

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

DANILO GARCEZ ARAÚJO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO SOLO-CIMENTO COM
INCLUSÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2024

DANILO GARCEZ ARAÚJO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO SOLO-CIMENTO COM
INCLUSÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO**

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

2024

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Célia Aparecida Santos de Araújo
CRB 5/1030

Araújo, Danilo Garcez.

A658e Estudo do comportamento mecânico do solo-cimento com inclusão de
fibra de polipropileno./ Danilo Garcez Araújo. – Aracaju, 2024.
44f.: il.

Monografia – Curso Engenharia Civil– Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS.

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

1. Solo-Cimento. 2. Engenharia Civil - Fibras. 3. Resistência a
Compress . I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
de Sergipe - IFS. II. Guedes, Emiliana de Souza Rezende. III.
Título.

CDU: 624

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

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 294

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO SOLO-CIMENTO COM
INCLUSÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO**

DANILO GARCEZ ARAÚJO

Esta monografia foi apresentada às 18 h 30 do dia 24 de Setembro 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.

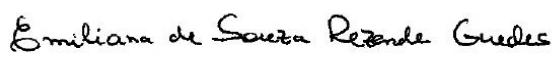
Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


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

(IFS – Campus Aracaju)


Eng.º Ciro Lionel de Oliveira Félix

(IFS – Campus Aracaju)


Prof. M.Sc. Emiliana de Souza Rezende Guedes

(IFS – Campus Aracaju)
Orientadora


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

Dedico este trabalho a minha mãe aos
meus pais e a minha avó por todo
cuidado e empenho na minha formação

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, pois sei que se consegui estar onde estou, com a capacidade que tenho é pela graça e permissão dele.

À minha mãe, dedico essa e todas as futuras vitórias, além da minha eterna gratidão. Sua força, determinação e amor incondicional foram fundamentais para minha formação. Nunca esquecerei de que mesmo quando não tínhamos nada além de um ao outro e da certeza de que Deus era por nós, e mesmo lhe faltando tudo, nunca permitiu que me faltasse nada. Ao meu pai Cleverton, por todo o esforço para que esse meu sonho fosse possível e por sempre ter buscado me mostrar os melhores caminhos na busca pelo conhecimento e amadurecimento. Ao meu pai Alex, por todo o apoio que teve durante meu crescimento, sempre buscando me proporcionar as melhores oportunidades, e sendo um exemplo de homem a ser seguido.

Ao meu irmão Pedro, meu eterno companheiro, agradeço por sua amizade sincera e por sempre me fazer enxergar o lado positivo das coisas. E à Katherine, mulher que admiro e que me inspira sempre a buscar o meu melhor, e que sempre esteve e está ao meu lado.

Agradeço a professora Emiliana, que não canso de repetir, é a melhor professora e orientadora que podemos ter no curso de Engenharia Civil, no IFS. Por mesmo diante de todos os percalços, nunca desacreditar, e sempre nos motivar, fazendo com que pudéssemos acreditar que é possível.

Agradeço aos meus amigos que nesses tempos conturbados, puderam me proporcionar esperança, força e muitos sorrisos, através de suas orações, em especial, Josimar, Marcos, Raian e todos os meus irmãos do Grupo de Jovens, Missionários.

Agradeço a todas as pessoas que passaram por minha vida e que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse estar onde estou hoje.

“Tudo que fizerem, façam de todo o coração, como para o senhor, e não para os
homens”

- Colossenses 3:23.

RESUMO

Araújo, Danilo Garcez. **Estudo do comportamento mecânico do solo-cimento com inclusão de fibras de polipropileno**. 46 folhas, Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2024.

Este trabalho investigou o efeito da incorporação de fibras de polipropileno na resistência à compressão de compósitos solo-cimento. Foram confeccionados corpos de prova com diferentes teores de fibra e submetidos a ensaios de compressão. Os resultados obtidos indicaram que a adição de fibras não proporcionou o aumento esperado na resistência à compressão, ao contrário, observou-se uma tendência de redução. Essa constatação contrasta com alguns estudos da literatura e pode estar relacionada às características da argila utilizada, com alto teor de areia, que confere ao compósito uma resistência intrínseca elevada. A orientação aleatória das fibras e a possível dificuldade de adesão à matriz cimentícia também podem ter contribuído para a redução da resistência. Conclui-se que, para a matriz de solo-cimento utilizada neste estudo, a adição de fibras de polipropileno nos teores analisados não se mostrou eficaz em aumentar a resistência à compressão. Sugere-se a realização de estudos futuros com diferentes tipos de argila e fibras, além da avaliação de outras propriedades, para uma melhor compreensão do comportamento desses materiais.

Palavras-chave: Compósitos solo-cimento, fibras, resistência a compressão.

ABSTRACT

Araújo, Danilo Garcez. **Study of the mechanical behavior of soil-cement with the inclusion of polypropylene fibers.** 46 pages, Undergraduate Thesis (Bachelor of Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe – Aracaju Campus. 2024.

This study investigated the effect of incorporating polypropylene fibers on the compressive strength of soil-cement composites. Specimens were produced with different fiber contents and subjected to compression tests. The results obtained indicated that the addition of fibers did not provide the expected increase in compressive strength, on the contrary, a reduction trend was observed. This finding contrasts with some studies in the literature and may be related to the characteristics of the clay used, with a high sand content, which gives the composite an intrinsically high strength. The random orientation of the fibers and the possible difficulty of adhesion to the cement matrix may also have contributed to the reduction in strength. It is concluded that, for the soil-cement matrix used in this study, the addition of polypropylene fibers at the analyzed contents was not effective in increasing compressive strength. It is suggested that future studies be carried out with different types of clay and fibers, as well as the evaluation of other properties, for a better understanding of the behavior of these materials.

Keywords: Soil-cement composites, fibers, compressive strength.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cimento Portland.....	17
Figura 2: Fibra natural (coco).....	18
Figura 3: Fibras de vidro.	18
Figura 4: Fibras de Polipropileno.....	19
Figura 5: Fibras Metálicas.	19
Figura 6: Aplicação de Geogrelha.	20
Figura 7: Curva Granulométrica do solo argiloso.....	23
Figura 8: Classificação de solo segundo a AASHTO.....	24
Figura 9: Curva Granulométrica do solo arenoso.....	25
Figura 10: Curva de compactação do compósito.....	26
Figura 11: Compósito (Cimento, areia e argila).....	28
Figura 12: Separação de material para moldagem do corpo de prova.....	28
Figura 13: Compósito de cimento, argila, areia e fibra	29
Figura 14: Compósito de cimento, argila, areia, fibra e água.....	29
Figura 15: Separação das camadas dos CP's.....	30
Figura 16: Cilindro e Tarugos de compactação.....	30
Figura 17: Cilindro com amostra pronta para compactação.....	31
Figura 18: Produção de ranhuras para aumento de aderência entre camadas.....	32
Figura 19: Moldagem da mistura na prensa	32
Figura 20: Moldagem da mistura na prensa	33
Figura 21: Cura dos corpos de prova envoltos em plástico filme.....	34
Figura 22: Adaptador para ruptura do corpo de prova.....	35
Figura 23: Comparativo da Resistência à compressão dos CP's.....	37
Figura 24: Valores médios de resistência a compressão.....	37
Figura 25: Comparativo da Resistência à compressão.	38
Figura 26: Comparativo dos valores médios de resistência a compressão	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Detalhamento dos corpos de prova	27
Quadro 2: Resultados da resistência a compressão geral.	36
Quadro 3: Resultados da resistência a compressão.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Histórico sobre solo reforçado	15
3.2 Técnicas de reforço de solo.....	16
3.2.1 Cimento.....	16
3.2.2 Fibras.....	17
3.2.2.1 Fibras Naturais	18
3.2.2.2 Fibras Minerais	18
3.2.2.3 Fibras Sintéticas.....	19
3.2.2.4 Fibras Metálicas.....	20
3.2.3 Geossintéticos.....	20
3.3 Estudo sobre solo cimento e seu reforço com fibra.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
a) Solo 1.....	24
b) Solo 2.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

A utilização de solos estabilizados com material cimentante como nas construções remonta a tempos antigos, com registros de sua aplicação em diversas civilizações. No entanto, foi com o desenvolvimento da indústria do cimento Portland, no século XIX, que essa técnica ganhou maior impulso. A combinação de solo, cimento e água proporcionava um material de construção com propriedades mecânicas satisfatórias, de fácil obtenção e baixo custo, tornando-o uma alternativa atrativa para construções em diversas regiões do mundo (Pacheco, 2009).

Com o passar dos anos, a busca por materiais de construção mais eficientes e sustentáveis impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias para melhorar as propriedades do solo-cimento. A incorporação de fibras sintéticas, como as de polipropileno, representa um marco importante nessa evolução. A primeira utilização de fibras em compósitos de concreto data da década de 1970, somente nas últimas décadas que essa tecnologia se popularizou e se tornou objeto de numerosas pesquisas (Rodrigues, 1999).

A crescente demanda por infraestruturas cada vez mais robustas e duráveis, aliada à escassez de recursos naturais e à necessidade de reduzir o impacto ambiental, tem impulsionado a busca por materiais mais eficientes e sustentáveis. Nesse contexto, a utilização de solos estabilizados com cimento e reforçados com fibras tem se destacado como uma alternativa promissora para diversas aplicações na engenharia civil, como a construção de pavimentos, fundações e elementos estruturais (Rodrigues, 1999).

A adição de fibras sintéticas, como as de polipropileno, aos compósitos de solo-cimento pode conferir ao material propriedades mecânicas superiores, como maior resistência à tração, tenacidade e ductilidade. Essas características são particularmente desejáveis em aplicações onde o material está sujeito a carregamentos cíclicos e à formação de fissuras, como em pavimentos e fundações (Guedes, 2013).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas de corpos de prova de solo-cimento, com foco na resistência à compressão uniaxial. A hipótese é que a inclusão dessas fibras em diferentes teores promova o aumento da resistência do material, permitindo a redução do consumo de cimento e, conseqüentemente, dos custos de produção, sem comprometer a durabilidade e a performance do material.

A relevância deste estudo reside na possibilidade de otimizar o uso de recursos naturais, reduzir o impacto ambiental associado à produção de cimento e contribuir para o desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis e eficientes. Além disso, os

resultados obtidos poderão auxiliar no dimensionamento de estruturas com solo-cimento reforçado com fibras, proporcionando maior segurança e durabilidade.

Para alcançar os objetivos propostos, foram realizados ensaios de compressão uniaxial em corpos de prova de solo-cimento com diferentes teores de fibra de polipropileno. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com os de corpos de prova sem fibras, permitindo avaliar o efeito da adição das fibras na resistência à compressão.

Espera-se que este trabalho contribua para o avanço do conhecimento sobre o comportamento mecânico de compósitos de solo-cimento reforçados com fibras, fornecendo subsídios para a elaboração de projetos mais eficientes e seguros, além de estimular o desenvolvimento de novas aplicações para esses materiais na construção civil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas de corpos de prova de solo-cimento, com foco na resistência à compressão uniaxial. A hipótese é que a inclusão dessas fibras em diferentes teores promova o aumento da resistência do material, permitindo a redução do consumo de cimento e, conseqüentemente, dos custos de produção, sem comprometer a durabilidade e a performance do material.

2.2 Objetivos específicos

- i. Encontrar o traço compatível para os tipos de solos utilizados na campanha experimental;
- ii. Definir as quantidades de fibras utilizadas na campanha experimental, de acordo com referencial bibliográfico;
- iii. Determinar a resistência a compressão de corpos-de-prova cilíndricos sem fibras e com fibras sintéticas;
- iv. Analisar e comparar o efeito da inclusão das fibras sintéticas no compósito de solo-cimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico sobre solo reforçado

A utilização de solo como material de construção, é uma das práticas mais antigas da humanidade. Pela sua abundância e facilidade de manuseio, a terra foi, por muito tempo, um dos principais materiais utilizados. Não podemos estipular uma data precisa do início de sua utilização por vários fatores, como a degradação natural, tendo em vista a dificuldade de preservação das edificações que utilizaram esse método, devido a erosão e deteriorações que são mais suscetíveis em construções de terra. Atribuímos a essa dificuldade também a falta de registros, que limita a documentação histórica, observando o fato que as civilizações primitivas nem sempre possuíam sistemas de escrita desenvolvidos. Mesmo com essas dificuldades, arqueólogos tem encontrado diversas evidências de construções em terra em várias partes do mundo, como por exemplo em Jericó (Palestina), onde se encontra o Sítio de Jericó, muito conhecido por sua identidade com a Bíblia, que acaba atraindo arqueólogos para estudos, com isso tem sido descoberto 12.000 anos de atividade humana, e pode-se encontrar vestígios de construções em terra (Pacheco, 2009).

Tendo uma baixa taxa de resistência, um solo sem reforço, especialmente os com alta porcentagem de finos (argilas e siltes) ou com uma estrutura solta e pouco compactada, limitam significativamente as possibilidades de utilização do mesmo na construção civil, o que sempre foi um desafio para engenheiros e construtores. Essa característica, influenciada por fatores como composição mineralógica, granulometria, umidade e estado de tensões, limita a capacidade de suporte do solo e pode comprometer a estabilidade de obras de engenharia. Para superar esse desafio, ao longo dos anos, foram desenvolvidas diversas técnicas que podem vir a melhorar suas propriedades, culminando no surgimento do conceito de solo reforçado. Essa técnica consiste na inclusão de elementos artificiais, como geogrelhas, geotêxteis e fibras sintéticas, com o objetivo de aumentar sua resistência à tração e melhorar suas propriedades mecânicas (Velloso, 2010).

Os primórdios do reforço de solos podem ser traçados nas antigas civilizações, que utilizavam materiais naturais como fibras vegetais e ramos para estabilizar taludes e construir estruturas. No entanto, foi com o avanço da indústria e o desenvolvimento de novos materiais sintéticos que a busca por novos métodos ganhou um novo impulso. A partir da segunda metade do século XX, com a crescente demanda por obras de infraestrutura, a pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais e técnicas de reforço de solos se intensificaram. Atualmente, é uma prática comum na engenharia geotécnica, sendo utilizado em diversas

aplicações, como a construção de muros de contenção, taludes, pavimentos e fundações (Palmeira, 1999).

As vantagens do uso de solos reforçados são inúmeras, incluindo a redução de custos, a otimização do uso de materiais naturais, a possibilidade de construção em áreas com solos de baixa qualidade e a maior durabilidade das obras. Além disso, sua utilização contribui para a sustentabilidade ambiental, pois reduz a necessidade de grandes movimentações de terra e a utilização de materiais convencionais (Guedes, 2013).

3.2 Técnicas de reforço de solo

Entende-se por reforço de solo, um conjunto de procedimentos e métodos utilizados para melhorar as propriedades mecânicas de um solo, com o objetivo de modificar as características intrínsecas do solo, como a coesão, o ângulo de atrito interno e a resistência à tração, de modo a torná-lo mais adequado para suportar as cargas aplicadas e resistir aos esforços impostos pelas obras de engenharia (Casagrande, 2001).

Existem diversas técnicas que podem ser eficazes, dentre elas destaca-se a inclusão de cimento ao solo, que aumenta a sua coesão e resistência, a adição de fibras e também o uso de geossintéticos. Para a escolha do método, deverá ser levado em conta diversos fatores, como o tipo de solo, as condições de carregamento, o objetivo da obra, custos e até mesmo as condições ambientais (Guedes, 2013).

3.2.1 Cimento

Sendo um material versátil e amplamente utilizado na construção civil, o cimento também desempenha um papel fundamental no reforço de solos. Seu uso é altamente eficaz e amplamente utilizado na engenharia geotécnica. Ao aumentar a resistência, a rigidez e a durabilidade do solo, o cimento permite a construção de obras mais seguras e duráveis em áreas como solo de baixa qualidade. Contudo, é importante considerar os aspectos positivos e negativos dessa técnica, bem como as condições específicas de cada projeto, para garantir a escolha da solução mais adequada para cada situação (Kolling, Trogello, Modolo, 2012).

Figura 1 - Cimento Portland



Fonte: (Machado, 2023)

3.2.2 Fibras

A adição de fibras a matrizes de solo-cimento representa uma evolução na engenharia geotécnica. Essa técnica consiste na incorporação intencional de elementos fibrosos a esse material composto, objetivando aprimorar suas propriedades mecânicas. Ao atuar como elementos de reforço dispersos, as fibras contribuem significativamente para o aumento da resistência à tração, tenacidade e ductilidade, mitigando a propagação de fissuras e aumentando sua capacidade de absorver energia. Essa otimização do material permite aplicações mais eficientes em diversas obras de engenharia civil, reduzindo a necessidade de grandes volumes de material e otimizando recursos (Galvão, 2015).

Possuindo quatro principais classes, sendo elas as fibras naturais, minerais, sintéticas e metálicas, cada uma com suas respectivas particularidades, a seleção de fibras para o reforço de solos, constitui um processo com uma série de fatores, exigindo uma análise criteriosa das propriedades do sistema. A heterogeneidade dos solos, as especificidades de cada aplicação e as propriedades mecânicas desejadas para o compósito final são os principais parâmetros que influenciam na escolha do tipo de fibra. A grande variedade desse material disponível no mercado, com suas respectivas características químicas, físicas e mecânicas, oferece uma vasta área de possibilidades e escolhas de combinação (Galvão, 2015).

3.2.2.1 *Fibras Naturais*

Tendo ganhado cada vez mais destaque no cenário da construção civil, especialmente no que diz respeito ao reforço de solos, as fibras naturais são elementos lineares e flexíveis obtidos de fontes naturais. Possuem propriedades mecânicas que as tornam adequadas para o reforço de solos, como resistência à tração e ductilidade. As fibras vegetais utilizadas em materiais compósitos podem ser de bambu, juta, capim elefante, malva, coco, piaçava, sisal, linho e cana-de-açúcar (Hannant, 1994).

Figura 2 – Fibra natural (Coco)



Fonte: (Fernández, 2023)

3.2.2.2 *Fibras Minerais*

Sendo materiais filamentosos obtidos a partir de minerais naturais ou artificiais, as fibras mineiras possuem diversas propriedades que as tornam interessantes para diversas aplicações, sendo uma delas a construção civil. Dentre as mais comuns, podemos destacar o amianto, hoje em dia em desuso devido aos seus riscos à saúde, a fibra de vidro e a fibra de rocha vulcânica. Dentre suas maiores vantagens podemos destacar a sua alta resistência à temperatura, a sua boa resistência química, seu bom isolamento térmico acústico, e o aumento na resistência dos materiais compostos como concreto e o próprio solo-cimento (Taylor, 1994).

Figura 3 - Fibras de Vidro



Fonte: (Richards, 2014).

3.2.2.3 Fibras Sintéticas

Fruto da engenharia química, as fibras sintéticas revolucionaram diversos setores, incluindo a construção civil. Produzidas a partir de polímeros, essas fibras apresentam propriedades únicas que as tornam altamente versáteis e eficientes em diversas aplicações, como reforço de concreto, solo-cimento e argamassas. Representam uma importante ferramenta para a construção civil moderna, permitindo a criação de compósitos mais resistentes (Palmeira, 1999).

Diversos polímeros sintéticos, como polipropileno, polietileno, poliéster e poliamida, na forma de fibras, têm sido amplamente utilizados como elementos de reforço em engenharia geotécnica para melhoria das propriedades mecânicas de massas de solo.

Figura 4 – Fibras de Polipropileno.



Fonte: (Isoalfa, 2014)

3.2.2.4 Fibras Metálicas

As fibras de aço, apresentam um módulo de elasticidade à tração tipicamente na ordem de 200 GPa. A suscetibilidade à corrosão, intrínseca a esses elementos metálicos, constitui um desafio em diversas aplicações. A fim de mitigar tal fenômeno, o tratamento superficial por niquelagem, conforme proposto por Taylor (1994), tem se mostrado eficaz. A morfologia das fibras, comumente variável, otimiza a interação matriz-fibra, conforme elucidado por Hannant (1994), influenciando significativamente o desempenho mecânico dos compósitos.

Figura 5 – Fibras Metálicas.



Fonte: (Lanz Tecnomaster, 2016)

3.2.3 Geossintéticos

Geossintéticos são materiais poliméricos de alta performance, amplamente utilizados em obras geotécnicas para otimizar o desempenho de solos e estruturas. Suas aplicações incluem o reforço de maciços terrosos, a drenagem de águas subterrâneas, a separação de camadas de solo, a contenção de fluidos e a proteção ambiental (Palmeira, 1999).

A utilização de geossintéticos no reforço de solo-cimento representa uma avançada técnica na engenharia geotécnica, visando otimizar o desempenho de estruturas de terra. Ao incorporar esses materiais poliméricos em misturas de solo e cimento, é possível obter um material composto com propriedades mecânicas significativamente aprimoradas (Palmeira, 1999).

Devido à sua alta resistência à tração e à deformação, contribuem para a melhoria da resistência ao cisalhamento e à tração do compósito, reduzindo a fissuração e aumentando a durabilidade das estruturas. Além disso, esses materiais facilitam a distribuição de tensões,

minimizando o surgimento de pontos concentrados de tensão e aumentando a capacidade de carga do material composto.

A Figura 6 apresenta um caso típico de aplicação de geogrelha para reforço de aterro.

Figura 6 – Aplicação de Geogrelha.



Fonte: (Ribeiro, 2019)

3.3 Estudo sobre solo cimento e seu reforço com fibra

Tendo seus primeiros registros na pesquisa de Charles H. Moorefields, no *South Carolina State Highway Department*, no ano de 1932, o solo-cimento é um material compósito (junção de dois ou mais materiais com propriedades químicas ou físicas distintas), resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento Portland e água, em proporções adequadas. Essa combinação confere ao material propriedades mecânicas e durabilidade significativas, tornando-o uma alternativa viável e sustentável para diversas aplicações na construção civil. A busca constante por melhoria nos materiais, nos leva ainda à incorporação de outros produtos que possam melhorar ainda mais a eficácia desse compósito. A partir de

pesquisas, surgiram os estudos de inclusão de fibras ao solo cimento, visando aumentar ainda mais sua eficiência (CEPED, 1984).

Através de estudos, foi observado que o incremento no comprimento das fibras resulta em um aumento progressivo da resistência mecânica dos compósitos, atingindo um patamar assintótico a partir de determinado valor (Gray & Ohashi, 1983; Ulbrich, 1997; Santoni et al., 2001; Heineck, 2002; Vendruscolo, 2003). Concomitantemente, observa-se uma redução no índice de fragilidade e um aumento na tenacidade à fratura com o aumento do comprimento das fibras (Crockford et al., 1993; Ulbrich, 1997; Montardo et al., 2002). Entretanto, o aumento excessivo do comprimento fibroso pode levar à diminuição da resistência máxima e, paradoxalmente, a um aumento na tenacidade à fratura (Maher & Ho, 1994).

Estudos apontam que o incremento gradual do teor de fibra em um material compósito resulta em um correspondente aumento da resistência mecânica, até atingir um ponto de saturação a partir do qual adições adicionais de fibra não proporcionam mais ganhos significativos de resistência (Gray & Ohashi, 1983; Gray & Al-Refeai, 1986; McGown et al., 1988; Maher & Ho, 1994; Ulbrich, 1997; Specht, 2000; Santoni et al., 2001; Vendruscolo, 2003). Concomitante à isso, observa-se que o aumento da concentração de fibras influencia de maneira complexa a tenacidade do material: enquanto eleva a capacidade de absorção de energia, também pode incrementar o índice de fragilidade, dependendo da natureza das fibras e da matriz polimérica (Maher & Ho, 1993; Gray & Ohashi, 1983; Ulbrich, 1997; Montardo et al., 2002). A inclusão de fibras, portanto, promove um trade-off entre resistência e tenacidade, sendo fundamental otimizar a composição do compósito para cada aplicação específica.

Foi avaliado por Ulbrich (1997) e Consoli (1998, 1999) que o efeito da incorporação de fibras de vidro em matrizes de solo cimentado e não cimentado por meio de ensaios de compressão não confinada, compressão diametral e triaxiais drenados. Os resultados obtidos demonstram que:

- I. A resistência à compressão não confinada dos compósitos solo-fibra apresentou incremento de até 20% em relação ao solo natural, evidenciando uma relação direta entre o aumento da resistência e o comprimento e teor de fibras adicionadas.
- II. Os ensaios triaxiais drenados revelaram um aumento significativo nas tensões de pico e últimas dos compósitos, acompanhado por uma redução na rigidez inicial. A inclusão de fibras promoveu uma transição para um comportamento pós-pico mais dúctil, independente do grau de cimentação.

- III. O ângulo de atrito de pico, embora não tenha sido significativamente influenciado pelo grau de cimentação, apresentou um aumento com a incorporação de fibras, indicando um mecanismo de reforço por interação entre a matriz e as fibras.
- IV. O intercepto coesivo de pico, por sua vez, mostrou-se dependente exclusivamente do grau de cimentação, não sendo alterado pela presença das fibras.
- V. A capacidade de absorção de energia dos compósitos foi significativamente incrementada pela adição de fibras, especialmente em condições de baixo confinamento. Nesse contexto, as fibras atuam como elementos de ponte, retardando a propagação de fissuras e aumentando a tenacidade à fratura dos materiais compósitos.

Por fim, segundo GUEDES (2013), a incorporação de fibras em matrizes de solo-cimento confere ao compósito resultante um conjunto de propriedades mecânicas que o torna altamente promissor para aplicações na construção. A adição de fibras, independentemente de seu teor e comprimento, promove um notável incremento na resistência à tração e à flexão da matriz cimentada, concomitantemente com um aumento significativo na ductilidade. Esse efeito sinérgico é resultado da capacidade das fibras de *bridging* (ponteameto) e de *crack arrest* (contenção de fissuras), que retardam a propagação de danos e dissipam energia, conferindo ao material uma maior tenacidade à fratura.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

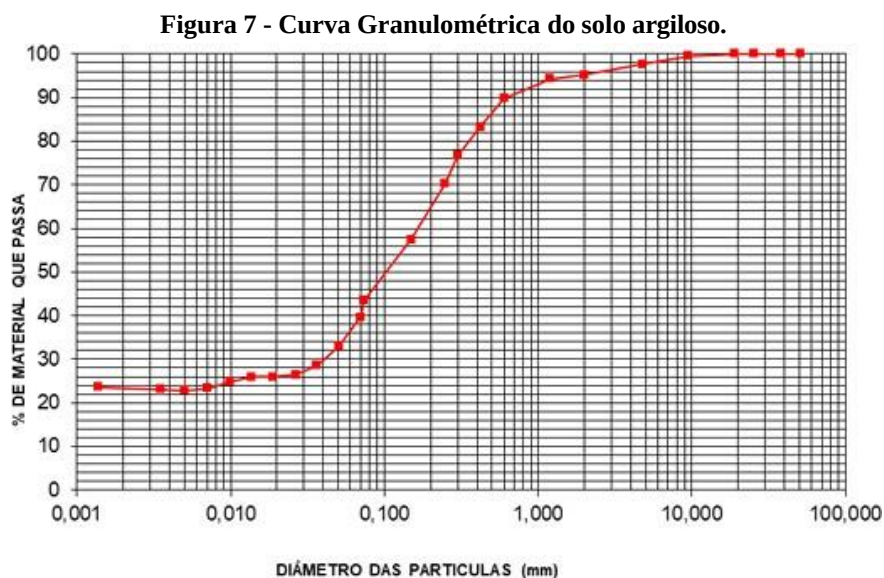
4.1 Materiais

4.1.1 Solo

Os solos utilizados na campanha experimental foram obtidos em uma fábrica de tijolos ecológicos localizada no conjunto Santa Lúcia, no bairro Jabotiana, Aracaju-SE. A escolha deste local se justifica pela disponibilidade de grandes volumes de solo com características variadas, resultantes dos processos de extração e beneficiamento. Foram coletadas duas amostras de aproximadamente 150 kg cada, as quais foram acondicionadas em sacos de rafia para evitar a contaminação durante o transporte. Foi levado ao laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe, onde foram submetidas a um processo de secagem ao ar, com o objetivo de reduzir o teor de umidade e facilitar o manuseio. Posteriormente, o material seco foi armazenado em ambiente coberto, visando preservar suas características originais até o início dos ensaios.

a) Solo 1

A caracterização granulométrica da amostra de solo, preparada conforme a norma ABNT NBR 6457:2024, foi realizada por meio do ensaio de peneiramento e sedimentação, seguindo a metodologia descrita na NBR 7181/2016. A curva granulométrica resultante, ilustrada na Figura 7, revela um perfil predominantemente arenoso.



Fonte: O autor (2024).

A análise granulométrica indicou a presença de 4,77% de material granular (pedregulho), 51,67% de fração arenosa e 20,68% de silte. A fração argilosa, por sua vez, apresentou um teor de 22,88%, sendo a argila coloidal a principal componente desta fração.

A elevada proporção de argila confere ao solo propriedades como alta coesão, plasticidade e baixa permeabilidade, típicas de solos argilosos. A presença de uma quantidade significativa de argila coloidal, com suas partículas de tamanho inferior a 0,002 mm, influencia significativamente o comportamento do solo, conferindo-lhe características como alta atividade e sensibilidade.

Após ser determinada a granulometria, foram feitos os ensaios dos limites de Atterberg. Realizados conforme as normas técnicas ABNT NBR 6459:2016 e NBR 7181/2016, resultaram nos seguintes valores: limite de liquidez igual a 29,4%, limite de plasticidade igual a 12,2% e índice de plasticidade igual a 17%.

Com base nos resultados dos ensaios, o solo foi classificado segundo a classificação AASHTO (*Association of State Highway and Transportation Officials*) como um solo areia siltosa ou argilosa, do tipo A-2-6, conforme os critérios estabelecidos observados na Figura 8.

Figura 8: Classificação de solo segundo a AASHTO.

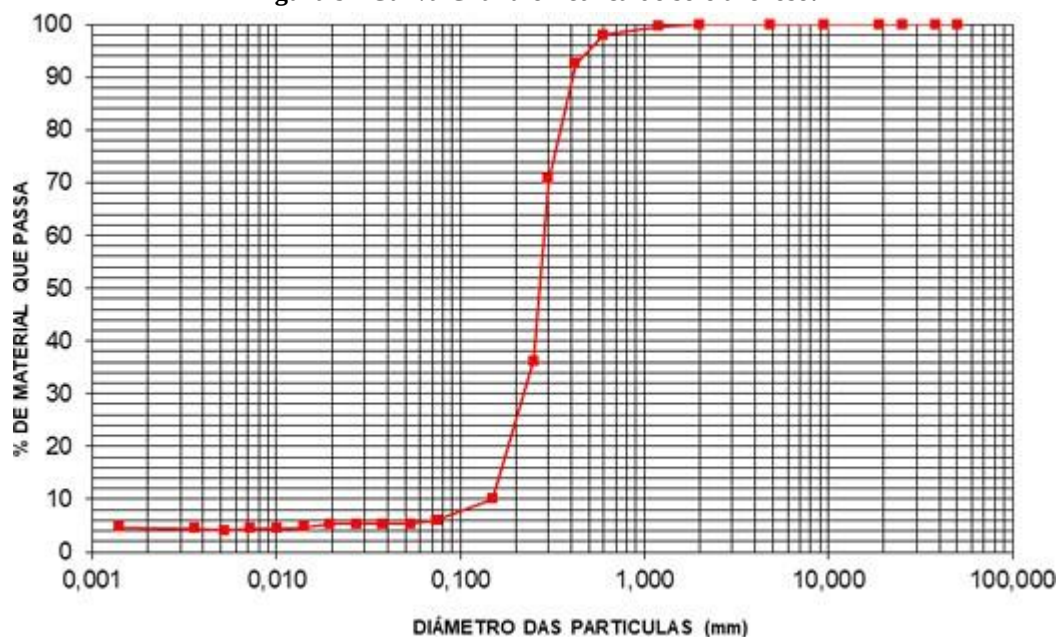
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Grupo											
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: (DNIT, 2006).

b) Solo 2

A análise granulométrica do solo, conduzida de acordo com a norma NBR 7181/2016, permitiu caracterizar o material como predominantemente arenoso. A curva granulométrica apresentada na Figura 9 evidencia uma significativa porcentagem de frações arenosas, com 7,40% de areia grossa e 86,30% de areia média e fina. A fração siltosa representou 2,05% da massa total, enquanto a fração argilosa, incluindo a argila coloidal, correspondeu a 4,25%. A presença de 0,24% de pedregulho indica a existência de alguns grãos maiores na amostra. Essa composição granulométrica, caracterizada por uma elevada uniformidade e predominância de partículas arenosas, confere ao solo propriedades como alta permeabilidade e baixa coesão, típicas de solos com matriz arenosa.

Figura 9 - Curva Granulométrica do solo arenoso.



Fonte: O autor (2024).

A análise granulométrica permitiu classificar o solo, segundo a classificação AASHTO (Figura 8), como A-3 (areia fina). Devido à predominância de frações arenosas, a realização dos ensaios de limites de Atterberg e de compactação não se justifica, uma vez que esses ensaios são adequados para solos com presença de partículas argilosas.

4.1.2 Cimento

O ligante hidráulico empregado neste estudo foi o cimento Portland composto CP II-E-32, adquirido em embalagem de 50 kg em loja de material de construção. A escolha por este tipo de cimento se justifica pela sua relação custo-benefício, aliada a um desempenho satisfatório em diversas aplicações, incluindo a estabilização de solos. Para garantir a qualidade do material e evitar a carbonatação, os sacos foram armazenados em local coberto e seco, sobre paletes de madeira, até o momento do uso.

4.1.3 Fibra Polimérica

As fibras poliméricas utilizadas neste estudo foram adquiridas em uma empresa especializada na fabricação de materiais de construção, localizada em Aracaju-SE. Optou-se por fibras de polipropileno monofilamento, com comprimento nominal de 15 mm, devido à sua elevada resistência à tração, módulo de elasticidade e excelente resistência à alcalinidade, propriedades que as tornam adequadas para reforçar matrizes cimentícias. A escolha do

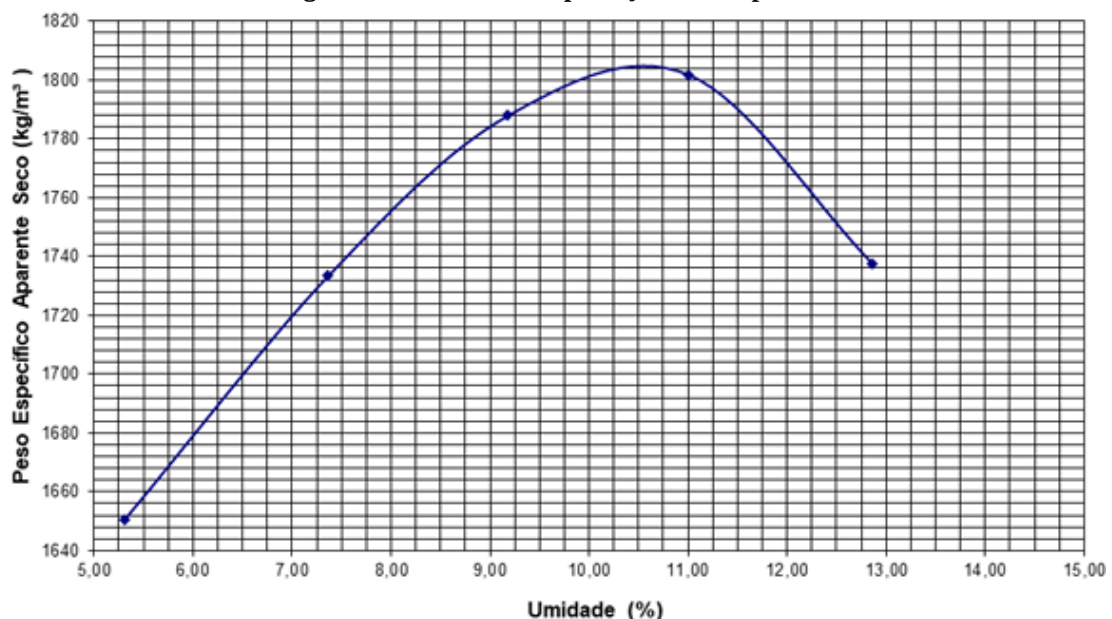
polipropileno se justifica pela sua inércia química, que impede reações adversas com os componentes do cimento, e pela sua baixa densidade, que contribui para reduzir o peso do compósito final.

4.2 Metodologia

4.2.1 Determinação do traço do compósito

Para a mistura dos materiais secos do compósito, procurou-se seguir o traço utilizado na fábrica de tijolos onde o solo foi coletado, sendo este com a proporção em volume de 1:2:5 (cimento:argila:areia). Assim, fez-se a determinação do peso específico aparente seco máximo e do teor de umidade ótimo do compósito, através do ensaio de compactação com a energia do Proctor Normal, seguindo a NBR 12023/2012. Com os resultados do ensaio (Figura 10), evidenciou-se um peso específico aparente seco máximo de 1804 Kg/m³ e um teor de umidade ótimo de 10,5%.

Figura 10: Curva de compactação do compósito.



Fonte: O autor (2024).

Após a análise dos resultados da compactação, realizou-se a primeira moldagem do corpo de prova de solo-cimento. Com isso, percebeu-se que seria difícil manter a integridade dos cilindros após moldagem, devido a grande quantidade de areia presente no traço. Diante dessa nova informação, tornou-se necessário ajustar a proporção dos componentes da mistura. Assim, optou-se por um novo traço de 1:1:2,5 (cimento:argila:areia), onde seria garantido uma quantidade maior de finos através do aumento do teor de cimento.

A quantidade de água utilizada na mistura foi determinada através do teor de umidade ótima de 10,5 % e um peso específico aparente seco máximo de 1,804 g/cm³. A adoção deste teor garante a máxima densidade da mistura, contribuindo para o aumento da resistência e da durabilidade do compósito solo-cimento. A determinação precisa da relação água/cimento é fundamental para garantir a hidratação adequada do cimento e o desenvolvimento das propriedades desejadas no material.

4.2.2 Determinação das concentrações de fibra

Com o traço citado anteriormente, foram moldados 12 (doze) corpos de prova com diferentes teores de fibras de polipropileno, conforme apresentado no Quadro 1. Essa variação na sua dosagem permitiu avaliar a influência da presença desse elemento nas propriedades do compósito solo-cimento. Neste trabalho, foram empregadas três concentrações de fibras, correspondendo a 0,25%, 0,50% e 0,75% da massa do compósito. Essas dosagens foram definidas com base em estudos prévios e na literatura especializada, a fim de avaliar a influência da adição de fibras nas propriedades mecânicas, como resistência à compressão. As fibras foram adquiridas em embalagens hermeticamente fechadas, em condições adequadas de temperatura e umidade, garantindo a preservação de suas características originais até o momento do uso.

Quadro 1- Detalhamento dos corpos de prova.

Corpos de prova	Compósito	Fibras		Tempo de Cura	Sigla
		Porcentagem	Peso		
CP01	SC	-	-	28 dias	SC-1
CP02	SC	-	-	28 dias	SC-2
CP03	SC	-	-	28 dias	SC-3
CP04	SC + Fibra	0,25%	1,4g	28 dias	SC-0,25%-1
CP05	SC + Fibra	0,25%	1,4g	28 dias	SC-0,25%-2
CP06	SC + Fibra	0,25%	1,4g	28 dias	SC-0,25%-3
CP07	SC + Fibra	0,50%	2,8g	28 dias	SC-0,50%-1
CP08	SC + Fibra	0,50%	2,8g	28 dias	SC-0,50%-2
CP09	SC + Fibra	0,50%	2,8g	28 dias	SC-0,50%-3
CP10	SC + Fibra	0,75%	4,2g	28 dias	SC-0,75%-1
CP11	SC + Fibra	0,75%	4,2g	28 dias	SC-0,75%-2
CP12	SC + Fibra	0,75%	4,2g	28 dias	SC-0,75%-3

Fonte: Autor (2024).

4.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Inicialmente realizou-se a mistura dos materiais secos, em conformidade com as especificações do traço. A homogeneização dos materiais foi realizada em um recipiente adequado, utilizando uma colher de pedreiro, visando garantir a uniformidade da mistura (Figura 11).

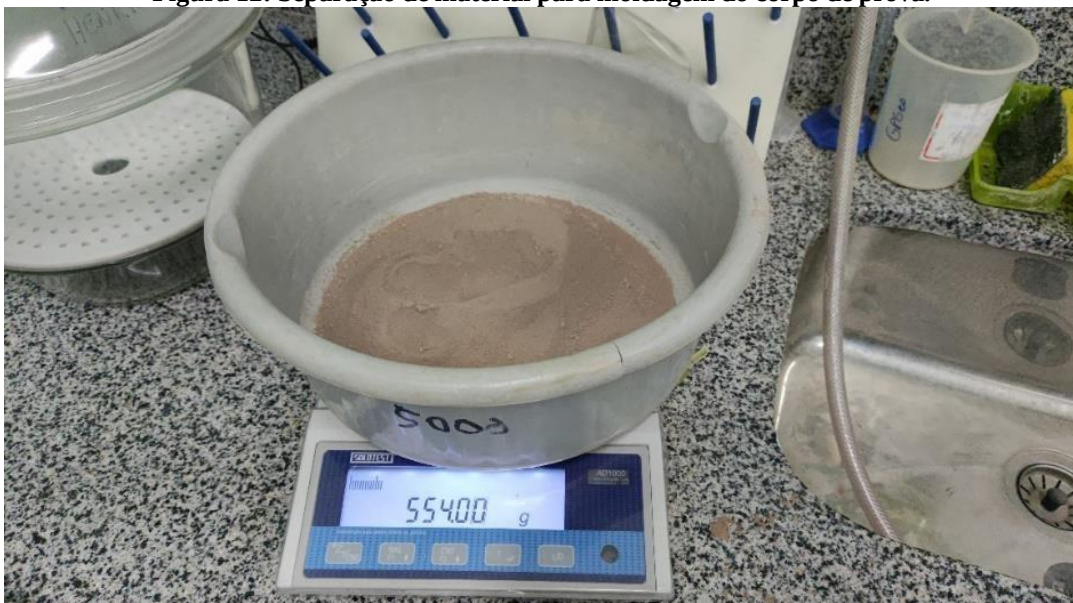
Figura 11: Compósito (Cimento, areia e argila).



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, separou-se um total de 554 g, correspondente à massa necessária para preparar um corpo de prova (Figura 12).

Figura 12: Separação de material para moldagem do corpo de prova.



Fonte: Autor (2024).

Posteriormente, as fibras de polipropileno foram incorporadas à mistura, em proporções específicas para cada corpo de prova, conforme foi detalhado no Quadro 1. A adição das fibras foi realizada de forma gradual e uniforme, com o objetivo de obter uma distribuição homogênea ao longo da matriz do compósito (Figura 13).

Figura 13: Compósito de cimento, argila, areia e fibra.



Fonte: Autor (2024).

Logo após, adicionou-se gradualmente um volume de 55,4 ml de água destilada, valor previamente determinado com base na análise da umidade ótima e higroscópica da mistura, visando atingir a consistência ideal para a moldagem (Figura 14). A dosagem de água foi criteriosamente controlada para garantir a homogeneidade da pasta e otimizar as propriedades do material.

Figura 14: Compósito de cimento, argila, areia, fibra e água.



Fonte: Autor (2024).

Após a homogeneização da mistura, a alíquota foi subdividida em cinco porções idênticas, cada uma com massa aproximada de 78,11 g, conforme ilustrado na Figura 15. Essa divisão prévia garantiu a uniformidade da composição em cada camada do corpo de prova, otimizando a repetibilidade dos resultados e minimizando a variabilidade entre as amostras.

Figura 15: Separação das camadas dos CP's.



Fonte: Autor (2024).

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em moldes cilíndricos com diâmetro interno de 5 cm e altura de 10 cm, previamente lubrificadas com vaselina para facilitar a desmoldagem. Um sistema de compactação por camadas, utilizando cinco tarugos de compactação com alturas diferenciadas, ilustrados na figura 16, foi empregado para garantir a uniformidade da densidade em toda a altura do corpo de prova. Cada camada recebeu uma massa de 78,11g, resultando em uma massa total de 390,55g por corpo de prova. Esse procedimento de compactação por camadas, associado à massa controlada de cada camada e à lubrificação dos moldes, visou minimizar a ocorrência de segregação dos componentes da mistura e otimizar as propriedades mecânicas do material.

Figura 16: Cilindro e Tarugos de compactação.



Fonte: Autor (2024).

O rigoroso controle dos parâmetros de moldagem visou garantir a reprodutibilidade e a consistência dos corpos de prova, considerando as características da mistura solo-cimento e a umidade ótima determinada previamente. Após a divisão da amostra em camadas idênticas, cada porção foi cuidadosamente depositada no interior do molde cilíndrico (Figura 17). Esse procedimento assegurou a homogeneidade da densidade ao longo da altura do corpo de prova, otimizando a qualidade das amostras para os ensaios subsequentes.

Figura 17: Cilindro com amostra pronta para compactação.



Fonte: Autor (2024).

O molde cilíndrico contendo a mistura homogeneizada foi transferido para a prensa hidráulica. A deposição da mistura em cada camada foi realizada de forma cuidadosa,

garantindo a distribuição homogênea do material e a ausência de vazios. Para promover a interação mecânica entre as camadas, foram confeccionadas ranhuras na interface entre cada camada compactada com o auxílio de uma espátula metálica (Figura 18). Essa prática, conhecida como escarificação, induz a formação de intertravamentos mecânicos, contribuindo para o aumento da aderência.

A compactação dos corpos de prova foi realizada em prensa hidráulica, operando em regime de velocidade constante, conforme ilustrado na Figura 19. Essa metodologia de compactação controlada permitiu garantir a uniformidade da densidade em toda a altura do corpo de prova, minimizando a ocorrência de heterogeneidades e otimizando as propriedades mecânicas do material, além de assegurar a reprodutibilidade dos resultados e a padronização dos corpos de prova, contribuindo para a confiabilidade dos ensaios subsequentes.

Figura 18: Produção de ranhuras para aumento de aderência entre camadas.



Fonte: Autor (2024).

Figura 19: Moldagem da mistura na prensa.



Fonte: Autor (2024).

Após a conclusão da compactação de cada camada, o corpo de prova foi extraído manualmente com o auxílio de um extrator hidráulico, conforme ilustrado na Figura 20. Nessa operação é necessário garantir a retirada íntegra do corpo de prova, evitando danos à sua estrutura e preservando as características físico-mecânicas resultantes do processo de compactação.

Figura 20: Moldagem da mistura na prensa.



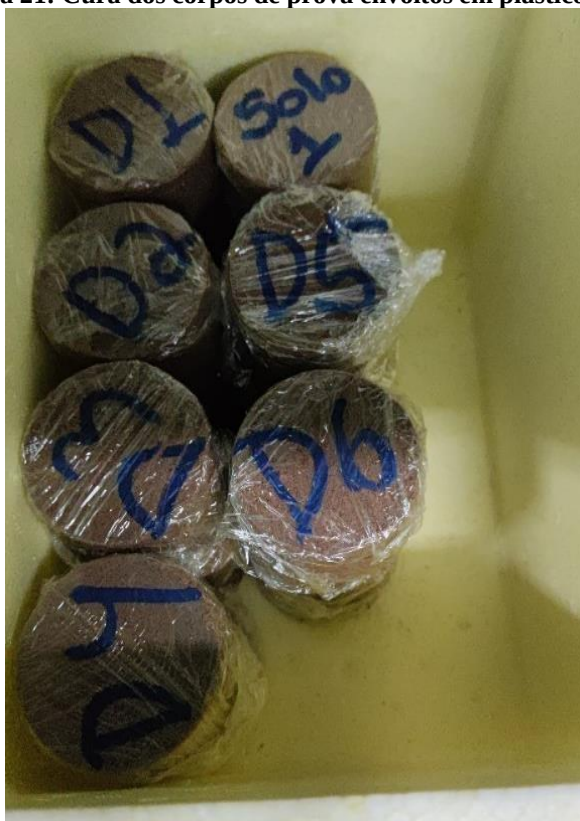
Fonte: Autor (2024).

4.2.4 Cura dos corpos de prova

Após a conclusão da fase de compactação, os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura. Para tanto, cada corpo de prova foi individualmente envolvido em filme plástico impermeável, com o intuito de prevenir a perda de umidade por evaporação e manter um microambiente saturado, essencial para a hidratação adequada dos componentes cimentícios. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em uma caixa de isopor, evitando assim a perda de umidade. Esse procedimento de cura, com duração de 28 dias, garantiu o desenvolvimento da resistência do material.

A Figura 21 ilustra o esquema de armazenamento utilizado neste estudo.

Figura 21: Cura dos corpos de prova envoltos em plástico filme.



Fonte: Autor (2024).

4.2.5 Ensaio de compressão simples

Após o período de cura estabelecido, os corpos de prova foram retirados da câmara úmida. O filme plástico utilizado para envolver as amostras foi cuidadosamente removido, e os corpos de prova foram pesados individualmente para verificar a ocorrência de possíveis perdas de umidade durante o processo de cura.

Em seguida, os corpos de prova foram centralizados em adaptadores específicos para o ensaio de compressão simples em solo cimento, conforme ilustrado na Figura 22. Essa etapa é

fundamental para garantir a precisão dos resultados, uma vez que a centralização adequada dos corpos de prova na prensa de ruptura evita a ocorrência de tensões concentradas, que poderiam comprometer a integridade das amostras durante o ensaio.

Figura 22: Adaptador para ruptura do corpo de prova.



Fonte: Autor (2024).

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão uniaxial em prensa universal, visando a determinação da resistência à compressão característica. A aplicação da carga se deu de forma gradual e contínua até a ruptura do corpo de prova. O gráfico tensão-deformação obtido a partir dos dados experimentais permitiu a caracterização do comportamento mecânico do material, incluindo a tensão de pico e deformação na ruptura. A análise dos resultados possibilitou a avaliação da influência da adição de fibras na resistência à compressão do solo cimento, fornecendo subsídios para a otimização da dosagem de fibras em futuras aplicações.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão do corpo de prova, determinada através do ensaio de compressão uniaxial e expressa em Mega Pascal (MPa), foi calculada dividindo-se a carga máxima suportada pelo corpo de prova pela área da sua seção transversal.

O detalhamento dos resultados das tensões de ruptura e valores médios iniciais seguem abaixo no Quadro 2.

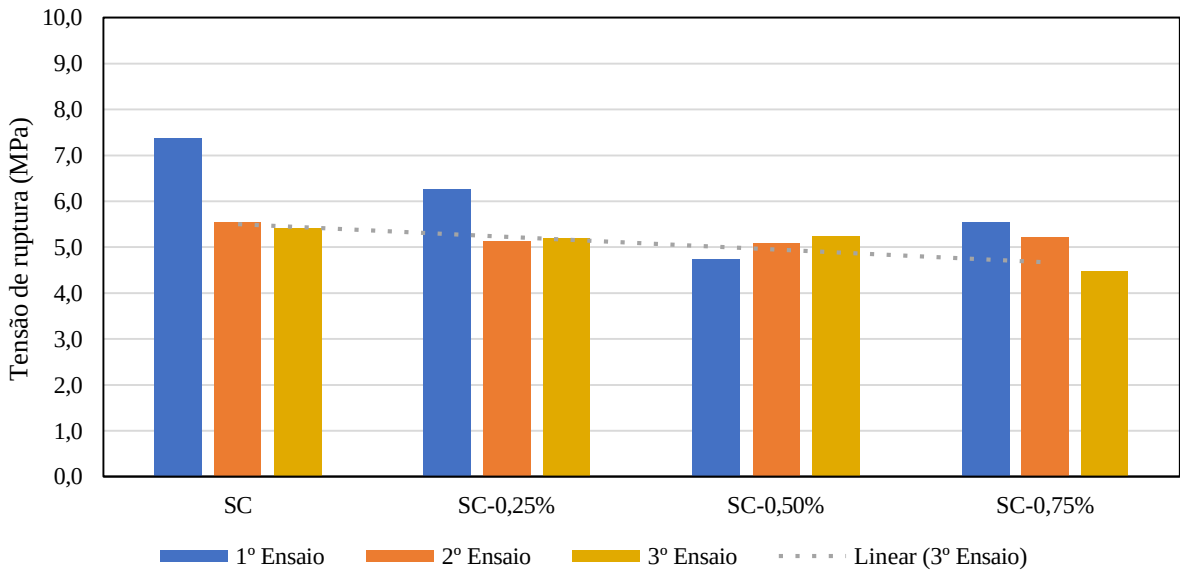
Quadro 2: Resultados da resistência a compressão geral.

Sigla	Nº do CP	Tensão de ruptura (MPa)	Valor Médio da tensão de ruptura (MPa)
SC	1	7,38	6,12
	2	5,55	
	3	5,42	
SC-0,25%	1	6,26	5,53
	2	5,13	
	3	5,20	
SC-0,50%	1	4,73	5,02
	2	5,09	
	3	5,24	
SC-0,75%	1	5,54	5,08
	2	5,21	
	3	4,49	

Fonte: O autor (2024).

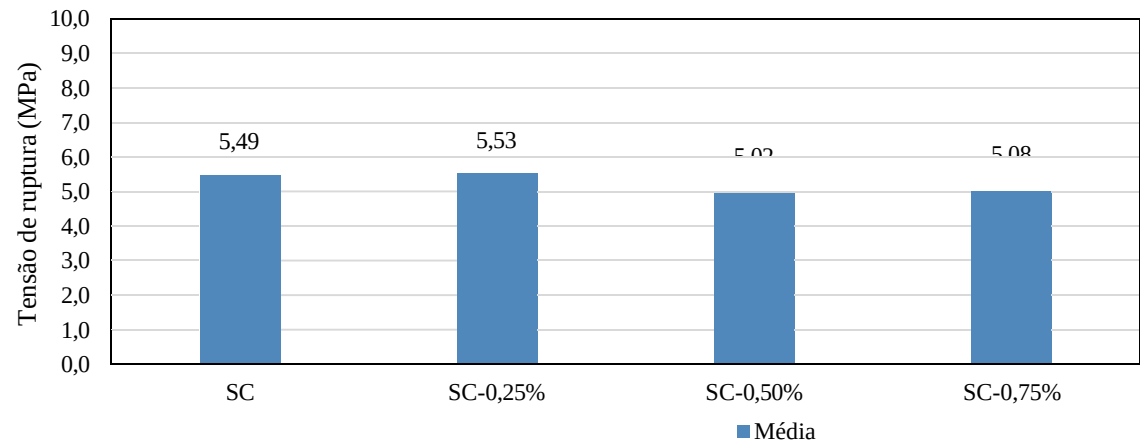
A Figura 23 apresenta o comparativo gráfico dos resultados dos corpos de prova testados, sem fibras e com inclusão de três teores de fibras. Com base nos resultados, percebe-se que alguns corpos de prova apresentaram valores discrepantes dos demais, para o mesmo material. Em virtude disso, o valor médio da resistência à compressão pode apresentar valores fora do real. A Figura 24 mostra os valores médios da resistência à compressão, considerando todos os resultados válidos.

Figura 23: Comparativo da Resistência à compressão dos CP's



Fonte: O autor (2024).

Figura 24: Valores médios de resistência a compressão.



Fonte: O autor (2024).

A análise dos dados de resistência à compressão apresentados no Quadro 2 revelou uma variabilidade considerável entre os resultados dos três corpos de prova de cada grupo. A fim de minimizar a influência de valores discrepantes e obter uma estimativa mais precisa da resistência média, adotou-se o critério de exclusão de dados que apresentassem desvio superior a 10% em relação à média aritmética do grupo. Essa prática é comum em análise de dados experimentais, visando eliminar possíveis erros de ensaio ou anomalias relacionadas à heterogeneidade do material. A aplicação desse critério resultou em um conjunto de dados mais

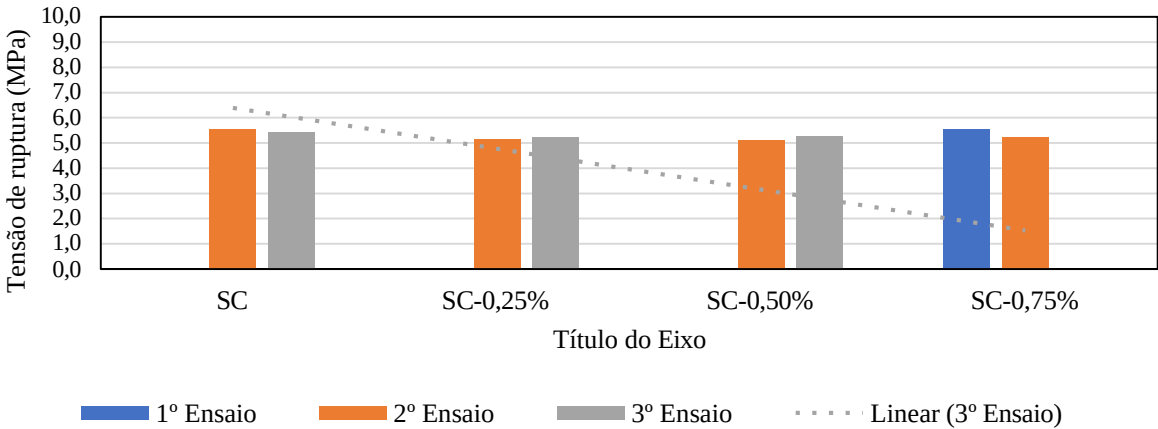
homogêneo, permitindo uma análise estatística mais confiável, como podemos observar no Quadro 3.

Quadro 3: Resultados da resistência a compressão.

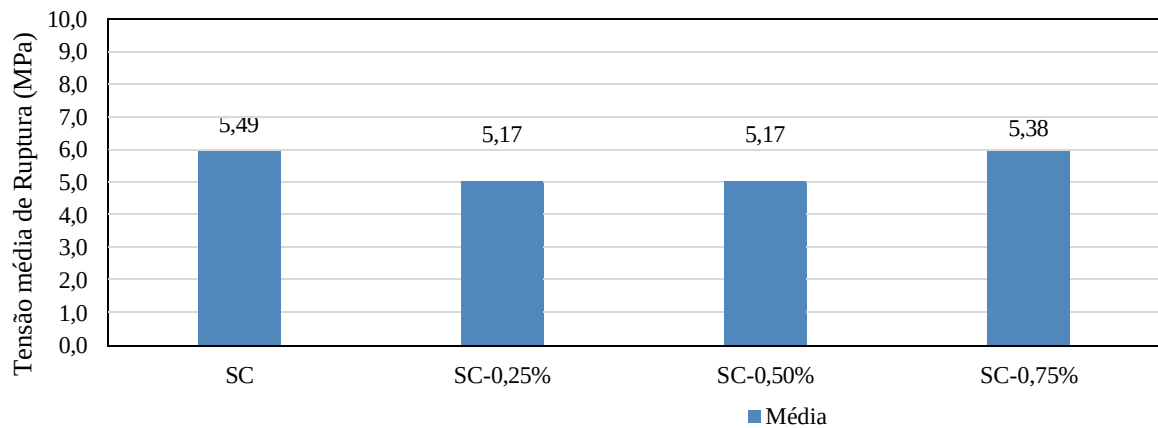
Sigla	Nº do CP	Tensão de ruptura (MPa)	Valor Médio da tensão de ruptura (MPa)
SC	2	5,55	5,49
	3	5,42	
SC-0,25%	2	5,13	5,17
	3	5,20	
SC-0,50%	2	5,09	5,17
	3	5,24	
SC-0,75%	1	5,54	5,38
	2	5,21	

Fonte: O autor (2024).

Figura 25: Comparativo da Resistência à compressão.



Fonte: O autor (2024).

Figura 26: Comparativo dos valores médios de resistência a compressão

Fonte: O autor (2024).

Podemos observar a partir da análise dos dados de resistência à compressão, apresentados no Quadro 3 e nas Figuras 25 e Figura 26, que o comparativo gráfico dos resultados dos corpos de prova testados, sem fibras e com inclusão de três teores de fibras, demonstram uma tendência de redução nesse parâmetro, com a inclusão de um baixo teor de fibras no compósito solo-cimento. A tensão média de ruptura dos corpos de prova contendo fibras apresentou uma diminuição em relação ao corpo de prova de referência (solo-cimento), sendo mais acentuada para teores de fibra de até 0,50%. No entanto, para o teor de fibra de 0,75%, observou-se um comportamento divergente, com um aumento da tensão média de ruptura em comparação aos demais teores.

Os dados referentes às tensões de ruptura foram obtidos diretamente do software da prensa hidráulica, após a realização dos ensaios de compressão. Através da análise das curvas tensão-deformação, geradas pelo equipamento, foram extraídos os valores máximos de tensão correspondentes ao ponto de ruptura de cada corpo de prova. É importante ressaltar que o software utilizado possui algoritmos de processamento de sinal que permitem a identificação automática do ponto de ruptura, otimizando o processo de análise dos dados.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a influência da adição de fibras de polipropileno na resistência à compressão de compósitos solo-cimento. Para tanto, foram confeccionados corpos de prova com diferentes teores de fibra e submetidos a ensaios de compressão simples.

Os resultados obtidos indicam que a inclusão de fibras de polipropileno, nos teores analisados (0,25%, 0,50% e 0,75%), não promoveu o aumento esperado na resistência à compressão dos compósitos. Ao contrário, observou-se uma tendência de redução nesse parâmetro, especialmente para os teores de fibra mais elevados. Essa constatação diverge de alguns estudos presentes na literatura, que apontam para um aumento na resistência à compressão com a adição de fibras, como o de Vendruscolo, 2003.

Uma possível explicação para essa discrepância nos resultados pode estar relacionada às características da argila utilizada neste estudo, que apresenta um alto teor de areia. Essa característica confere ao compósito solo-cimento uma resistência intrínseca elevada, o que pode mascarar os efeitos da adição de fibras.

Outro fator que pode ter influenciado os resultados é a relação entre a quantidade de água utilizada na mistura e o teor de fibras. A adição de fibras pode alterar a demanda por água da mistura, afetando a resistência do compósito.

É fundamental ressaltar que a variabilidade nos resultados pode estar associada a diversos fatores além da influência do teor de fibras. Parâmetros como as características mecânicas das fibras utilizadas, a homogeneidade da mistura, a cura dos corpos de prova, a calibração da máquina de ensaio e a própria variabilidade inerente aos materiais podem ter contribuído para as diferenças observadas. Adicionalmente, a metodologia empregada na realização dos ensaios, incluindo a ausência do capeamento dos corpos de prova, pode influenciar significativamente os resultados obtidos.

Considerando as limitações desta pesquisa, como o tempo disponível para os ensaios e a utilização de um único tipo de argila, sugere-se que estudos futuros investiguem a influência da adição de fibras em compósitos confeccionados com argilas de diferentes características mineralógicas e granulométricas. Além disso, a avaliação de outras propriedades, como a ductilidade, a resistência à tração e a permeabilidade, pode fornecer informações mais completas sobre o comportamento dos compósitos reforçados com fibras.

A utilização de diferentes tipos de fibras, com diferentes comprimentos e diâmetros, também pode revelar novos aspectos sobre a interação entre as fibras e a matriz cimentícia. A

otimização da dosagem de água e a utilização de aditivos podem melhorar a consistência da mistura e a aderência entre as fibras e a matriz, potencializando os efeitos do reforço.

Em conclusão, os resultados deste trabalho demonstram que a adição de fibras de polipropileno aos compósitos solo-cimento utilizados neste estudo não resultou no aumento esperado da resistência à compressão. No entanto, os resultados obtidos contribuem para o conhecimento sobre o comportamento desses materiais e podem servir de base para futuras pesquisas que explorem outras variáveis e combinações de materiais. A compreensão dos mecanismos de interação entre as fibras e a matriz cimentícia é fundamental para o desenvolvimento de compósitos solo-cimento com propriedades mecânicas otimizadas para aplicações específicas.

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 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;

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;

ADNORMA. **A execução correta da técnica construtiva taipa de pilão.** Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2022/04/12/a-execucao-correta-da-tecnica-construtiva-taipa-de-pilao>> Acesso em: 15 de Junho de 2024.

BAUER, L. A. **Materiais de Construção.** 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 1994;

CASAGRANDE, M. D. T. **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais.** Revista Brasileira de Geotecnia, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 45-52, 2001.

FERNÁNDEZ, I. **Bonote o Fibra de coco: qué es, propiedades y usos o aplicaciones.** Disponível em: <<https://www.greentech.es/bonote-o-fibra-de-coco-que-es-propiedades-y-usos-o-aplicaciones/>> Acesso em: 15 de Setembro 2024.

GALVÃO JR, J. L. **O adobe e as arquiteturas.** Brasília: IPHAN, 2015.

GUEDES, S. B. **Estudo do desempenho mecânico de um solo-cimento microreforçado com fibras sintéticas para uso como revestimento primário em estradas não pavimentadas**. 426 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

ISOALFA. **Fibras de Polipropileno**. Disponível em: <<https://isoalfa.com.br/elementor-1494/>> Acesso em: 14 de Junho de 2024.

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODULO, A. J. **Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia**. Revista eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 185-191, 2012.

LACHOUSKI, R. L. **Aplicação de geossintéticos em engenharia geotécnica: da análise de 32 casos de obras para soluções em engenharia**. (Dissertação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

LANZ TECNOMASTER. **Fibras para Hormigon**. Disponível em: <<http://www.lanzco.cl/LanzTecnomaster/fibras/>> Acesso em: 11 de Julho de 2024.

LI, H.; RICHARDS, C.; WATSON, J. **High-performance glass fiber development for composite applications**. *International Journal of Applied Glass Science*, v. 5, n. 1, p. 65-81, 2014.

MACHADO, J. V. H. A. **CIMENTO PORTLAND**. Disponível em: <<https://www.aegrupo.com.br/single-post/cimento-portland>> Acesso em: 16 de Julho 2024.

PALMEIRA, E.M.; SILVA, A.R.L.; e PEREIRA, J.H.F. **Acurácia de métodos de equilíbrio limite para a análise de estabilidade de aterros reforçados sobre solos moles**. Geossintéticos'99, 1º Simpósio Sul-Americano de Geossintéticos/3º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Rio de Janeiro, R.J., p. 75-82, 1999.

PEREIRA, D. B.; PEZZUTO, C. C. **Estudo do solo-cimento para a fabricação de tijolos ecológicos**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., Campinas, outubro de 2010. Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica. Campinas, 2010.

PONTES, M. M. C. **Arquitetura de terra: um desenho para a durabilidade das construções**. Dissertação (Mestrado em [Nome do Curso]) - Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

RIBEIRO, C. F. **Geogrelhas e geotêxteis: geossintéticos mais utilizados no reforço do solo**. Disponível em: <<https://impermeabilizacao.komercialize.com.br/Post/17700/geogrelhas-e-geotexteis-geossinteticos-mais-utilizados-no-reforco-do-solo>> Acesso em: 18 de Setembro de 2024.

RODRIGUES, C. S. **Mecânica da Fratura de Compósitos de Matrizes Rígidas–Argamassas Reforçadas com Fibras de Sisal**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, A. B. da. **Geossintéticos: uma abordagem completa**. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. São Paulo, 1992.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.