fabricação de materiais alternativos de construção. As amostras de cinzas passaram por um tratamento prévio, incluindo peneiramento e moagem, antes de serem incorporadas às misturas. Diversas combinações de cimento-cinzas foram examinadas, sendo avaliadas a consistência normal e a resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias. Corpos de prova moldados com essas misturas foram submetidos a ensaios de compactação, compressão simples e absorção de água. Os resultados indicaram a viabilidade de substituir até 20% do cimento Portland por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar sem prejudicar a resistência à compressão simples. A substituição parcial do cimento por 20% de cinzas não afetou significativamente a massa específica aparente seca máxima dos solos, tratados ou não com cimento. A incorporação de 3% de cimento ou a substituição parcial por 20% de cinzas aumentou a resistência à compressão simples de ambos os solos aos 60 dias. No contexto das misturas, os resultados sugeriram que, de modo geral, o solo arenoso apresentou desempenho superior em relação a certas propriedades, enquanto a resistência à compressão simples entre ambos os solos foi estatisticamente equivalente.

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) destaca-se por seu substancial conteúdo pozolânico, emergindo como uma alternativa viável como substituto parcial do cimento em aplicações na construção civil. O estudo conduzido por Moura et al. (2021) visa analisar e empregar a CBC como componente cimentício suplementar na produção de tijolos solo-

cimento. A integração da CBC ocorreu em diferentes proporções (10%, 20% e 50% em massa), substituindo parte do cimento na formulação dos tijolos. A análise química da CBC revelou a presença de sílica cristalina sob as formas de quartzo e cristobalita. A substituição parcial do cimento pela cinza não comprometeu a resistência à compressão dos tijolos, destacando-se a composição com 20% de substituição por apresentar a maior resistência. O estudo enfatiza a CBC como um subproduto apropriado para a fabricação de materiais de construção sustentáveis. A introdução de cinza e cimento resultou em uma notável melhoria na resistência à compressão dos corpos de prova de solo-cimento, mais que dobrando em comparação com tijolos de solo puro. Importante notar que a substituição parcial de até 20% do cimento pela CBC não ocasionou alterações significativas nas propriedades mecânicas dos tijolos de solo-cimento, indicando a preservação da resistência dos corpos de prova devido ao teor de pozolana e ao efeito de enchimento na composição solo-cimento.

3.8. Absorção de Água

A absorção de água por imersão é um fenômeno que descreve a capacidade de um corpo sólido poroso em conduzir e, conseqüentemente, permitir que a água preencha seus poros permeáveis quando submerso. Esse processo é governado pela interação entre a água e os poros do material sólido, onde a água é gradualmente conduzida e absorvida nos espaços vazios da estrutura porosa. (CONTECH, 2023)

No estudo conduzido por Morande *et al.* (2021), foi examinada a viabilidade do emprego de PET em compósitos de solo-cimento-brita por meio da introdução de diferentes proporções, em conformidade com as normas brasileiras. As amostras, criadas com duas porcentagens de PET (5% e 10%) em substituição ao solo, originaram-se de embalagens coletadas em domicílios, passando por processos de higienização, trituração e transformação em pó. Após um período de cura de 28 dias, os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de absorção de água, seguindo as regulamentações brasileiras para a produção de tijolos solo-cimento. A média dos índices de absorção evidenciou que a interação com o PET reduz a absorção, sendo a dosagem de 10% mais vantajosa (19,65%), conforme preconizado pela NBR 8491/84, que estabelece uma média máxima de 20%. Esses resultados apontam para a potencial aplicabilidade desses compósitos na construção civil, ressaltando a relevância da dosagem de PET pulverulento para mitigar a absorção de água.

Silva e Barros (2019) investigaram o processo de fabricação de tijolos de solo-cimento, que permite a incorporação de matérias-primas alternativas em sua composição,

eliminando a necessidade de queima. A substituição parcial do solo pelo pó de brita foi analisada, sendo a absorção de água desses tijolos um parâmetro crucial para avaliar sua viabilidade técnica, conforme a NBR 13555/2013. Os resultados da pesquisa destacam a facilidade significativa de trabalhar com o solo utilizado, caracterizado por ser argiloso e de plasticidade média, proporcionando uma melhor trabalhabilidade. Além disso, o solo atendeu a todas as exigências da norma ABNT NBR 10833 de 2012 para uso em tijolos de solo-cimento, considerando limites de liquidez, índice de plasticidade e porcentagem passante na peneira 0,0074mm. A absorção dos tijolos de solo-cimento com 25% de pó de brita em substituição ao solo esteve dentro dos limites estabelecidos pelas normas ABNT NBR 8491 (2012) e 8492 (2012), demonstrando a viabilidade técnica desse emprego. Os resultados indicam que o solo atende às especificações técnicas requeridas para uso em tijolos de solo-cimento, e a absorção dos tijolos está em conformidade com os padrões estabelecidos.

Ferreira *et al.* (2008) perscrutaram as composições de misturas de solo-cimento-resíduo agrícola, com o objetivo principal de determinar os teores máximos de resíduos que poderiam ser incorporados sem comprometer as características mecânicas. Dois tipos de resíduos vegetais, cascas de arroz e de braquiária, foram utilizados, sendo o cimento Portland CP II-F-32 empregado na composição dos tratamentos. As combinações variaram desde 100% de cimento e 0% de resíduo até 60% de cimento e 40% de resíduo. Os tijolos foram prensados com uma máquina específica e submetidos a ensaios de compressão simples e absorção de água. Os tratamentos que apresentaram os melhores resultados em termos de resistência à compressão simples e absorção de água foram aqueles com substituição de 10% de resíduos vegetais em relação ao teor de cimento. Em geral, os resultados sugerem a viabilidade do uso desses resíduos na proporção de 10%, sem comprometer as propriedades mecânicas relacionadas à resistência e absorção de água dos tijolos de solo-cimento. Apesar dos coeficientes de variação elevados observados, todos os tratamentos demonstraram uma baixa capacidade total de absorção de água, mantendo-se em conformidade com as normas.

No estudo conduzido por Ferrari *et al.* (2021), foram fabricados tijolos vazados de solo-cimento em conformidade com a norma NBR 10833 (ABNT, 2012a) e submetidos a ensaios para avaliar a resistência à compressão simples e a capacidade de absorção de água aos 7, 14 e 21 dias. O trabalho também investiga os efeitos da substituição parcial do cimento pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar na absorção de água dos tijolos. Seguindo as orientações da NBR 10833 (ABNT, 2012a), foram confeccionados tijolos de solo-cimento e solo-cimento-cinza, sendo a absorção de água avaliada conforme a NBR 8492 (ABNT, 1994). Mesmo com a substituição parcial do cimento pela cinza, os índices de absorção de água dos

tijolos permaneceram abaixo do limite máximo de 20%, conforme preconizado pela norma. Destaca-se a tendência de redução na absorção de água dos tijolos de solo-cimento ao longo do tempo. Em relação aos tijolos de solo-cimento-cinza, observou-se uma tendência de aumento na absorção de água apenas aos 21 dias, com o aumento progressivo da substituição do cimento pela cinza. Nas demais idades, notou-se uma tendência de redução na absorção de água, especialmente para uma substituição de 10% do cimento pela cinza.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

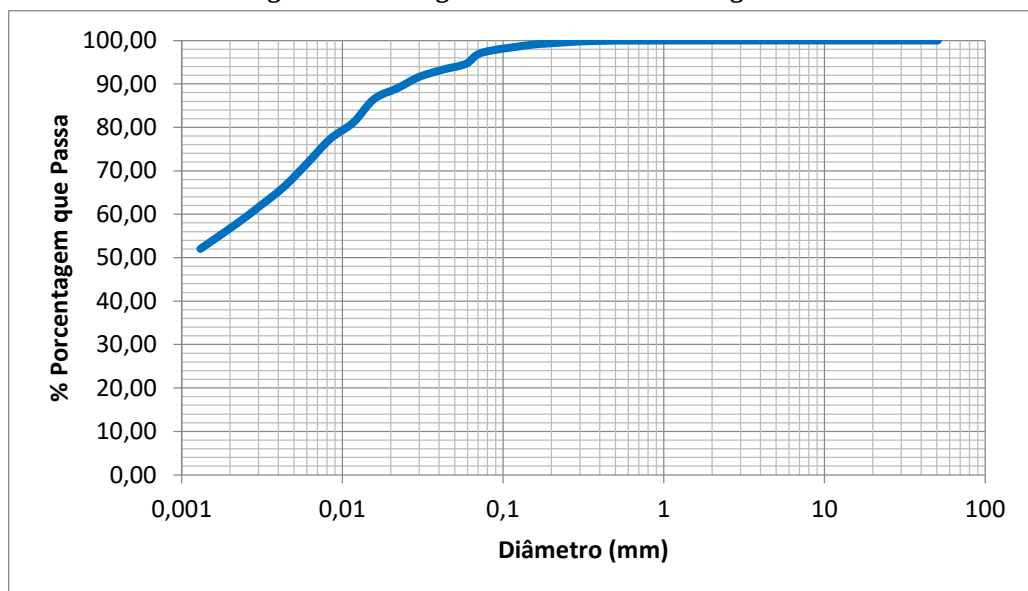
4.1.1 Solo

O solo analisado foi constituído da combinação de dois tipos distintos de solos. O primeiro é um solo argiloso coletado na cidade de Santana do São Francisco/SE, conhecida por sua tradição em artesanato e pela presença significativa de construções em adobe. O segundo é um solo arenoso obtido na fábrica de tijolos ecológicos, localizada em São Cristovão/SE.

a) Solo argiloso

Inicialmente, a preparação do solo seguiu as diretrizes da Norma NBR 6457:2016 Versão corrigida 2016. Posteriormente, a análise granulométrica foi conduzida por peneiramento e sedimentação, de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984a). A Figura 7 apresenta a curva granulométrica do solo argiloso. A constituição do solo é de 0,07% de areia grossa, 2,72% de areias média e fina, 30,92% de silte, 14,27% de argila e 52,02% de argila coloidal.

Figura 7: Curva granulométrica do solo argiloso.



Fonte: O autor (2023).

Após a determinação da granulometria foi realizado a densidade real dos grãos, seguindo as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 6508/84, indicando o valor de 2,65 g/cm³, situando-se dentro da faixa típica de 2,65 a 2,90 g/cm³.

Os resultados dos ensaios dos limites de Atterberg, observando as orientações definidas pelas normas ABNT NBR 6459/2016 e NBR 7180/2016, indicaram um limite de liquidez de 49%, limite de plasticidade de 29% e índice de plasticidade de 20%.

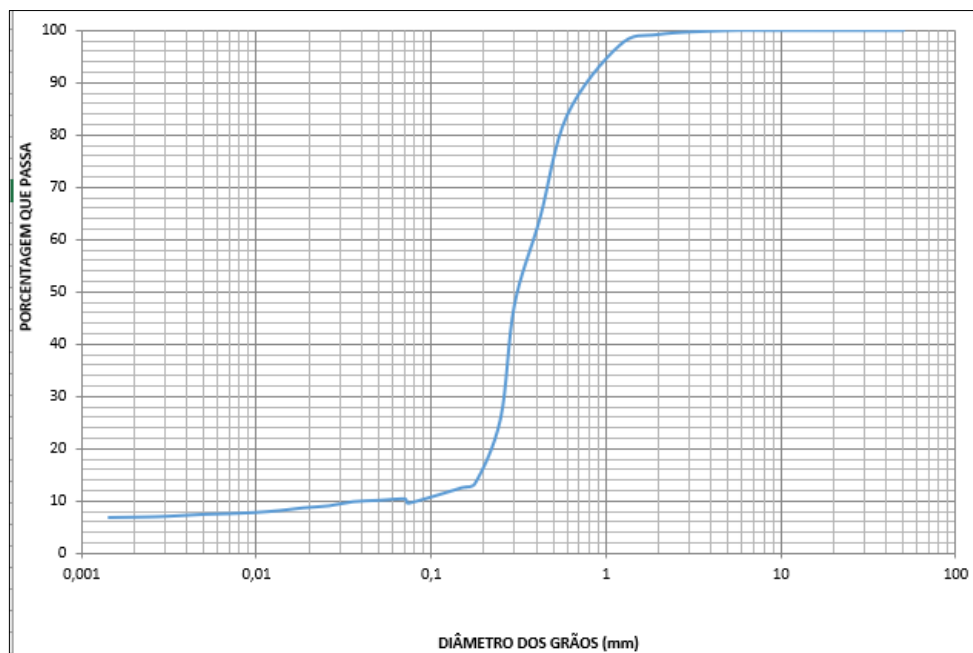
No ensaio de compactação, seguindo as diretrizes da NBR 7182/2016 e utilizando a energia do Proctor Normal, foi identificado um peso específico aparente seco máximo de 15,30 kN/m³ e um teor de umidade ótima correspondente a 24,7%.

Com base nesses resultados, foi possível classificar o tipo de solo conforme os padrões AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) como Solos Argilosos (A-7-6).

b) Solo arenoso

Para a análise granulométrica do solo arenoso, também foi adotada a norma NBR 7181 (ABNT, 1984a). A Figura 8 apresenta a curva granulométrica resultante do ensaio conduzido com a amostra de solo puro. As frações presentes no solo são: 0,77% de pedregulho, 35,22% de areia grossa, 54,49% de areias média e fina, 2,11% de silte, 0,61% de argila e 6,80% de argila coloidal.

Figura 8: Curva granulométrica do solo arenoso.



Fonte: O autor (2023).

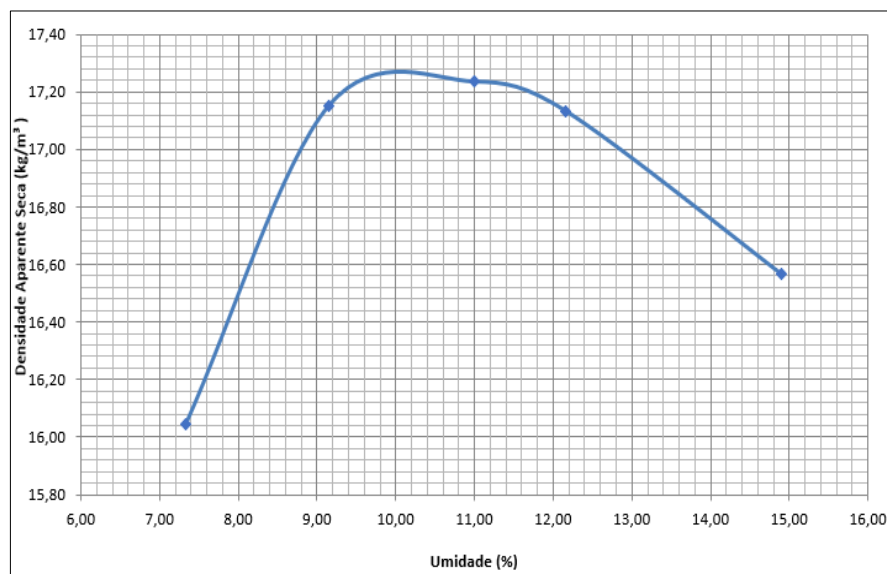
Com base nos resultados da análise granulométrica, classifica-se o solo, de acordo com os padrões da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), como A-3 (Areia fina). Devido à natureza predominantemente arenosa do solo, não foi possível realizar os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), assim como os ensaios de compactação e densidade dos grãos.

c) Mistura

A análise da mistura incluiu a realização do ensaio de compactação, que abrangeu a combinação dos materiais (areia, argila e cimento), seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 12023, sem reutilização do material, presumindo uma umidade ótima de 13%. A mistura foi disposta em uma bandeja, e para obter o primeiro ponto da curva de compactação, foi umedecida com uma bisnaga contendo aproximadamente 8% de água abaixo da umidade ótima presumida, e 10%, 12%, 14%, 16% nos demais pontos respectivamente, visando obter dois pontos abaixo e dois pontos acima da umidade ótima.

Durante o ensaio de compactação (Figura 9), identificou-se um peso específico aparente seco máximo de $17,24 \text{ kN/m}^3$, acompanhado por um teor de umidade ótima de 10%. Esses resultados, derivados do ensaio Proctor normal, são suscetíveis à influência tanto da energia de compactação quanto das características intrínsecas do solo, como distribuição granulométrica, forma dos grãos, densidade dos grãos, quantidade e tipo de argilominerais. Ao introduzir a mistura de solos (argila e areia) e adicionar cimento, observa-se um aumento no peso específico e uma diminuição na umidade ótima em comparação com o solo argiloso isolado.

Figura 9: Curva da compactação do compósito.



Fonte: O autor (2023).

Essas observações destacam a sensibilidade do comportamento do solo durante o processo de compactação e ressaltam a influência significativa dos componentes adicionados à mistura. A variação no peso específico e no teor de umidade ótima ao introduzir a mistura de solos e o cimento aponta para mudanças fundamentais nas propriedades geotécnicas do material

4.1.2 Cimento

O cimento utilizado é do tipo CP II-E-32, e dentro de sua categoria, destaca-se por apresentar uma taxa de pega mais rápida, sendo uma escolha econômica com desempenho superior. Foi adquirido em uma loja de materiais de construção e armazenado em sacos plásticos, na quantidade necessária para os traços de solo-cimento.

4.1.3 Aditivos

Foram empregados aditivos específicos no projeto, sendo o impermeabilizante da marca Vedacit para concretos e argamassas, que atua por meio da hidrofugação do sistema capilar. Esse aditivo permite a respiração dos materiais, assegurando a salubridade dos ambientes. A proporção recomendada é de 1 parte de cimento para 4 partes de areia, com uma adição de 4% sobre a massa de cimento. Além disso, utilizou-se a resina acrílica Protecrida da marca Rejuntamix, pronta para uso e indicada para aplicação em telhas, tijolos, blocos de concreto, concreto aparente, pedra, lajotas, madeira e superfícies pintadas.

4.2. Métodos

4.2.1 Preparação das misturas

Ao analisar a literatura disponível, optou-se por estabelecer um traço base para a mistura de solo-cimento (SC), utilizando a proporção de 5 partes de areia, duas partes de argila e uma parte de cimento. Este traço (5:2:1) foi cuidadosamente escolhido com base em considerações técnicas para otimizar as propriedades do solo quando combinado com o cimento. Além disso, a quantidade precisa de água (55,79 ml) foi calculada baseada no resultado do ensaio de compactação do compósito solo-cimento, sendo o peso específico aparente seco máximo de 17,24 kN/m³ e o teor de umidade ótima de 10%.

O Quadro 1 apresenta os componentes dos corpos de prova ensaiados. Percebe-se que as amostras foram preparadas com os objetivos de analisar a influência do tipo de aditivo (sem aditivo, com Vedacit e com resina acrílica), a influência da concentração do aditivo (com 4% de Vedacit e com 8% de Vedacit) e a influência do tempo de imersão (4 h e 24 h).

Quadro 1: Especificações dos Corpos de Prova.

Corpos de Prova	Compósito	Aditivo		Tempo de Cura	Tempo de Imersão	Sigla
		Nome	Concentração			
CP01	SC	-	-	7 dias	4h	SC-4h
CP02	SC	-	-	7 dias	4h	SC-4h
CP03	SC	-	-	7 dias	24h	SC-24h
CP04	SC	-	-	7 dias	24h	SC-24h
CP05	SC	Vedacit	4%	7 dias	4h	SC-V4%-4h
CP06	SC	Vedacit	4%	7 dias	4h	SC-V4%-4h
CP07	SC	Vedacit	4%	7 dias	24h	SC-V4%-24h
CP08	SC	Vedacit	4%	7 dias	24h	SC-V4%-24h
CP09	SC	Vedacit	8%	7 dias	4h	SC-V8%-4h
CP10	SC	Vedacit	8%	7 dias	4h	SC-V8%-4h
CP11	SC	Vedacit	8%	7 dias	24h	SC-V8%-24h
CP12	SC	Vedacit	8%	7 dias	24h	SC-V8%-24h
CP13	SC	Resina	-	7 dias	4h	SC-RE-4h
CP14	SC	Resina	-	7 dias	4h	SC-RE-4h
CP15	SC	Resina	-	7 dias	24h	SC-RE-24h
CP16	SC	Resina	-	7 dias	24h	SC-RE-24h

Fonte: O autor (2023).

4.2.2 Moldagem dos corpos de prova

Em conformidade com a mistura pré-determinada, procedeu-se à separação de uma amostra destinada à moldagem dos corpos de prova, conforme as diretrizes estipuladas na Quadro 2. Este processo visa garantir a consistência e a precisão na elaboração dos corpos de prova, seguindo cuidadosamente as proporções e especificações definidas no referido traço.

Após disposição do material conforme ilustrado na Figura 10, com o auxílio de uma colher de pedreiro a composição foi misturada enquanto ainda se encontrava seca.

Quadro 2: Quantitativo de material para moldagem.

Material	Traço	(ml)	(g)	(%)
Cimento	1	50,0	55	9,40
Argila	2	100,0	160	27,35
Areia	5	250,0	370	63,25
Total		400,0	585,0	100,0

Fonte: O autor (2023).

Figura 10: Traço da mistura (cimento, argila e areia).

Fonte: O autor (2023).

Subsequentemente, foi adicionado gradualmente um volume aproximado de 55,79 ml de água, em conformidade com a análise da umidade higroscópica e ótima resultante da compactação da mistura, com o objetivo de garantir a homogeneidade da combinação, conforme ilustrado na Figura 11. Nesta etapa, introduziu-se um aditivo impermeabilizante nas proporções de 4% para as amostras SC-V4%-4h e SC-V4%-24h, enquanto as amostras SC-V8%-4h e SC-V8%-24h receberam uma adição de 8% do mesmo aditivo.

Figura 11: Traço com adição de água e homogeneizado.



Fonte: O autor (2023).

Após a obtenção da homogeneidade no compósito, uma porção da mistura foi separada em cinco partes iguais, cada uma totalizando aproximadamente 78,11 g (Figura 12), de modo a garantir que cada camada do corpo de prova fosse uniforme, conforme indicado pela análise.

Figura 12: Separação das camadas dos CP's.



Fonte: O autor (2023).

O procedimento de moldagem foi realizado utilizando um cilindro com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e cinco tarugos de compactação em diferentes alturas, ilustrado na Figura 13. Para cada camada, o peso foi mantido constante em 78,11 g, resultando em um peso total para a moldagem de 390,55 g.

Figura 13: Cilindro e Tarugos de compactação.



Fonte: O autor (2023).

Esses parâmetros foram rigorosamente seguidos para garantir a reprodutibilidade e consistência durante o processo de moldagem dos corpos de prova, levando em consideração as características específicas da mistura de solo-cimento e as condições ideais de umidade.

Após a divisão da amostra em porções iguais, cada uma delas foi cuidadosamente depositada no interior do cilindro destinado à moldagem, conforme Figura 14.

Figura 14: Porção da amostra dentro do cilindro de moldagem.



Fonte: O autor (2023).

Em seguida, o cilindro, contendo a mistura preparada (Figura 15), foi levado para a prensa de moldagem. Este passo foi conduzido com atenção aos detalhes, garantindo a colocação precisa e uniforme da mistura em cada camada do cilindro antes do processo de compactação. Em cada camada do compósito, foram criadas ranhuras para proporcionar uma textura superficial que facilita a aderência entre as camadas compactadas. Essa prática visa promover maior aderência entre as camadas.

Figura 15: Frações da amostra prontas para o processo de compactação (Segunda fração).



Fonte: O autor (2023).

O processo de moldagem foi conduzido de maneira minuciosa, empregando uma prensa que mantinha uma velocidade constante (Figura 16). Essa abordagem assegurava que cada camada fosse compactada de forma uniforme, preservando a consistência e homogeneidades desejadas no corpo de prova. O controle preciso da velocidade contribuía para a padronização ao longo de todo o processo de compactação.

Figura 16: Moldagem da mistura na prensa.



Fonte: O autor (2023).

Após a conclusão do processo de compactação em cada camada utilizando a prensa, o molde foi separado da base. Em seguida, para garantir a integridade da amostra, procedeu-se à retirada cuidadosa e intacta do material do molde. Essa etapa foi realizada com o auxílio de um extrator manual, conforme detalhado na Figura 17. Essa abordagem garantiu que o corpo de prova fosse removido de forma precisa e sem alterações, preservando as características resultantes do processo de compactação.

Figura 17: Extração do Corpo de Prova.

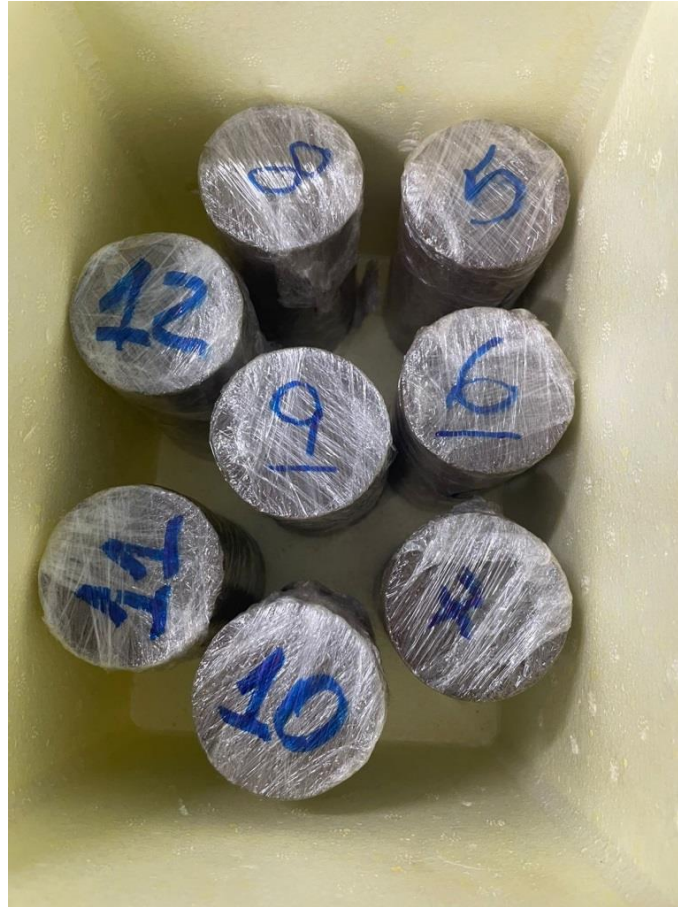


Fonte: O autor (2023).

4.2.3 A cura

Imediatamente após a fase de moldagem, é imperativo submeter as amostras a um processo de cura em condições específicas para garantir o desenvolvimento apropriado da resistência ao longo do tempo. Nessa etapa, foi crucial expor as amostras a ambientes propícios para o desenvolvimento das propriedades mecânicas desejadas. O procedimento de cura envolveu a aplicação de plástico filme ao redor dos corpos de prova, que foram armazenados por sete dias em uma caixa térmica de isopor (Figura 18), evitando a perda da umidade. Esse cuidadoso enfoque visa criar um ambiente favorável ao processo de cura, assegurando que o material alcançasse sua máxima resistência de maneira consistente e eficaz.

Figura 18: Cura dos Corpos de Prova envolto de plástico filme.



Fonte: O autor (2023).

Durante a cura, as amostras foram expostas a ambientes que favoreceram a hidratação contínua do material, promovendo a reação química responsável pelo ganho de resistência. A manutenção da umidade é essencial para evitar a secagem prematura do material, permitindo que os processos de cura ocorram de maneira eficaz.

4.2.4 Ensaio de absorção de água

Após a etapa de cura, os corpos de prova designados para o teste de absorção, de acordo com a norma NBR 9778:2015, passaram por uma fase adicional de preparação. Inicialmente, foram submetidos a um processo de secagem em uma estufa, mantida a uma temperatura controlada entre 105°C e 110°C, por um período de 24 horas ou até que a massa se estabilizasse, indicando a completa remoção da umidade.

Durante esse processo de secagem, obteve-se a massa dos corpos de prova quando completamente livres de umidade, possibilitando uma medição precisa das mudanças na absorção de água durante os testes subsequentes.

Nesta fase, as amostras SC-RE-24h, após serem resfriadas à temperatura ambiente, foram submetidas a uma aplicação de resina impermeabilizante.

Na etapa seguinte, os corpos de prova, agora secos, foram submersos em um recipiente de água, conforme representado na Figura 19. Este procedimento foi realizado por um período de 24 horas, permitindo que os corpos de prova absorvessem água de maneira controlada e representativa do ambiente em que poderiam ser eventualmente utilizados.

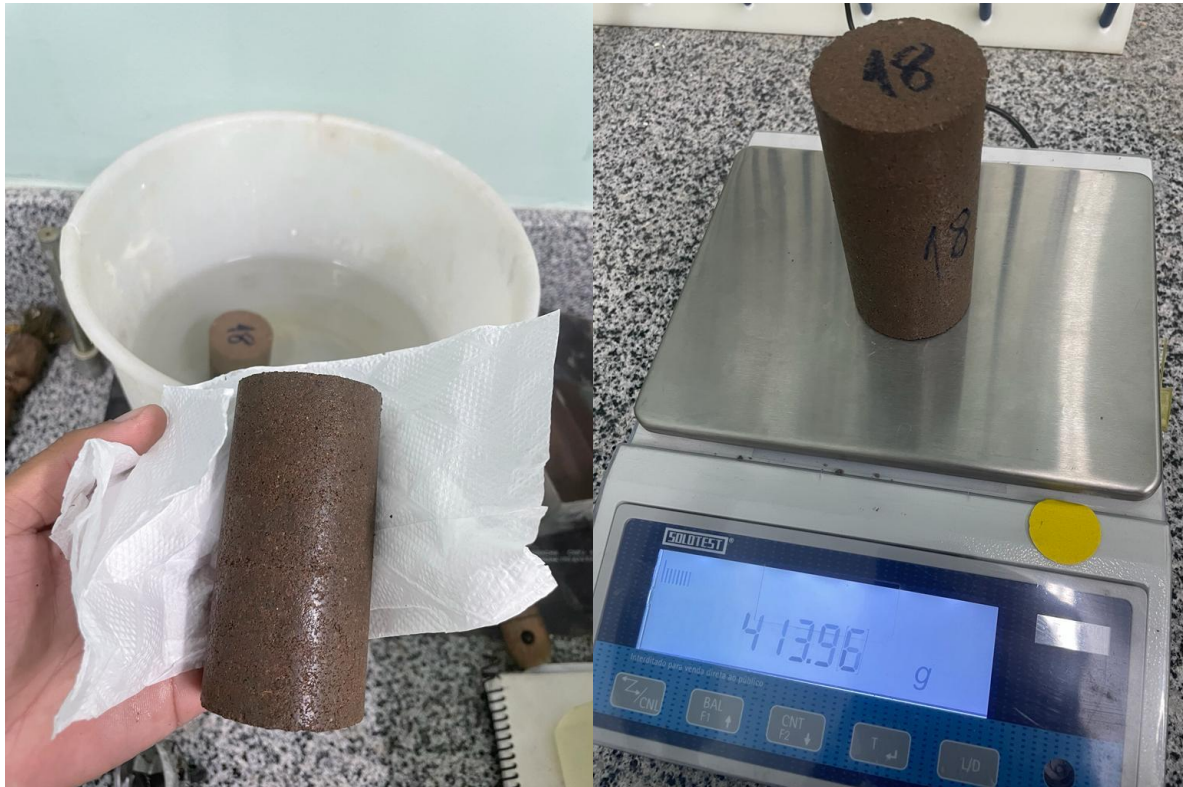
Figura 19: CP's submersos em água.



Fonte: O autor (2023).

Após o período de 24 horas, os corpos de prova foram retirados da água, passaram por uma secagem superficial utilizando papel toalha e, em seguida, foram pesados imediatamente. Dessa maneira, foi possível determinar a massa dos corpos de prova saturados, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: CP's seco superficialmente e pesado.



Fonte: O autor (2023).

A discrepância percentual entre a massa saturada e a massa seca do corpo de prova representa o índice de sua capacidade total de absorção de água, calculada com base na matéria seca. Os valores individuais de absorção de água de cada corpo de prova, expressos em porcentagem, foram determinados mediante a aplicação da Equação 1 apresentada a seguir.

$$AA = \frac{M_U - M_S}{M_S} * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

AA $\equiv$ Absorção de água (%);

M_U $\equiv$ Massa úmida saturada (g);

M_S $\equiv$ Massa seca em estufa (g).

Imediatamente após a realização do teste de absorção de água, os corpos de prova foram encaminhados à prensa para a obtenção da resistência à compressão em corpos de prova submetidos a 24 horas de imersão.

4.2.5 Ensaio de compressão simples

Em continuidade ao processo de cura, a remoção sequencial do plástico filme dos corpos de prova foi realizada, seguida pela verificação de peso para análise de possível perda de umidade, constatando-se que não houve alterações significativas. Subsequentemente, os corpos de prova foram imersos em um recipiente contendo água, permanecendo submersos por um período de 4 horas. Antes desse processo de imersão, as amostras SC-RE-4h receberam uma camada de resina impermeabilizante.

Após essa etapa, os corpos de prova foram cuidadosamente secos superficialmente utilizando papel toalha. Em seguida, foram posicionados em um adaptador específico para a ruptura de solo-cimento, mantendo-se centralizados na prensa de ruptura, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21: Adaptador para ruptura de solo-cimento.



Fonte: O autor (2023).

Em seguida, foram submetidos à compressão simples (Figura 22), onde a aplicação da carga foi realizada a uma velocidade constante de 2,4 cm/s até atingir a ruptura.

Figura 22: Ruptura dos copos de prova.



Fonte: O autor (2023).

Este procedimento permitiu a avaliação da resistência à compressão dos corpos de prova, considerando o impacto da imersão prévia em água nas propriedades mecânicas do material.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de compressão e de absorção de água dos 16 (dezesseis) corpos de prova ensaiados.

5.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão foi determinada ao dividir a carga máxima imposta pela área da seção transversal do corpo de prova, resultando em uma medida expressa em MPa.

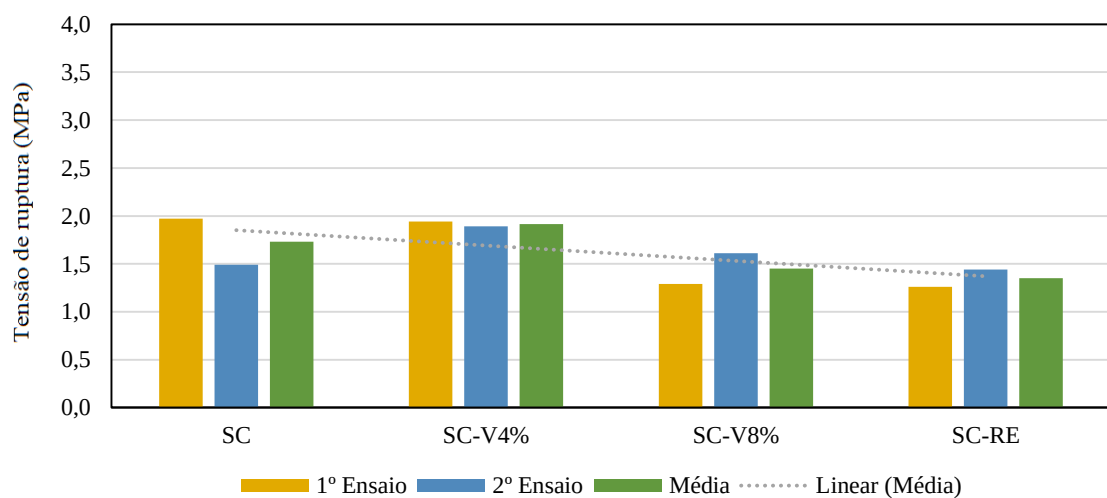
Para os corpos de prova submetidos a um tempo de duração de 4 horas, os valores da tensão de ruptura e os valores médios entre o mesmo tipo de material estão apresentados no Quadro 3 e ilustrados na Figura 23.

Quadro 3: Resultados da resistência a compressão em CP's submetidos a 4h de imersão.

Sigla	Nº do CP	Tensão de ruptura (MPa)	Valor médio da tensão de ruptura (MPa)
SC-4h	1	1,97	1,73
	2	1,49	
SC-V4%-4h	5	1,94	1,91
	6	1,89	
SC-V8%-4h	9	1,29	1,45
	10	1,61	
SC-RE-4h	13	1,26	1,35
	14	1,44	

Fonte: O autor (2023).

Figura 23: Comparativo da Resistência à compressão dos CP's submetidos a 4h de imersão.



Fonte: O autor (2023).

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 3 e na Figura 23, percebe-se que a adição de 4% de aditivo impermeabilizante promove um leve acréscimo da resistência à compressão do compósito. Observando o valor médio da tensão de ruptura, este acréscimo é de aproximadamente 10%. Por outro lado, nos compósitos com 8% de aditivo impermeabilizante e com uso da resina acrílica o comportamento foi inverso, tendo então uma redução no valor da resistência à compressão média de 16% e 22%, respectivamente. Vale ressaltar que a escolha da concentração de 4% de aditivo impermeabilizante foi feita com base na recomendação do fabricante. Percebe-se então que o uso além do recomendado implicará na redução da resistência do compósito.

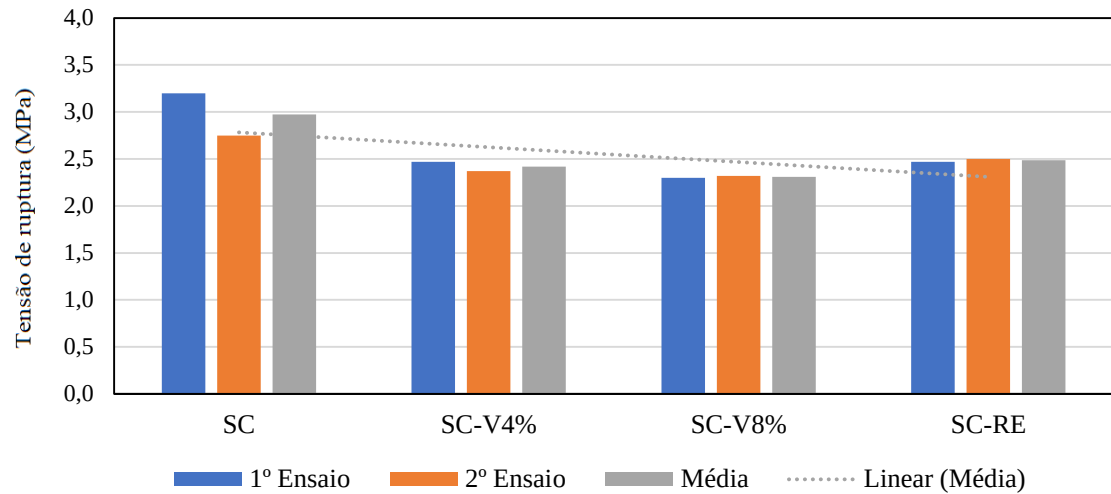
Ao submeter os corpos de prova a um tempo de imersão com duração de 24 horas, obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 4 e ilustrados na Figura 24. Essa extensão no período de imersão permite avaliar o efeito do tempo de imersão no compósito de solo-cimento.

Quadro 4: Resultados da resistência a compressão em CP's submetidos a 24h de imersão.

Sigla	Nº do CP	Tensão máxima (MPa)	Valor médio da tensão de ruptura (MPa)
SC-24h	3	3,20	2,98
	4	2,75	
SC-V4%-24h	7	2,47	2,42
	8	2,37	
SC-V8%-24h	11	2,30	2,31
	12	2,32	
SC-RE-24h	15	2,47	2,49
	16	2,50	

Fonte: O autor (2023).

Figura 24: Comparativo da Resistência à compressão dos CP's submetidos a 24h de imersão.



De acordo com o Quadro 4 e a Figura 24, observa-se que a introdução de aditivos impermeabilizantes, em qualquer concentração e com um tempo de imersão de 24h (SC-V4%-24h e SC-V8%-24h) promove uma diminuição na resistência à compressão em comparação com os corpos de prova sem aditivo (SC-24h).

O uso da resina impermeabilizante resultou em uma resistência inferior às amostras sem aditivos e a uma resistência levemente superior às amostras com aditivos, o que foi inesperado. Pode-se atribuir essa discrepância à possível ausência de selante antes da aplicação da camada de resina e à falta de uma segunda demão. Esses fatores podem indicar uma aplicação inadequada, possivelmente influenciando nos resultados obtidos.

Os corpos de prova submersos por 24 horas apresentaram valores de resistência à compressão maior que os corpos de prova submersos por 4h. De acordo com a bibliografia, um dos fatores decisivos em relação ao aumento da resistência mecânica é o teor de cimento. No entanto, neste experimento, esse fator não exerceu influência, uma vez que foi utilizado um único traço para todos os modelos. Outro fator crucial é o tempo de cura. Embora a diferença seja de apenas 20 horas em comparação com os corpos de prova imersos por 4 horas, essa variação de tempo pode ter contribuído para o incremento na resistência observado.

A norma ABNT NBR 8492 estabelece que a média dos valores de resistência à compressão do tijolo ecológico fabricado com solo-cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa (20 kgf/cm²), e nenhum valor individual deve ser inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com uma idade mínima de sete dias. Assim, caso os compósitos de solo-cimento fossem utilizados para

fabricação de tijolos ecológicos, somente as amostras com tempo de imersão de 24h estariam em conformidade com a norma, como mostra o Quadro 5.

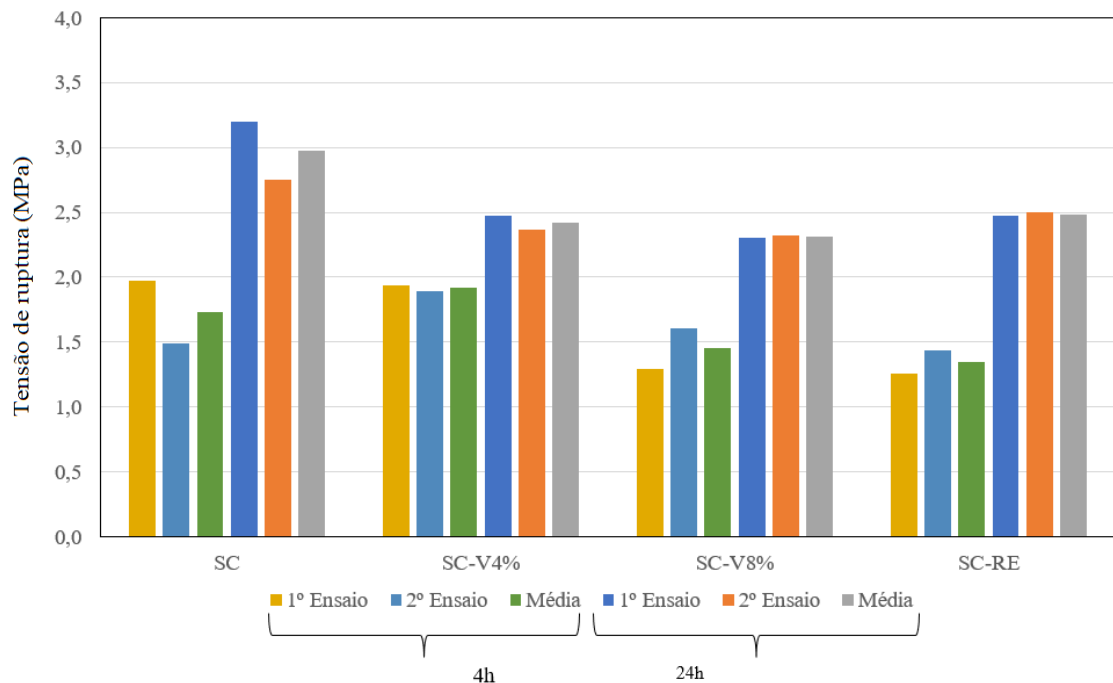
Quadro 5: Valores médios das tensões de compressão.

Sigla	Média da tensão de compressão (Mpa)
SC-4h	1,73
SC-24h	2,98
SC-V4%-4h	1,92
SC-V4%-24h	2,42
SC-V8%-4h	1,45
SC-V8%-24h	2,31
SC-RE-4h	1,35
SC-RE-24h	2,49

Fonte: O autor (2023).

A Figura 25 ilustra o comparativo das resistências à compressão de todos os corpos de prova, comprovando que o maior tempo de imersão promove um aumento na resistência à compressão.

Figura 25: Comparativo da Resistência à compressão e valores médios de todos os CP's ensaiados.



Fonte: O autor (2023).

No Quadro 6 estão apresentados os ganhos de resistência de todos os corpos de prova, após submetidos ao tempo de imersão de 24h.

Quadro 6: Ganho de resistência de todos os CP's ensaiados.

Material	4h	24h	Ganho de resistência (Mpa)	Ganho de resistência (%)
SC	1,73	2,98	1,25	72,3
SC-V4%	1,92	2,42	0,5	26,0
SC-V8%	1,45	2,31	0,86	59,3
SC-RE	1,35	2,49	1,14	84,4

Fonte: O autor (2023).

5.2 Absorção de Água

A análise da absorção de água em corpos de prova de solo-cimento desempenha um papel crucial na compreensão das propriedades hidráulicas e da durabilidade desse material de construção. Neste contexto, os resultados obtidos fornecem informações sobre a capacidade do solo-cimento de resistir à penetração de água, um fator determinante para sua eficácia em diversas aplicações. Este estudo abrangeu a avaliação da absorção de água por meio de ensaios específicos, e os resultados apresentados a seguir destacam as características relevantes desse material.

O Quadro 7 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água em todos os corpos de prova ensaiados.

Quadro 7: Resultado do ensaio de absorção de água.

Sigla	Nº do CP	Massa após moldagem (g)	Massa seca em estufa (g)	Massa úmida saturada (g)	Absorção	Taxa de absorção
SC-24h	3	386,51	356,44	407,50	14,32%	14,32%
	4	387,08	356,91	407,97	14,31%	
SC-V4%-24h	7	386,69	353,62	403,05	13,98%	14,02%
	8	387,81	354,54	404,42	14,07%	
SC-V8%-24h	11	388,02	355,32	401,98	13,13%	13,37%
	12	388,84	354,04	402,22	13,61%	
SC-RE-24h	15	386,41	355,04	409,19	15,25%	15,05%
	16	387,46	356,34	409,27	14,85%	

Fonte: O autor (2023).

Esses valores representam a porcentagem média de absorção de água para cada tipo de corpo de prova após 24 horas de imersão, destacando as variações no comportamento de absorção entre as diferentes formulações de solo-cimento testadas. Os aditivos, porcentagens

de componentes e tratamentos específicos empregados em cada tipo de corpo de prova influenciam diretamente sua capacidade de absorção de água.

Com base nos resultados obtidos, pode-se observar que os corpos de prova com a adição de aditivo impermeabilizante foram os únicos que promoveram a redução na taxa de absorção de água, sendo a concentração de 8% a mais eficiente. Isso é decorrente da capacidade do impermeabilizante em reagir com o cimento. Porém, como a quantidade de cimento utilizada no compósito é pequena, quando comparada com argamassas ou concretos, a ação do aditivo impermeabilizante é baixa.

Os corpos de prova com tratamento de resina não alcançaram o comportamento esperado. Os resultados indicaram que o uso da resina acrílica promoveu um aumento na absorção de água quando comparado com o compósito sem uso de aditivos. Ou seja, o seu efeito foi inverso. Acredita-se que essa disparidade pode ser atribuída à possível ausência de um selante antes da aplicação da camada de resina e à falta de uma segunda demão, conforme mencionado anteriormente.

6 CONCLUSÕES

Em síntese, a análise dos corpos de prova de solo-cimento evidencia que um tempo de cura prolongado, especialmente através de submersão por 24 horas, conduz a uma resistência à compressão superior. As amostras com apenas 4 horas de submersão não atenderam aos requisitos normativos de resistência, caso o compósito seja utilizado para fabricação de tijolos ecológicos.

Quanto aos aditivos impermeabilizantes, a introdução destes gerou resultados ambíguos, sendo que em certos casos, o aumento na quantidade correlacionou-se a uma diminuição na resistência. Este fenômeno foi notado nos corpos de prova SC-V4%-24h e SC-V8%-24h, enfatizando a importância da dosagem precisa desses aditivos para evitar impactos negativos na resistência.

Essas constatações ressaltam a relevância da dosagem precisa de aditivos e da execução cuidadosa dos procedimentos de aplicação para garantir conformidade com normas e consistência nos resultados. Em conclusão, este estudo oferece valiosos *insights* para orientar práticas construtivas futuras, visando aprimorar a eficácia e confiabilidade do solo-cimento em diversas aplicações.

Ao analisar atentamente os resultados, destaca-se que os corpos de prova com 8% de aditivo impermeabilizante apresentaram um desempenho ligeiramente superior, indicando uma tendência positiva associada à presença desse aditivo e possível melhora na resistência à absorção de água, embora, levando em conta o preço dos aditivos não compensa a utilização do mesmo. No entanto, considerando o custo dos aditivos, sua utilização pode não ser economicamente compensadora. Em contrapartida, os corpos de prova tratados com resina acrílica não atingiram os resultados esperados, o que pode ser atribuído à possível ausência de um selante prévio à aplicação da camada de resina e à falta de uma segunda demão. Esses elementos essenciais na aplicação do tratamento podem ter sido determinantes para a eficácia do processo, e sua omissão pode ter comprometido os resultados dos testes.

Essa análise enfatiza não apenas a importância dos materiais utilizados, como aditivos e resinas, mas também a necessidade de rigor na execução dos procedimentos. A otimização do desempenho do solo-cimento requer não apenas a seleção cuidadosa de componentes, mas também a aplicação precisa e sequencial desses elementos para garantir resultados consistentes e eficazes.

Em virtude do tempo reduzido para análises mais precisas, recomenda-se para futuras pesquisas:

- Realizar os ensaios de compressão e absorção nos mesmos compósitos com tempos de cura de 14 dias e 28 dias;
- Refazer os ensaios de compressão e absorção com a resina acrílica utilizando uma técnica de aplicação diferente da utilizada nesta pesquisa e que promova maior aderência na superfície;
- Executar os mesmos ensaios realizados na presente pesquisa, porém com concentrações de cimento maiores;
- Analisar o efeito da velocidade de carregamento da prensa nos resultados dos ensaios de compressão.

7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 Versão corrigida: 2016: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458 Versão corrigida 2: 2017: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água: Anexo B (normativo): Grãos de solos que passam na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 Versão corrigida: 2017: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2017;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 Versão corrigida 2: 2018: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2018;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491 Versão corrigida 2: 2012: Tijolo de solo-cimento - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13555 Versão corrigida 2: 2012: Solo-cimento - Determinação da absorção de água - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833 Versão corrigida 2: 2013: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2013;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8482 Versão corrigida 2: 2012: Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023 Versão corrigida 2: 2012: Solo-cimento - Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 2012;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 Versão corrigida 2: 2020: Solo - Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 2020;
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaio.** Estudo técnico. São Paulo, 1986;
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim técnico construção de paredes monolíticas com solo-cimento compactado.** Estudo técnico. São Paulo, 1998;
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento na habitação popular.** 2. ed. São Paulo, 1987;
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018;
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457:2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016;

- BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 1994;
- CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Cartilha para construção de paredes monolíticas em solo-cimento**. BNH/DEPEA. 4. ed., Rio de Janeiro, 1985;
- CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Manual de construção com solo-cimento**. BNH/THABA. 3. ed., Rio de Janeiro, 1984;
- LIMA, R. C. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Dissertação de Pós-Graduação, Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010;
- TORGAL, F. P.; EIRES, R. M. G.; JALALI, S. **Construção em Terra**. Universidade do Minho, Guimarães, 2009;
- FERNANDES, M. C. L. A. - **A cultura construtiva do adobe em Portugal**. Tese de doutoramento, Arquitetura. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013;
- SANTIAGO, C. C. **O Solo como Material de Construção**. EDUFBA. 2. ed, Salvador, 2001;
- NEVES, C. ; FARIA, O. B. **Técnicas de Construção com Terra**. FEB-UNESP / PROTERRA, Bauru, 2011;
- VAZ, A. J. F.; FERREIRA, D.; LUSO, E.; FERNANDES, S. **Manual BIOURB - Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva**. Câmara Municipal de Bragança. ISBN 978-989-8344-22-9, Bragança, 2013;
- CARTILHA PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO. Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista – IEP. Editora Unimep. Piracicaba, 2016;
- LOPES, W. G. R. **Taipa de mão no Brasil levantamento e análise de construções**. Dissertação de Mestrado, Arquitetura, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010;
- LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. Tese de Doutorado, Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.;
- MILANI, A. P. da S.; BARBOZA, C. S. **Contribuição ao estudo de propriedades do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas**, Ambiente Construído, Porto Alegre, 2016;
- FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. **Estudo da aplicação de resíduos de argamassa de cimento nas propriedades de tijolo de solo-cimento**. *Holos Environment*, . São Paulo, 2004;
- PISANE, M. A. J. **Taipas: A arquitetura da terra**. Revista Sinergia, São Paulo, 2004;
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**, 5 ed., Bookman, Porto Alegre, 2016;
- FRAGA, Y. S. B.; BARBOSA, A. Q.; SANTOS, L. H. P.; MOTA, W. V.; DORTAS, I. S. **Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil**, Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT – SERGIPE, Aracaju, 2016;
- CRUZ, M. L. S; JALALI, S. **Avaliação do melhoramento de terra estabilizada**, Argumentum, Universidade do Minho, Guimarães, 2007;

- DORNELLES, L. D. **Comportamento mecânico de um solo argiloso estabilizado com pó de vidro, cal de carbureto e hidróxido de sódio**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020;
- CRUZ, M. L. S. **Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2014;
- D'ALAMBERT, C. C. **O Tijolo nas Construções Paulistas do Século XIX**. Dissertação de Mestrado, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993;
- EUPHROSINO, C. A.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L., et al. **Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, 2022;
- MOTTA, J.C.S.S.; MORAIS, P.W.P.; ROCHA, G. N., et al. **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Revista E-xacta, Belo Horizonte, 2014;
- OLIVEIRA, A.M.G.; FLOR, G.B.; OSSOTANI, H. H., et al. **Análise Comparativa da Alvenaria de Solo-Cimento aos Métodos Cerâmicos e de Concreto e possibilidade de sua aplicação em Habitações de Interesse Social (HIS)**. Universidade Anhembi Morumbi, Belo Horizonte, 2014;
- FRIEDRICH, M.; VAGHETTI, M. A. O, SOARES, J. M. D. **Solo-cimento: O uso da terra crua para construções mais sustentáveis**. 3º Congresso internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, Porto Alegre, 2014;
- DALLACORT, R.; JÚNIOR, H. C. L; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. **Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 2002;
- SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S; PEREIRA, S. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 2008;
- SILVA, C. T. M.; BARROS, S. V. A. **ANÁLISE DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DE TIJOLOS DE SOLOCIMENTO INCORPORADOS COM PÓ DE BRITA**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, [s.l.], 2019;
- MORANDE, A. de S.; Soares, M. S.; ALVES, A. L.. **Capacidade de absorção de água de compósitos solo-cimento-brita com adição parcial de pet – poli (Tereftalato de etileno)**. Anais do 17º ENIC, [s.l.], 2020;
- FERREIRA, R. de C.; GOBO, J. C. da C; CUNHA, A. H. N. **Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento**. Construções rurais e ambiência, Jaboticabal, 2008;
- VALENCIANO, M. C. M.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**. EAgr, Engenharia Agrícola, [s.l.], 2004;
- MOURA, E. M. de; SALES, J. N. B. de; NASCIMENTO, N. C. do; SOUSA, V. M. Z. de; COSTA E SILVA, D. D.; LIBERA JUNIOR, V. D. **Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2021;

FERRARI, V. J.; SOUZA, A. H. C.; BALTAZAR, H. P.; DOTTO, W.; VIEIRA NETO, J. G. **Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2014;

DANTAS, J. L. **IMPERMEABILIZAÇÃO EM BLOCOS DE TERRA COMPACTADOS** Estudo comparativo entre as resinas das marcas Hydronorth® e a Viapol®. Trabalho de conclusão de curso (TCC) de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019;

SILVA, A. R. G. da; DINIZ, M. J.; OLIVEIRA M. P. de. **Uso do pó da palha de carnaúba como impermeabilizante em tijolo de solo-cimento.** 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, 2016;

REZENDE, O. S. **IMPERMEABILIZAÇÃO EM BLOCOS DE TERRA COMPACTADOS** Estudo comparativo entre as resinas das marcas Hydronorth® e a Viapol®. Relatório final de estágio, Técnico em Edificações, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Varginha, 2016;

FERNANDES, H. E.; FERNANDES, I. C. R.; ROSA, D. de J. Q. **A necessidade de impermeabilização na construção civil: estudo de caso na cidade Contagem, MG.** Paramétrica, Contagem, 2022;

MASSON, A. C.; RENZI, G.; SANTOS, S. dos; FLORIANI, R. **Absorção de água em tijolos.** Maiêutica, Indaial, 2016;

CONTECH. **Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica.** Disponível em: <<https://contech.eng.br/servicos/ensaios-especiais/determinacao-da-absorcao-de-agua-indice-de-vazios-e-massa-especifica/>> Acesso em: 02 de dezembro de 2023;

MAPA DA OBRA. **Aditivo impermeabilizante: o que é e para que serve?** Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/saiba-tudo-sobre-aditivo-impermeabilizante/>> Acesso em: 12 de dezembro de 2023;

PONTES, M. M. C., **Arquitetura de terra: um desenho para a durabilidade das construções.** Dissertação. Faculdade de ciências e tecnologias da Universidade de Coimbra. Coimbra. 2012.

VIVA DECORA. **O que é Casa de Adobe? Saiba Tudo Sobre o Assunto +22 Fotos.** Disponível em: < <https://www.vivadecora.com.br/pro/casa-de-adobe/>> Acesso em: 14 de dezembro de 2023.

ADNORMA. **Os ensaios em tijolos de solo-cimento.** Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/09/17/os-ensaios-em-tijolos-de-solo-cimento>> Acesso em: 14 de dezembro de 2023.

VITRUVIUS. **Taipa de pilão: do vernacular à mecanização. Panorama mundial e brasileiro.** Disponível em:<<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/22.262/8454>> Acesso em: 14 de dezembro de 2023.

VEDACIT. **Acquella.** Disponível em: <https://www.vedacit.com.br/para-voce/produtos-e-solucoes/protetores_para_supe/acquella.html> Acesso em: 14 de dezembro de 2023.