

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DIRETORIA DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL OLIVEIRA DE ANDRADE

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CORPOS-DE-PROVA DE
SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2024

GABRIEL OLIVEIRA DE ANDRADE

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CORPOS-DE-PROVA DE
SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU**

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

A553a Andrade, Gabriel Oliveira de.
Análise da resistência á compressão em corpos-de-prova de solo-cimento reforçado com fibras de bambu./Gabriel Oliveira de Andrade. – Aracaju, 2024.
47f.: 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. Fibras de bambu. 3. Engenharia Civil. 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° 292

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CORPOS-DE-PROVA DE
SOLO-CIMENTO REFORÇADOS COM FIBRAS DE BAMBU**

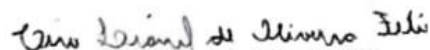
GABRIEL OLIVEIRA DE ANDRADE

Esta monografia foi apresentada às 09 h 30 do dia 24 de Setembro de 20 24 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.

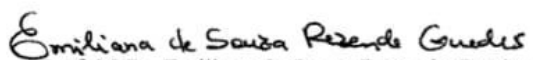
Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


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

(IFS – Campus Aracaju)


Engº 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 à minha família este trabalho, por
me carregarem com braços firmes até aqui
e me acolherem em seus corações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha Mãe por ser o meu elo de segurança, por cuidar de mim, por confiar em mim, por acreditar no meu potencial e nunca me deixar minimamente desamparado. Por nunca ter hesitado em fazer seus inúmeros sacrifícios pra me ver vencer, pra me ver feliz realizando meus sonhos e objetivos. Sem ela o caminho seria impossível. Sem ela não existiria eu. Obrigado por me botar em seus braços e me levar pra onde quer que eu queira ir.

Agradeço ao meu Pai por todas as noites de estudo quando eu ainda era uma criancinha do ensino fundamental, por todos os conselhos quase que diários sobre como o estudo é atalho do sucesso. Por todo o amor dado a mim, em cada abraço, cada cafuné, cada um dos milhões de “te amo”.

Agradeço a minha Vó Rene por todos os momentos que cuidou de mim quando precisei, por toda a preocupação e todo apoio. Por ser a minha professora, paciente, dedicada e orgulhosa. Obrigado por todas as demonstrações de orgulho em cada etapa da minha vida.

Agradeço a meu tio Nêu por ser o meu exemplo, minha inspiração. Exemplo de profissional e, principalmente exemplo de cuidado com a família. Tudo que faz por nós, pela presença, pela alegria, pela união e pelos momentos juntos.

Agradeço a minha irmã, a minha tia Ju, a minhas primas Bia e Luísa por formarem a minha família, por me ajudarem em cada pequeno gesto de apoio e carinho, as amo.

A Cibelly, minha namorada, por entender as minhas dificuldades, por ser minha alegria em momentos obscuros, por todo apoio dado a mim nesses anos, sendo meu colo, minha confidente, minha ouvinte, minha conselheira.

Aos meus amigos pelo companheirismo e fidelidade, pelos tantos momentos de extrema alegria e por entenderem as minhas diversas ausências.

Aos meus amigos do curso com quem compartilhei meus piores sentimentos nessa etapa da vida, pelas descontrações, por toda ajuda recebida, por compartilharem comigo os momentos de desespero causados pelas provas, pelos trabalhos, pelos prazos.

À minha professora e orientadora, Emiliana, pela paciência e dedicação.

A todos os técnicos dos laboratórios de geotecnia do IFS pelo suporte.

RESUMO

Andrade, Gabriel Oliveira de. **Análise da resistência à compressão em corpos de prova de solo-cimento reforçado com fibras de bambu**. 51 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2024.

A técnica construtiva de solo-cimento destaca-se na engenharia civil pela união de praticidade, economia, versatilidade estrutural e sustentabilidade advindas da mistura de solo, cimento e água que resulta em um material durável e resistente capaz de compor construções de mesmas características. Entre as propriedades mecânicas de destaque desse material está a resistência à compressão. Existem maneiras de melhorar as características e propriedades do solo-cimento que visam tornar o material disponível capaz de atender as necessidades construtivas. Para avaliar a possibilidade de descobrir um material capaz de ser aplicado para melhoramento de solo-cimento, a pesquisa objetiva analisar a influência da adição de fibras de bambu na sua resistência à compressão. A adição do teor ideal de fibras de bambu a essa mistura proporciona aumento da resistência à compressão. Os resultados deste trabalho mostram que o teor ideal de fibras de bambu na composição do solo-cimento, dentre os utilizados, foi de 0,25%, que trouxe ao solo-cimento um ganho de 12,77% a resistência à compressão. Também identificou-se que a partir de um certo ponto, ao aumentar o teor de fibras de bambu adicionadas, a resistência à compressão do compósito começa a cair, ficando inclusive menor que a do solo-cimento puro, como verificado para teores de 0,50% e 0,75% de fibra de bambu.

Palavras-chave: Solo-cimento; resistência à compressão; fibras de bambu; reforço de solo; fibras.

ABSTRACT

Andrade, Gabriel Oliveira de. **Analysis of compression strength in soil-cement specimens reinforced with bamboo fibers**. 51 pages. Monograph (Bachelor's Degree in Civil Engineering) - Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe - Aracaju Campus. 2024.

The soil-cement construction technique stands out in civil engineering due to the combination of practicality, economy, structural versatility and sustainability resulting from the mixture of soil, cement and water which results in a durable and resistant material capable of composing constructions with the same characteristics. Among the outstanding mechanical properties of this material is its resistance to compression. There are ways of improving the characteristics and properties of soil-cement in order to make the material available to meet construction needs. In order to assess the possibility of discovering a material that can be applied to improve soil-cement, the research aims to analyze the influence of adding bamboo fibers on the compressive strength of soil-cement. The addition of the ideal bamboo fiber content to this mixture provides an increase in compressive strength. The results of this work show that the ideal content of bamboo fibers in the composition of soil-cement, among those used, was 0.25%, which gave the soil-cement a 12.77% gain in compressive strength. It was also possible to identify that from a certain point onwards, as the content of added bamboo fibers increases, the compressive strength of the composite begins to drop, even becoming lower than that of pure soil-cement, as seen for the 0.50% and 0.75% bamboo fiber contents.

Keywords: Soil-cement; compression strength; bamboo fibers; soil reinforcement; fibers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trecho da Grande Muralha da China construído com terra.	13
Figura 2: Casa de taipa em processo de construção.	14
Figura 3: Fibras de coco.	20
Figura 4: Fibras de aço.	21
Figura 5: Fibras poliméricas.	21
Figura 6: Fibras de amianto.	22
Figura 7: Fibras de bambu utilizadas.	29
Figura 8: Mistura dos materiais secos.	31
Figura 9: Material seco necessário para moldagem de um corpo de prova.	32
Figura 10: Separação do material necessário para cada camada do corpo de prova.	32
Figura 11: Tarugos de compactação e cilindro.	33
Figura 12: Compósito sendo inserido no interior do cilindro e amostra dentro do cilindro.	33
Figura 13: Moldagem da mistura na prensa.	34
Figura 14: Corpo de prova sendo removido do extrator.	34
Figura 15: Corpos de prova em processo de cura.	35
Figura 16: Corpo de prova pronto para o início do ensaio de compressão simples.	36
Figura 17: Rompimento de um corpo de prova.	36
Figura 18: Tipos de ruptura dos Corpos de Prova. (a) Cisalhada (b) Cônica.	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Especificações dos corpos de prova.	30
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência à compressão simples x porosidade do solo-cimento.	19
Gráfico 2 – Relação teor de umidade x resistência a compressão do solo-cimento.	19
Gráfico 3 - Resultado da resistência à compressão simples de corpos de prova de solo-cimento sem fibras de Ráfia (T0) e com adição de 0,5% (T1) e 1,0% (T2) de fibras de ráfia.	25
Gráfico 4 - curva granulométrica do solo 1.	27
Gráfico 5 -: Curva granulométrica do solo 2.	28
Gráfico 6 - Curva da compactação do solo cimento.	30
Gráfico 7 - Comparativo da resistência à compressão dos.	38
Gráfico 8 - Comparativo da resistência à compressão dos CPs, desconsiderando o valor discrepante.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados do ensaio de compressão em tijolos de SC com adição de fibras de bucha vegetal.	24
Tabela 2 - Resultados da resistência a compressão simples de tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibras de borracha de pneu.	24
Tabela 3 - Quantidade de material para moldagem.	31
Tabela 4 - Resultados da resistência a compressão dos CPs sem adição de fibras.	37
Tabela 5 - Resultados da resistência a compressão dos CPs sem adição de fibras, desconsiderando o valor discrepante.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivos Específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Construções com Solo na História	13
3.2. Estabilização do Solo.....	14
3.3. Solo-Cimento	15
3.3.1 Escolha do Solo	16
3.3.2. Dosagem da Mistura	17
3.4. Reforço com Fibras	20
3.4.1. Fibras Naturais.....	20
3.4.2. Fibras Metálicas	21
3.4.3. Fibras Poliméricas	21
3.4.4. Fibras Minerais.....	22
3.5. Solo-Cimento Reforçado com Fibras.....	22
3.6. Solo-Cimento Reforçado com Fibras de Bambu	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. Materiais	27
4.1.1. Solos	27
4.1.2. Cimento.....	29
4.1.3. Fibra de Bambu.....	29
4.2. Métodos	29
4.2.1 Preparação das Misturas	29
4.2.2. Moldagem dos Corpos de Prova	31
4.2.3. Cura Dos Corpos de Prova.....	35
4.2.4. Ensaio de Compressão Simples	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1. Resistência à Compressão	37
6. CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

O uso de solo na construção civil é algo que transcende milênios pela humanidade e decorre de diversas localidades ao redor do mundo. As construções com solo cimento se destacam pela versatilidade estrutural, simplicidade dos materiais e métodos construtivos, e ainda pela sustentabilidade ambiental. A partir disso, com o decorrer do tempo, surge o uso do solo-cimento, que trás todos os aspectos positivos do uso do solo com o acréscimo do melhoramento de suas propriedades físico-mecânicas proporcionado pela adição de cimento.

No âmbito da engenharia civil, o solo-cimento possibilita a construção de edificações de bom desempenho estrutural e durabilidade, enquanto oferece soluções para problemas relacionados a eficiência energética e responsabilidade ambiental.

A simplicidade do solo-cimento é caracterizada pela possibilidade de uso do material originário do próprio local de construção. Esse fator contribui positivamente para redução de emissões de carbono e impactos ambientais causados no processo industrial de fabricação de materiais convencionais e pelo transporte destes até o local de aplicação.

A versatilidade do solo-cimento é um dos destaques desse material, com ele pode-se executar desde reforço de solo para bases e sub-bases de ruas, estradas e rodovias, projetos de moradias simples rurais até projetos urbanos de maior complexidade.

A popularização do uso do solo-cimento para fins construtivos fez com que esse material fosse alvo de avanços tecnológicos visando o aperfeiçoamento de suas propriedades e do processo construtivo. A implementação de fibras na composição do solo-cimento amplia a versatilidade do solo-cimento, lhe conferindo novas características e comportamentos.

Com base nisso, o presente trabalho foi desenvolvido visando avaliar como a adição de fibras de bambu ao solo-cimento pode influenciar na sua resistência a compressão.

2. OBJETIVOS

Analisar a influência da inclusão de fibra de bambu na resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.

2.1. Objetivos Específicos

- Caracterizar os solos utilizados para produzir os corpos de prova de solo-cimento;
- Encontrar o traço de solo-cimento mais adequado para o solo disponível;
- Moldar corpos de prova de solo-cimento sem fibras e com adição de três teores de fibras de bambu (0,25%, 0,50% e 0,75%);
- Analisar o comportamento mecânico com relação a resistência à compressão dos quatro cenários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir do estudo de normas técnicas, livros, trabalhos acadêmicos e artigos científicos, formulou-se a base de conhecimento necessária sobre o assunto trabalhado, servindo como guia teórico sobre solo-cimento e o uso de fibras de bambu como aditivo.

3.1. Construções com Solo na História

Santiago (2001) menciona que o uso de solo para construir é algo que acompanha a humanidade desde a sua sedentarização. O material é amplamente utilizado ao redor do mundo em diversas civilizações, inclusive algumas emblemáticas como as Mastabas (túmulos egípcios antigos) que datam de cerca de 5000 a.C..

De acordo com Torgal, Eires e Jalali (2009), na China, partes da Grande Muralha (Figura 1) possuem solo em trechos da sua extensão na forma de taipa, construções que utilizam solo e varas de madeira e/ou bambu.

Figura 1 - Trecho da Grande Muralha da China construído com terra.



Fonte: Jaquin, 2008.

Jaquin (2008) lista construções no norte da China datadas entre 2.310 – 1.810 a.C. que utilizavam terra batida, na região centro-leste da Ásia em países como Iraque, Irã, Oman, Uzbequistão e Mongólia. No Mediterrâneo encontram-se vestígios arqueológicos de construções com terra batida no norte da África e Espanha provenientes do povo Fenício, inclusive da antiga cidade de Cartago (814 a.C.). Também era comumente utilizado nas regiões da península arábica.

Segundo Santiago (2001) o uso de terra era bastante difundido na construção até o século XVIII, a exemplo das muralhas da cidade de Salvador no século XVI.

Maranhão (2022) afirma que o uso de solo em construções no Brasil iniciou-se através do intercâmbio entre portugueses colonizadores, povos nativos pré-colombianos da América e nativos brasileiros. O povo Guarani pode ser exemplificado como um dos que aderiram o uso do pau a pique em suas construções. Acrescenta ainda que casas de taipa ou pau a pique (Figura 2) são amplamente utilizadas até hoje, majoritariamente por pessoas de baixa renda.

A simplicidade e velocidade do processo de execução de uma casa de taipa, além do seu baixo custo de produção devido ao uso praticamente de apenas elementos encontrados no ambiente, são fatores que explicam o porquê atualmente ainda é utilizada como moradia para essas pessoas de pouco poder financeiro (Rezende, 2022).

Figura 2 - Casa de taipa em processo de construção.



Fonte: VivaDecora, 2020.

3.2. Estabilização do Solo

Villar (2007) comenta que, de maneira geral, é admitido que solo não possui resistência à tração ou não apresenta resistência significativa se comparada a resistência à compressão e cisalhamento.

Do ponto de vista da terraplenagem e pavimentação, quando os solos locais não apresentam características adequadas para essas atividades, é possível executar

a estabilização dos solos. Batista (1976) diz que a estabilização de solos é um tratamento que pode ser físico, químico ou granulométrico, que visa tornar o solo estável para sua utilização e assim permanecer durante sua vida útil.

a) Estabilização física ou mecânica

Para Gondim (2008), a estabilização mecânica consiste na mudança do arranjo das partículas do solo. Um exemplo seria a compactação que faz as partículas do solo preencherem os espaços vazios e assim proporciona ao solo uma nova organização da sua estrutura.

b) Estabilização química

Segundo Patrício (2015), a estabilização química consiste no processo em que um elemento químico é adicionado ao solo para que, a partir das reações químicas, haja melhoria das suas propriedades. A cal e o cimento são os aditivos mais utilizados para esse tipo de estabilização.

c) Estabilização granulométrica

Segundo Vizcarra (2010, citado por Arrivabeni, 2017) a estabilização granulométrica “consiste na alteração das propriedades do solo através da adição ou retirada de partículas do mesmo, procurando-se obter como produto final um material adequado para a aplicação em cada caso particular”.

3.3. Solo-Cimento

A ABCP (1986) define solo-cimento como um produto endurecido resultante da mistura de solo, cimento e água, compactados, em proporções pré determinadas através de dosagem racional, executada seguindo o que é determinado pelas normas aplicáveis ao solo em estudo.

Segundo a ABCP (1986), o cimento age como estabilizante na mistura solo-cimento onde, após compactação e cura, origina um produto com melhores propriedades mecânicas e maior durabilidade.

A ação aglutinante do cimento permite a cimentação das partículas do solo ocasionando o aumento da sua resistência mecânica. O cimento também interage com a fração argilosa do solo reduzindo sua expansibilidade (Da Cruz, 2004).

A Associação Brasileira de Normas técnicas normatiza o uso de solo-cimento em construções, esse material se mostra com enorme potencial construtivo visando

custo-benefício devido ao seu descomplicado método de execução, que dispensa uso de equipamentos sofisticados e caros, o uso de fornalhas, pois não há queima, não demanda especialização de mão de obra e ainda tem como sua principal matéria prima o solo da própria região onde será utilizado, reduzindo também a necessidade de transporte de material. Esses fatores mostram o porquê desse material ser aplicado em autoconstruções. (Giorgi, 2018).

Giorgi (2018) enfatiza que apesar de todas as vantagens do uso do solo-cimento, deve-se haver cautela para com sua execução, sabendo-se que o solo utilizado como matéria prima varia de acordo com a região, e suas características físicas devem ser analisadas laboratorialmente para definir então a forma correta que o solo-cimento deve ser executado garantindo seu desempenho. Sua caracterização deve levar em conta propriedades como composição granulométrica, umidade, compactidade, plasticidade, retração e outras.

3.3.1 Escolha do Solo

Faria (2011) diz que para escolher o solo ideal, dentre aqueles disponíveis no local da construção, é preciso que haja quantidades significativas de amostras de cada um deles para poder realizar as análises a partir de ensaios e testes. A partir disso, segue que:

- i. Para compor uma amostra do solo, devem ser coletadas porções do mesmo em vários pontos do terreno;
- ii. As porções coletadas devem ser homogeneizadas e quarteadas, para obtenção da amostra a ser estudada.

O CEPED (1984) estabelece o que deve ser levado em consideração na escolha do solo:

- a) **Trabalhabilidade:** está relacionada com a facilidade de destorroar e de mistura do solo com o aglomerante e a água. Solos argilosos, quando secos, possuem torrões que para serem desfeitos exigem tempos adicionais de mão de obra; esses tempos somam-se às dificuldades de misturá-los com água, aderência ao soquete durante a compactação, além das dúvidas de que se possa obter bom resultado nas misturas com cimento. A trabalhabilidade pode ser analisada a partir dos limites de plasticidade e limites de liquidez. Quanto maiores forem os valores dessas variáveis

piores as condições de trabalhabilidade. O limite de liquidez máximo é fixado, por consenso entre 45% e 50%.

b) Granulometria: os solos arenosos são os melhores para uso em solo cimento. O consumo de cimento, na obtenção do solo-cimento, depende fundamentalmente do calibre dos grãos e da sua uniformidade. Sendo considerado a disposição ideal: Teor de areia: 45 a 90%; Teor de silte + argila: 10 a 55%; Teor de argila: <20% - Limite de liquidez: <45%;

É lembrado que, caso o solo presente no local da construção não atenda as condições ideais, pode-se misturá-lo com um solo trazido de outro lugar para fazer uma mistura mais ideal, (CEPED, 1984).

3.3.2. Dosagem da Mistura

Foppa (2005) resumiu o procedimento de dosagem da mistura de solo-cimento segundo a Norma ABNT NBR 12253/92:

- Em função da classificação granulométrica do solo (A1, A2, A3 ou A4 da norma ASTM D 3282), são indicadas porcentagens de cimento (de 5% até 10%) para a execução do ensaio de compactação;
- Executar o ensaio de compactação conforme a NBR 12023/92, usando o teor de cimento sugerido conforme item anterior e obter os valores da umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima;
- Moldar corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão simples com um ou mais teores de cimento de forma que se determine aquele que satisfaça o critério da resistência mínima aos sete dias de 2,1 MPa. Como orientação para a escolha dos teores de cimento, são apresentadas duas figuras onde, em função da massa específica aparente seca e da granulometria do solo, obtém-se os teores de cimento. Para cada teor de cimento selecionado, moldar e curar, no mínimo, três corpos-de-prova cilíndricos, nas condições estipuladas pela NBR 12024/92;
- Decorrido o período de cura, executar o ensaio de resistência à compressão simples de acordo com as prescrições da NBR 12025/90;
- Calcular a média aritmética das resistências à compressão simples dos corpos-de-prova que cumprirem as tolerâncias de moldagem estabelecidas na NBR

12024/92. Devem ser excluídos da composição da média valores individuais de resistência que se afastem mais de 10% da média;

- Deve ser adotado como o teor de cimento, o menor dos teores para o qual a resistência média à compressão simples for igual ou superior a 2,1 MPa, aos 7 dias de idade;
- Admite-se a interpolação gráfica dos dados para a determinação do teor de cimento que corresponda ao valor mínimo da resistência a compressão média especificada;
- O teor mínimo de cimento em massa recomendado pela NBR 12253/92 é de 5%. Podem ser empregados teores de até 3,5%, em massa, desde que satisfeita a resistência mínima, que a mistura se processe em usina e que o solo matéria-prima seja do tipo Al-a, Al-b ou A2-4 (ASTM D 3282).

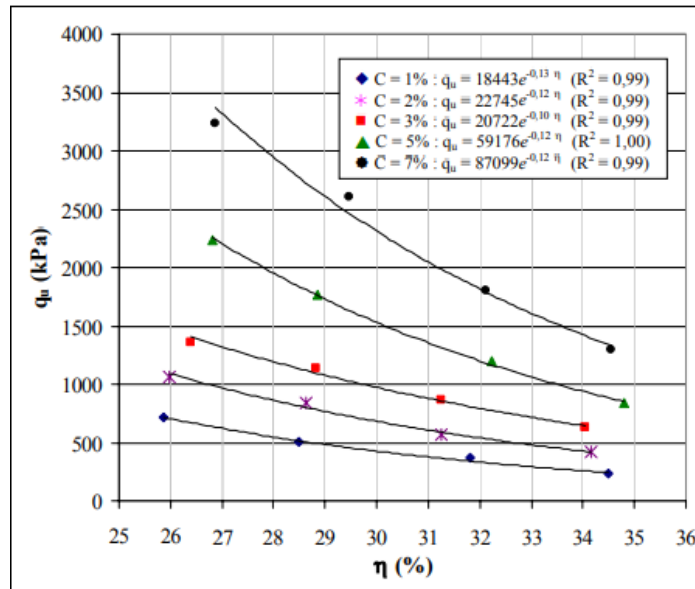
3.3.3. Resistência do solo-cimento

A resistência do solo-cimento pode ser medida através de ensaios de compressão axial, comumente submetendo o material analisado a compressão por uma prensa hidráulica e verificando sob qual pressão o elemento romperá, (Foppa, 2005).

Em sua pesquisa, Vitali (2008) verificou que o valor médio de resistência de um corpo cilíndrico (5 cm de diâmetro x 10 cm de altura) de solo cimento foi de 3,26 MPa e para tijolos de solo-cimento de dimensões 5 x 11 x 23 cm, confeccionados com solo arenoso tratado com 8% de cimento Portland, o valor médio de resistência à compressão simples foi igual a 2,2 MPa. Ao realizar o ensaio em um corpo cilíndrico de solo, verificou-se uma resistência a compressão de 1,43 MPa, daí verificou-se que a adição de cimento ao solo promoveu um aumento de 128% na resistência à compressão.

A porosidade é outro fator que influencia a resistência do solo cimento, quanto menor a porosidade maior será sua resistência. O mecanismo pelo qual isso acontece é a existência de um maior número de contatos e o intertravamento entre as partículas do solo (Foppa, 2005). O Gráfico 1 indica o comportamento.

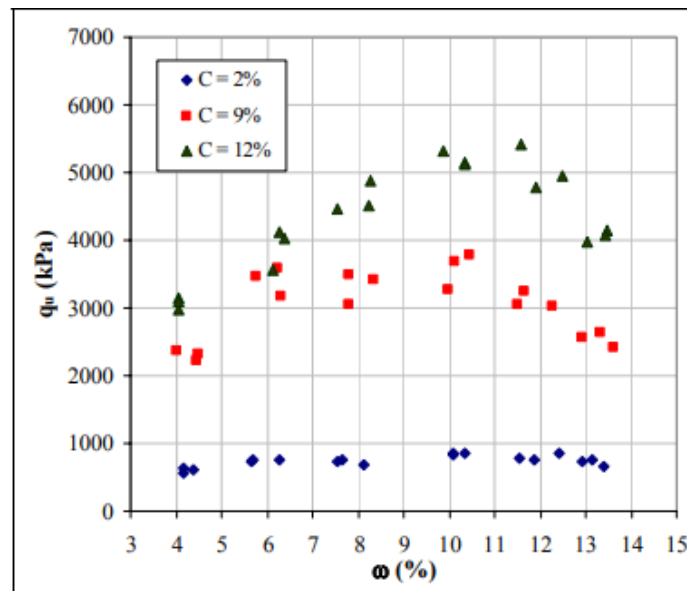
Gráfico 1 - Resistência à compressão simples x porosidade do solo-cimento.



Fonte: Foppa, 2005.

O efeito do teor de umidade de moldagem sobre a resistência à compressão simples do solo cimento está representado no Gráfico 2. Conforme a umidade se aproxima da ótima a resistência aumenta chegando a sua maior marca no ponto da umidade ótima e ao passar dela a resistência começa a diminuir (Foppa, 2005).

Gráfico 2 - Relação teor de umidade x resistência a compressão do solo-cimento.



Fonte: Foppa, 2005.

3.4. Reforço com Fibras

Para Neto (2016), o uso de fibras como reforço de solo, vem da necessidade de melhorar suas características físico-mecânicas e constata que a inclusão de fibras causa o aumento na parcela de atrito e coesão do solo, dessa forma aumentando também sua resistência à tração. Figueiredo (2011), afirma que a adição de fibras proporciona o aumento da resistência residual do compósito, e esse aumento é proporcional a quantidade de fibra adicionada.

Para isso há uma grande diversidade de fibras utilizadas. O comportamento de cada uma delas, bem como suas propriedades físicas e mecânicas são definidas pelo material de que são feitas. A partir de suas particularidades, cada tipo de fibra terá uma influência diferenciada na mistura a qual será adicionada, (Café, 2016).

3.4.1. Fibras Naturais

As fibras naturais utilizadas podem ser, segundo Hannant (1994), de bambu, juta, capim elefante, coco (Figura 3), piaçava, linho, cana de açúcar, sisal, malva e bananeira.

Figura 3 - Fibras de coco.



Fonte: Terral (2016).

Trabalhos mais recentes avaliaram a adição de fibras ao solo. Como Silva (2020), que analisou o comportamento do solo com reforço de fibras de curauá, Lopes

(2019), que utilizou fibras de açaí e Cristina *et al.* (2018), que usaram fibras de bucha vegetal.

3.4.2. Fibras Metálicas

Existe uma grande variedade de fibras metálicas no mercado, destacando-se a fibra de aço carbono, que pode atingir resistência a tração de 1100 MPa e módulo de elasticidade de 200 GPa (Gonçalves *et al.*, 2019).

Segundo Hannant (1994), uma característica dessas fibras é a diversidade de formatos, pois cada formato influencia na aderência da fibra ao solo que será adicionada. Um tipo de fibra de aço está ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Fibras de aço.



Fonte: Gonçalves Et al. (2019).

3.4.3. Fibras Poliméricas

Existe no mercado uma grande variedade de fibras poliméricas (Figura 5). O tipo de fibra é originado de acordo com a estrutura química dos polímeros que a compõe. É essa estrutura que define o comportamento e as características da fibra e, consequentemente, suas aplicações. Essas fibras têm mostrado grande potencial para uso como reforço de solo, sendo as de polietileno, poliéster, poliamida e polipropileno alguns exemplos (Café, 2016).

Figura 5 - Fibras poliméricas.



Fonte: Revista Adnormas (2021).

3.4.4. Fibras Minerais

De acordo com Gonçalves (2019), a principal fibra mineral utilizada é a de amianto, ilustrada na Figura 6, que pode atingir valores de resistência à tração de 1000 MPa e módulo de elasticidade de 160 GPa e possui boa aderência com materiais compostos por cimento.

Figura 6 - Fibras de amianto.



Fonte: Mulher (2017).

Os compostos de amianto com cimento, possibilitam a produção de materiais leves, resistentes e esbeltos como as telhas de fibrocimento e caixas d'água. (Kuasne, 2008).

3.5. Solo-Cimento Reforçado com Fibras

Em sua pesquisa, Cabala (2007), ao reforçar solo-cimento com fibras de coco e hastes de bambu, atestou que a inclusão de reforço de fibra de coco e hastes de bambu na matriz de solo-cimento resulta numa redução da resistência mecânica do

material devido à má adesão do reforço à matriz e consequente deficiente transferência de carga da matriz para o reforço. Ao comparar o efeito negativo sobre a resistência mecânica causado pela inclusão de fibra de coco e de hastes de bambu, observou-se que esse efeito é mais intenso para a fibra de coco. Notou-se que a inclusão de reforço de fibra de coco e de hastes de bambu na argamassa de solo-cimento resulta num aumento da absorção da energia necessária para a ruptura do material, ou seja, na tenacidade do material. Corpos de prova de solo-cimento reforçados com fibra de coco romperam-se por colapso parcial e não de forma brusca e repentina, sendo necessária energia adicional após a falha para a completa separação do material.

Specht (2000), ao analisar o comportamento de misturas solo-cimento-fibra, com fibras de polipropileno tipo I (flexíveis) e tipo II (rígidas) constatou que as fibras mais rígidas (fibras do tipo II) têm seu efeito mais pronunciado no aumento da resistência de pico do compósito em comparação às fibras flexíveis. A inclusão aleatória de fibras de polipropileno, em teores variando de 0,25 a 0,75% em relação ao peso seco da mistura solo cimento, aumentou a resistência à compressão não-confinada em relação à matriz sem reforço. O reforço mostrou-se mais efetivo quando são empregadas fibras de comprimentos maiores. Quando da inclusão das fibras em matrizes com 3,5% de cimento, a melhoria foi mais pronunciada, aumentando a resistência à compressão não confinada em até 40%.

Montardo (1999) analisou o comportamento do solo-cimento reforçado com fibras PET, fibras de vidro e fibra de polipropileno. Os resultados das análises mostraram que a inclusão de fibras PET aumentou a resistência à compressão não-confinada da matriz cimentada sendo o aumento mais pronunciado para maiores porcentagens de fibra adicionada à mistura e que o efeito do comprimento da fibra mostrou-se nulo. A inclusão de fibras de vidro também aumentou a resistência à compressão não-confinada da matriz cimentada, porém o aumento mais pronunciado se dá para fibras longas enquanto o efeito da porcentagem da fibra mostrou-se nulo. Observou-se também que o aumento da resistência à compressão não-confinada da matriz cimentada com a inclusão de fibras de polipropileno foi proporcional tanto à porcentagem como ao comprimento das fibras. Porém, quando comparado com o aumento obtido com a inclusão de fibras PET e de vidro, permaneceu em um patamar inferior;

Em seu trabalho, ao adicionar fibras de bucha vegetal na composição de tijolos de solo-cimento, Cristina *et al.* (2018), constataram que houve queda na resistência a compressão. Os tijolos sem fibra apresentaram resistência de 1,55MPa enquanto os tijolos com 5% e 10% de fibra apresentaram resistências de, respectivamente, 0,44 MPa e 0,30 Mpa, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do ensaio de compressão em tijolos de SC com adição de fibras de bucha vegetal.

Tijolos	Quantidade da fibra (%)	F _{máx}	Área (cm)	Resultado á compressão
1	0	45,66	294	1,55
2	5	16,31	367,5	0,44
3	10	10,84	367,5	0,30

Fonte: Cristina *et al.* (2018).

Pereira *et al.* (2015) em sua pesquisa adicionaram fibras de borracha de pneu a mistura de solo-cimento para fabricação de tijolos e observaram um aumento de 10,7% na resistência a compressão média em relação aos tijolos sem adição dessas fibras. Os valores médios de resistência à compressão encontrados para os compósitos com fibra e sem fibra foram de, respectivamente, 2,28 Mpa e 2,06 Mpa, como apresentado na Tabela 2.

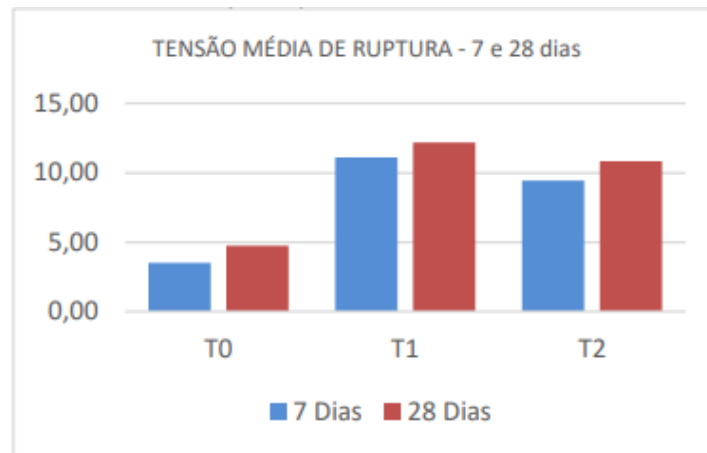
Tabela 2 - Resultados da resistência a compressão simples de tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibras de borracha de pneu.

Misturas	7 dias	14 dias
TJ – Controle	1,72 MPa	2,06 MPa
TJ - Borracha	1,96 MPa	2,28 MPa

Fonte: Pereira *et al.* (2015).

Santos *et al.* (2016), com base em seu trabalho que analisou o comportamento físico-mecânico de tijolos de solo-cimento com adição de fibras de ráfia, atestaram que houve um aumento de resistência à compressão axial dos corpos de prova com adição de fibra de ráfia em relação aos corpos de prova sem essa adição (Gráfico 3). Em relação aos corpos de prova de solo-cimento sem fibras, os traços com 0,5% e 1,0% de fibras de ráfia apresentaram aumento dos valores médios de resistência à compressão axial de 155,88% e 127,73%, respectivamente.

Gráfico 3 - Resultado da resistência à compressão simples de corpos de prova de solo-cimento sem fibras de Ráfia (T0) e com adição de 0,5% (T1) e 1,0% (T2) de fibras de ráfia.



Fonte: Santos *et al.* (2016).

Martins *et al.* (2018) analisaram o comportamento físico-mecânico do solo-cimento com adição de fibras de sisal e observaram um aumento de 34% na resistência à compressão dos compósitos com 1% de fibra em relação aos compósitos sem fibra.

3.6. Solo-Cimento Reforçado com Fibras de Bambu

Para Machado, Lima e Almeida (1998), quando um solo não atende as necessidades para o fim desejado, é preciso que se faça uso de alternativas de adições capazes de melhorar as suas características mecânicas. Uma dessas alternativas é o uso de fibras vegetais, como as de bambu.

Lopes (2002), cita Kurian e Abdul Kalam (1977), que em seus estudos sobre solo-cimento reforçado com bambu destacaram as seguintes vantagens:

- a) A vida útil da construção com solo-cimento é comparável àquela do bambu;
- b) a relação modular entre bambu e solo-cimento é muito alta;
- c) os coeficientes de dilatação térmica do bambu e do solo cimento não são significativamente diferentes.

Para Lopes (2002), o solo-cimento reforçado com fibras de bambu se mostra como boa opção de material para construção de paredes, vergas, sapatas corridas, sub-bases para pavimentos rígidos ou flexíveis, e radier para barragens e aterros apoiados sobre argilas moles. O acréscimo de fibras de bambu ao solo-cimento lhe

concede ganho de rigidez, fazendo com que os pavimentos de solo-cimento, que são considerados flexíveis, passem a ser pavimentos rígidos.

Lopes (2002), analisa com base nas pesquisas de Kurian e Abdul Kalam (1977), que o solo-cimento reforçado com fibras de bambu aumenta consideravelmente sua resistência à tração, mesmo que não seja possível aproveitar 100% da capacidade de resistência à tração das fibras devido a não completa aderência ao solo-cimento. Os resultados dos ensaios realizados mostraram que, no quesito resistência à flexão, o solo-cimento reforçado com fibras de bambu é sim um material eficiente. Quanto a influência na resistência à compressão, não há grandes considerações.

Vilela e Sant'Anna (2009) constataram que a adição de fibras de bambu em tijolos de solo-cimento acabou prejudicando a resistência à compressão simples. Os tijolos de solo-cimento sem adição de fibras apresentaram resistência à compressão média de 3,33 MPa, enquanto os tijolos com adição das fibras de bambu atingiram valores em média de 1,18 MPa.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

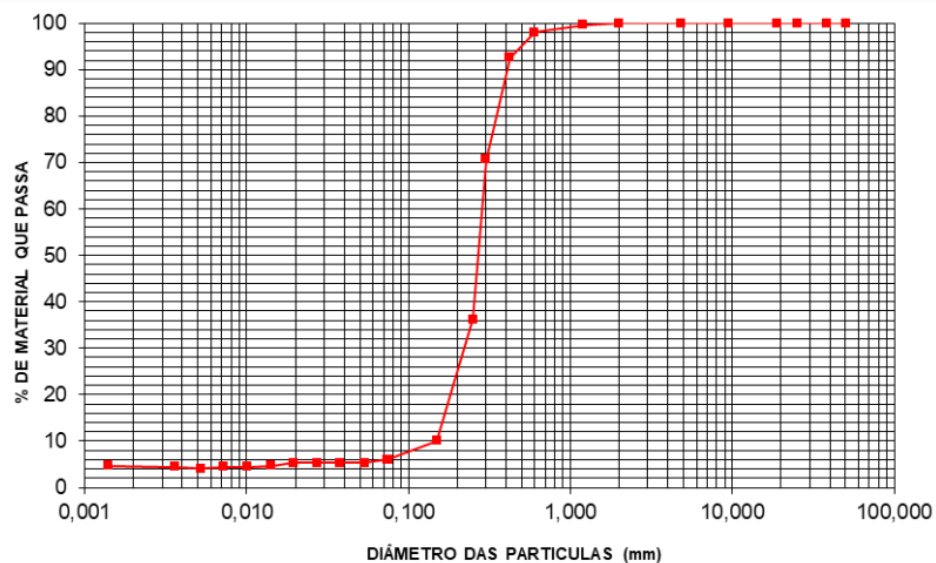
4.1.1. Solos

Os solos utilizados no presente trabalho foram disponibilizados por uma fábrica de tijolos ecológicos do estado de Sergipe. A caracterização física é apresentada nos itens seguintes.

a) Solo 1

Na realização da análise granulométrica do solo arenoso, utilizou-se norma ABNT NBR 7181:2016 Versão Corrigida 2:2018. A partir do ensaio realizado com amostra do solo arenoso obteve-se como resultado a curva granulométrica apresentada no gráfico 4. As frações da composição do solo foram: 0% de pedregulho, 93,94% de areia, 1,94% de silte e 4,12% de argila.

Gráfico 4 - curva granulométrica do solo 1.



Fonte: o autor (2024).

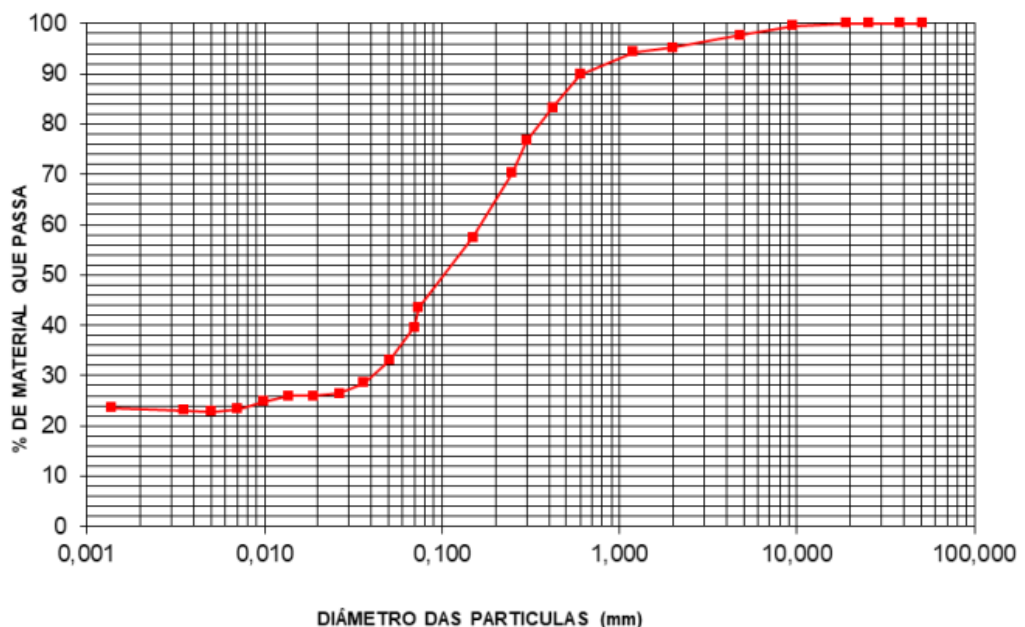
Baseado nos resultados obtidos da análise granulométrica, e pelos padrões estabelecidos pelo Sistema Unificado de Classificação (S.U.C.S) o solo foi classificado como uma areia mal graduada (SP). A densidade real dos grãos, obtida a partir da análise de três amostras, foi de 2,69 kg/m³, seguindo as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 6458:2016. O solo apresentou umidade higroscópica de 0,29%.

Por ser um solo puramente arenoso não foram realizados os ensaios de Limite de plasticidade (LP) e Limite de Liquidez (LL).

b) Solo 2

O solo argiloso foi preparado seguindo a norma ABNT NBR 6457 ABNT:2024 e a análise granulométrica realizada seguindo a norma ABNT NBR 7181:2016 Versão Corrigida 2:2018. O resultado do ensaio é ilustrado no Gráfico 5. As frações da composição do solo foram: 4,77% de pedregulho, 51,67% de areia, 20,68% de silte e 22,88% de argila.

Gráfico 5 - Curva granulométrica do solo 2.



Fonte: o autor (2024).

A umidade higroscópica encontrada foi de 0,60% e a densidade real dos grãos, obtida através de três amostras ensaiadas, igual a 2,65 kg/m³ seguindo o determinado pela norma ABNT NBR 6458:2016.

Os ensaios dos limites de Atterberg, realizados seguindo a norma ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016, apontaram limite de liquidez (LL) de 29,4%, limite de plasticidade (LP) de 12,2% e índice de plasticidade de 17%, caracterizando a argila presente no solo como altamente plástica.

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação (S.U.C.S) o solo foi classificado como uma areia argilosa (SC).

4.1.2. Cimento

Para a produção do solo-cimento, utilizou-se o cimento Portland CP II-F-32. Opção mais utilizada no mercado, destaca-se por ser facilmente encontrado e com preço mais acessível.

4.1.3. Fibra de Bambu

As fibras de bambu utilizadas como elemento de inclusão no compósito apresentam comprimentos diversos, porém não chega a ultrapassar o comprimento máximo de 3,0 cm. A Figura 7 apresenta uma visão geral das fibras utilizadas.

Figura 7 - Fibras de bambu utilizadas.



Fonte: O autor (2024)

4.2. Métodos

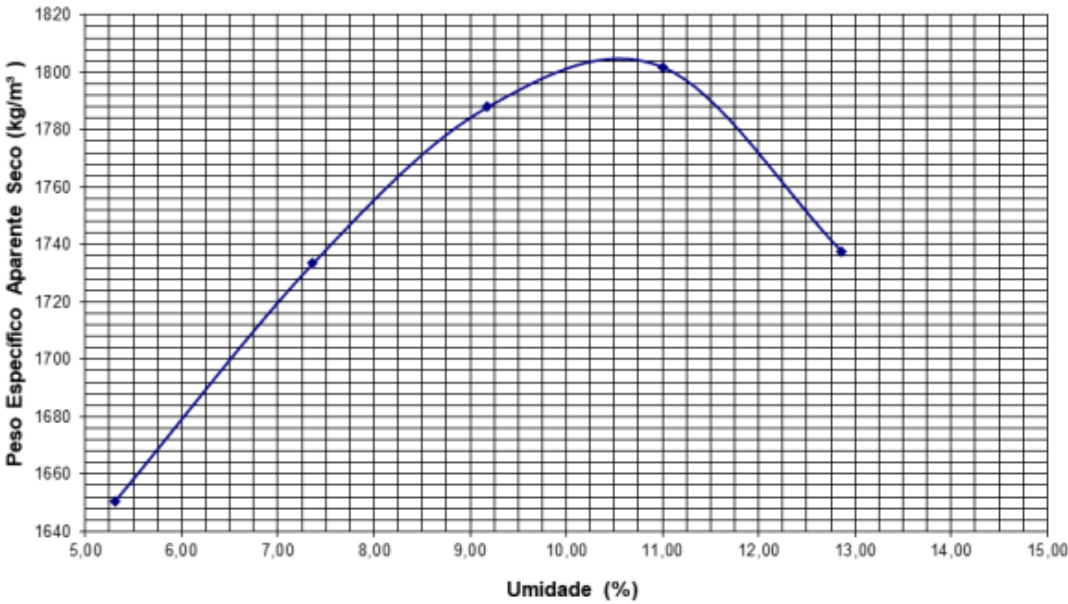
4.2.1 Preparação das Misturas

Inicialmente, o traço escolhido para execução dos corpos de prova de solo-cimento foi de 1:2:5 (cimento:argila:areia) dado em volume. Com isso, realizou-se ensaio de compactação seguindo as determinações da ABNT NBR 7182:2016, indicando um peso específico aparente seco máximo de 18,04 kN/m³ e um teor de umidade ótima correspondente a 10,5 %. A curva de compactação é apresentada na Gráfico 6.

Esse traço, porém, não atendeu o comportamento desejado em relação à compacidade do compósito pois, ao manipular o corpo de prova compactado, ele se quebrava no momento da extração do molde metálico. Acredita-se que isso tenha

ocorrido devido as características do solo serem predominantemente de material arenoso promovendo uma baixa plasticidade. Para resolver essa questão, aumentou-se a quantidade de cimento na mistura aumentando a plasticidade do compósito. O traço adotado, portanto, foi de 1:1:2,5 (cimento:argila:areia). Uma nova compactação não pôde ser realizada devido as restrições de tempo.

Gráfico 6 - Curva da compactação do solo cimento.



Fonte: o autor (2024).

Com a definição do traço, estabeleceu-se os três teores de fibras, referentes a massa total dos CPs, a adicionar na mistura com base em estudos anteriores, que foram de 0,25%, 0,50% e 0,75%. Moldou-se três corpos de prova para cada material proposto, totalizando 12 corpos de prova, sendo o resumo apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações dos corpos de prova.

Corpos de prova	Compósito	Aditivo		Tempo de cura	Sigla
		Nome	Concentração		
CP 01	SC	—	—	28 dias	SC-0%
CP 02	SC	—	—	28 dias	SC-0%
CP 03	SC	—	—	28 dias	SC-0%
CP 01F	SC	Fibra de bambu	0,25%	28 dias	SC-0,25%
CP 02F	SC	Fibra de bambu	0,25%	28 dias	SC-0,25%
CP 03F	SC	Fibra de bambu	0,25%	28 dias	SC-0,25%
CP 04F	SC	Fibra de bambu	0,50%	28 dias	SC-0,5%
CP 05F	SC	Fibra de bambu	0,50%	28 dias	SC-0,5%
CP 06F	SC	Fibra de bambu	0,50%	28 dias	SC-0,5%
CP 07F	SC	Fibra de bambu	0,75%	28 dias	SC-0,75%
CP 08F	SC	Fibra de bambu	0,75%	28 dias	SC-0,75%
CP 09F	SC	Fibra de bambu	0,75%	28 dias	SC-0,75%

Fonte: O autor (2024).

4.2.2. Moldagem dos Corpos de Prova

Com a definição do traço, separou-se de cada material as quantidades apresentadas no Tabela 3 para iniciar o processo de moldagem dos corpos de prova.

Tabela 3 - Quantidade de material para moldagem.

Material	Traço	Volume total	Massa úmida	Massa seca	%
		(ml)	(g)	(g)	
Cimento	1	100	93,8	84,46	16,96
Argila	1	100	120,82	108,79	21,84
Areia	2,5	250	338,5	304,81	61,2
TOTAL:			553,12	498,06	100

Fonte: O autor (2024).

Após a separação do material, em uma bandeja foram inseridas as partes componentes da mistura, ainda secas, que foi misturada com uma colher de pedreiro (Figura 8).

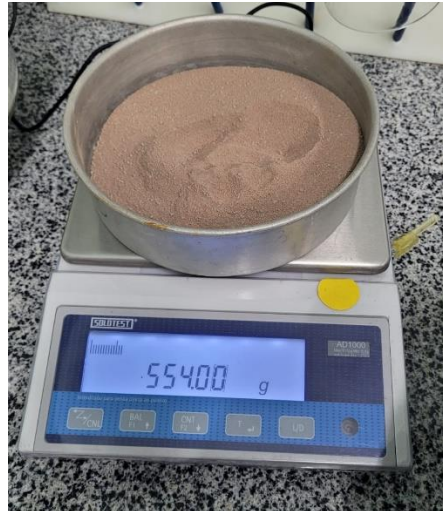
Figura 8 - Mistura dos materiais secos.



Fonte: O autor (2024).

Para a moldagem de cada CP foi separado 554g da mistura de materiais secos (Figura 9). Em seguida, adicionou-se 55,4g de água, visando atingir a umidade ótima da mistura. Esse processo foi repetido para cada uma das três amostras dos CPs de solo-cimento sem adição de fibras (SC-0%).

Figura 9 - Material seco necessário para moldagem de um corpo de prova.



Fonte: O autor (2024).

A moldagem dos CPs com fibras de bambu, se dá de maneira análoga a anterior com a diferença da adição das fibras de bambu em suas respectivas quantidades nas amostras SC-0,25%, SC-0,50% e SC-0,75% à porção ainda seca, onde foi misturada para garantir a uniformidade de seu espalhamento e apenas posteriormente adicionados os 55,4g de água.

Finalizado o preparo da mistura, foram retiradas 5 amostras de aproximadamente 78,11g (Figura 10) correspondente a cada camada de compactação do corpo de prova.

Figura 10 - Separação do material necessário para cada camada do corpo de prova.



Fonte: O autor (2024).

Em sequência, no processo de moldagem foram utilizados um cilindro de 10cm de altura e 5cm de diâmetro e 5 tarugos de compactação de diferentes alturas (Figura 11).

Figura 11 - Tarugos de compactação e cilindro.



Fonte: O autor (2024).

Para moldar uma camada do corpo de prova separou-se 78,11 g de solo originando assim um corpo de prova com 390,55 g. Esse foi o padrão repetido para todos os CPs.

O material contido em cada cápsula foi inserido no interior do cilindro (Figura 12) e posteriormente compactado, com auxílio dos tarugos metálicos, na prensa hidráulica. No topo de cada camada, com uma espátula, fez-se pequenas ranhuras superficiais para melhorar a aderência entre as camadas.

Figura 12 - Compósito sendo inserido no interior do cilindro e amostra dentro do cilindro.



Fonte: O autor (2024).

A densificação das camadas para moldagem dos corpos de prova foi feita cautelosamente numa prensa hidráulica de velocidade constante que pressiona o tarugo sobre o solo até que suas abas encostem no topo das paredes dos cilindros (Figura 13). Com isso foi mantida a uniformidade do processo, possibilitando com que os corpos de prova fossem o mais homogêneo possível.

Figura 13 - Moldagem da mistura na prensa.



Fonte: O autor (2024).

Após a compactação de todas as camadas no cilindro, o CP foi extraído do molde utilizando um extrator manual, conforme a Figura 14. O processo foi feito cuidadosamente devido a fragilidade do CP recém moldado, mantendo sua forma e características adquiridas na compactação.

Figura 14 - Corpo de prova sendo removido do extrator.

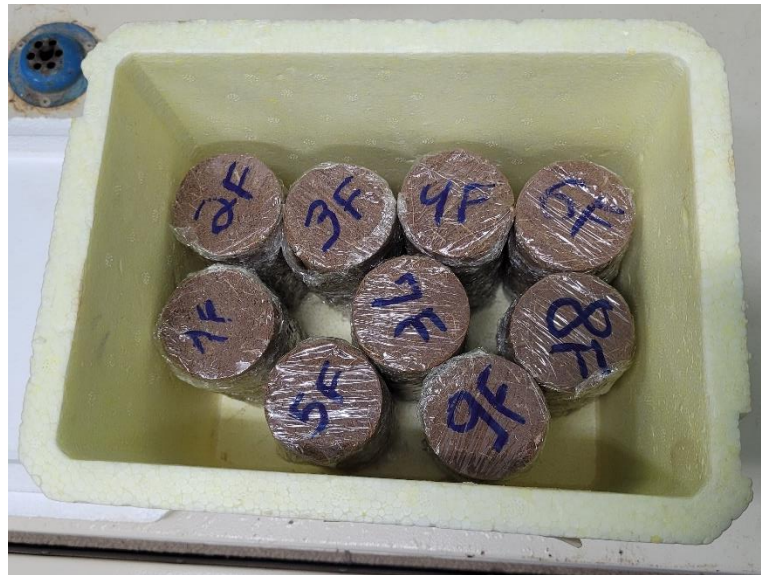


Fonte: O autor (2024).

4.2.3. Cura Dos Corpos de Prova

Finalizada sua retirada do molde, os CPs foram rapidamente pesados e logo após, completamente envoltos em plástico filme e armazenados numa caixa térmica por 28 dias até o dia do teste de compressão simples, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Corpos de prova em processo de cura.



Fonte: O autor (2024).

A rapidez desse processo é importante para que não haja perda significativa de umidade. A cobertura por plástico filme garante a manutenção da umidade dos CPs durante o processo de cura, e assim mantendo as condições necessárias para o desenvolvimento adequado das suas propriedades mecânicas. É essencial que seja evitada a perda da água presente na composição, para que as reações químicas envolvidas no processo ocorram de forma adequada e assim promovam o desenvolvimento da resistência com o tempo.

4.2.4. Ensaio de Compressão Simples

Após os 28 dias de cura, os CPs estavam prontos para o ensaio de compressão simples. O plástico filme foi retirado e então cada CP foi pesado e foi medido seu diâmetro e altura. Posteriormente, posicionou-se cada corpo de prova em um adaptador para ruptura na prensa hidráulica, como mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Corpo de prova pronto para o início do ensaio de compressão simples.



Fonte: O autor (2024).

Na sequência, realizou-se o ensaio de compressão simples (Figura 17), em que a carga foi aplicada com velocidade constante de 2,4 cm/s até haver a ruptura do corpo de prova. Repetiu-se o processo para os doze corpos de prova moldados neste trabalho.

Figura 17 - Rompimento de um corpo de prova.



Fonte: O autor (2024).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do ensaio de compressão dos 12 corpos de prova serão expostos e discutidos nesta seção.

5.1. Resistência à Compressão

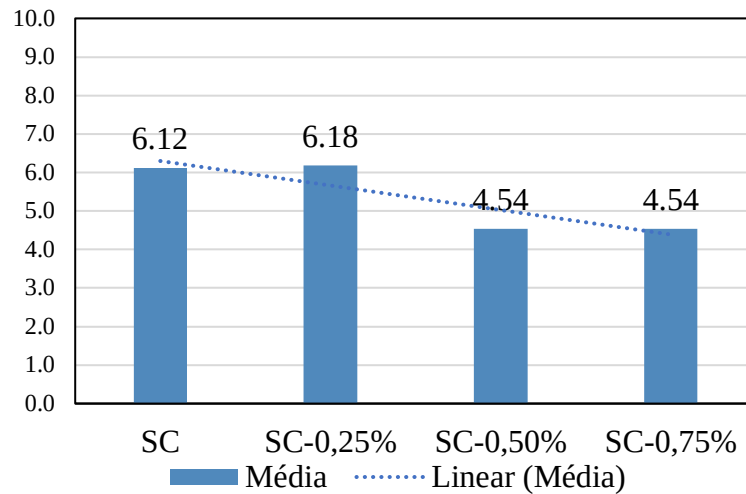
A resistência à compressão foi determinada pela divisão da carga máxima aplicada pela prensa, pela área da seção transversal do corpo de prova, resultando em valores expressos em MPa.

Os valores de tensão de ruptura dos corpos de prova de solo-cimento com e sem adição de fibras de bambu estão apresentados na Tabela 4, juntamente com o valor médio de tensão de ruptura para cada porcentagem de fibras, e ilustrados no Gráfico 7.

Tabela 4 - Resultados da resistência a compressão dos CPs.

Sigla	Corpo de prova	Tensão de ruptura (MPa)	Valor médio da tensão de ruptura (MPa)
SC-0%	CP 01	7,38	6,12
SC-0%	CP 02	5,55	
SC-0%	CP 03	5,42	
SC-0,25%	CP 01F	6,15	6,18
SC-0,25%	CP 02F	6,18	
SC-0,25%	CP 03F	6,2	
SC-0,50%	CP 04F	4,19	4,54
SC-0,50%	CP 05F	4,59	
SC-0,50%	CP 06F	4,84	
SC-0,75%	CP 07F	4,49	4,54
SC-0,75%	CP 08F	4,34	
SC-0,75%	CP 09F	4,79	

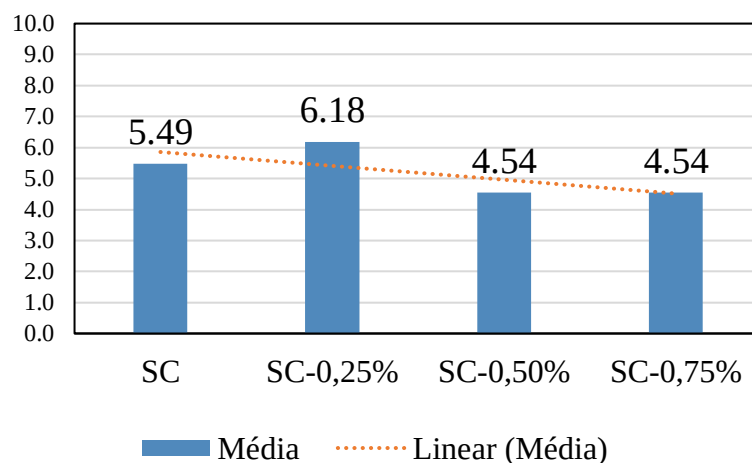
Fonte: O autor (2024).

Gráfico 7 - Comparativo da resistência à compressão dos CPs.

Fonte: O autor (2024).

Ao analisar os valores encontrados, percebeu-se que entre os corpos de prova SC-0% houve um valor discrepante dos demais apresentando uma diferença de % pra mais em relação a média dos outros dois valores.

Ao considerar esse valor, a média da tensão de ruptura dos corpos de solo-cimento puro é de 6,12 MPa, que pode ser considerada igual à média dos CPs com teor de fibras de 0,25% e portanto podia-se constatar que as fibras não proporcionaram aumento de resistência ao compósito, porém, devido a essa divergência, resolveu-se descartar o valor discrepante e assim realizar a avaliação com valores médios consistentes. Os valores considerados estão contidos no gráfico 8 e na Tabela 5.

Gráfico 8 - Comparativo da resistência à compressão dos CPs, desconsiderando o valor discrepante.

Fonte: O autor (2024).

Tabela 5 - Resultados da resistência a compressão dos CPs sem adição de fibras, desconsiderando o valor discrepante.

Sigla	Corpo de prova	Tensão de ruptura (MPa)	Valor médio da tensão de ruptura desconsiderando valores discrepantes (MPa)
SC-0%	CP 01	0	5,49
SC-0%	CP 02	5,55	
SC-0%	CP 03	5,42	
SC-0,25%	CP 01F	6,15	6,18
SC-0,25%	CP 02F	6,18	
SC-0,25%	CP 03F	6,2	
SC-0,50%	CP 04F	4,19	4,54
SC-0,50%	CP 05F	4,59	
SC-0,50%	CP 06F	4,84	
SC-0,75%	CP 07F	4,49	4,54
SC-0,75%	CP 08F	4,34	
SC-0,75%	CP 09F	4,79	

Fonte: O autor (2024).

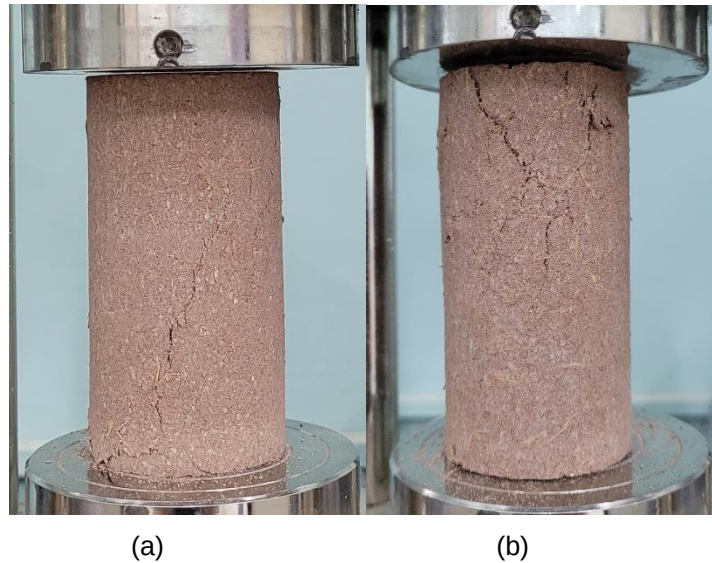
De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 8 e na Tabela 5, nota-se que a adição de 0,25% de fibras de bambu ao compósito solo-cimento promoveu um aumento de 12,77% na resistência à compressão média, enquanto que a adição de 0,50% e 0,75% de fibras de bambu ao compósito promoveu comportamento contrário, reduzindo em 11,33% sua resistência à compressão média.

5.2. Tipo de Ruptura

A análise do tipo de ruptura dos corpos de prova foi realizada para as quatro especificações estudadas.

Os tipos de ruptura apresentados foram, em geral, cônica com afastamento das bordas e cisalhada com afastamento do capeamento, apresentadas na Figura 18. O fato de os corpos romperem-se sempre com afastamento das bordas indica que não houve boa distribuição das tensões nas faces dos corpos de prova, que podem ter sido causadas pela falta de capeamento, que gerou irregularidades nas superfícies e, assim, concentração de tensão em determinados pontos que causaram a ruptura naquele local.

Figura 18 - Tipos de ruptura dos Corpos de Prova. (a) Cisalhada (b) Cônica.



Fonte: O autor (2024).

É plausível admitir que as irregularidades nas superfícies dos CPs podem ter influenciado o resultado dos valores de resistência à compressão, já que as tensões aplicadas não foram distribuídas uniformemente aos corpos ensaiados.

As rupturas cisalhadas podem ser justificadas pelo excesso de solo arenoso na composição da mistura, pois essa é uma característica deste tipo de solo.

6. CONCLUSÕES

Em suma, a análise dos corpos de prova de solo-cimento aponta que a resistência à compressão diminui conforme se ultrapassa uma determinada porcentagem de fibras de bambu adicionada.

A adição de fibras de bambu gerou resultados ambíguos. Houve um aumento relevante no valor da resistência dos corpos de prova com 0,25% de fibras de bambu em relação aos corpos de prova sem adição, enquanto que ao aumentar a porcentagem para 0,50%, não apenas diminuiu a resistência se comparada aos CP-0,25% como também aos CPs de solo-cimento sem adição, e o que poderia indicar uma tendência de queda de resistência vinculada ao aumento do teor de fibra não se confirmou para os CPs com 0,75% onde os valores médios mostraram-se iguais.

O processo de moldagem dos corpos de prova contou com alguns problemas de execução que foram expostos após o rompimento. As irregularidades nas superfícies das faces, causadas pela falta de capeamento, provocaram falhas na ruptura que indicam má distribuição das tensões sobre os corpos de prova que pode ter influenciado nos valores de resistência à compressão encontrados.

Essas observações enfatizam a importância do uso da dosagem correta de um aditivo a um compósito e da execução correta dos processos de moldagem para atender a todos os requisitos normativos e obter resultados consistentes e confiáveis. Por fim, essa pesquisa alimenta algumas ideias que podem ser futuramente aplicadas em práticas construtivas que necessitem melhorar as características do solo para atender as demandas de suas aplicações.

Devido às limitações de tempo que impediram a realização do aprofundamento das análises, recomenda-se para futuras pesquisas:

- Realizar ensaios de compressão em corpos de prova de solo-cimento com teores de fibras de 0,10%, 0,20%, 0,30% e 0,40% com o mesmo traço adotado neste trabalho;
- Refazer os ensaios deste trabalho sob os mesmos moldes, porém apenas com a areia argilosa;
- Refazer os ensaios deste trabalho substituindo a areia argilosa por um solo com alto teor de argila;

- Analisar a influência de irregularidades nas faces do corpo de prova no resultado dos ensaios de compressão.

REFERÊNCIAS

- ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo-SP, 1999. ABCP, ET-35, 51p;
- ACTION LABS. **Feito com cimento, tijolo ecológico garante economia e sustentabilidade às obras - Cimento Itambé**. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/feito-com-cimento-tijolo-ecologico-garante-economia-e-sustentabilidade-as-obras/>>. Acesso em: 6 ago. 2024;
- AJU, V. **Conheça Mandacaru em Sergipe**. Disponível em: <<https://vilaaju.com.br/conheca-mandacaru-em-sergipe/>>. Acesso em: 6 ago. 2024;
- ARRIVABENI, B. S. **ALTERNATIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E QUÍMICA DE SOLO DE ESTRADAS FLORESTAIS**. 2017. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Estudo Técnico 35: Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem**. 3. ed. São Paulo, SP, 51 p, 1986;
- 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 12253: Estruturas de concreto – Cálculo e execução**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 2024;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Massa específica dos solos ou dos grãos**. Rio de Janeiro, 2016;
- 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: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Versão corrigida 2: 2018;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 Versão corrigida 2: 2020: Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2020;
- BALDOVINO, J.J.A., IZZO, R.L.S, TEIXEIRA, W., et al., “**Variáveis que influenciam na resistência à tração e à compressão simples de dois solos sedimentares estabilizados com cimento**”, *Matéria* (Rio J.), v. 25, n. 2, 2019;

BATISTA, C. F. N. **Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis**. Vol. 1, 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1976;

BAUER, Luiz Alberto Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Vol 2. Rio de Janeiro: LTC, 2008;

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **DNER-ME 051/94: Solos – Análise Granulométrica**. Brasília, 1994;

CABALA, Guillermo Van Erven. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu**. 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007;

CAFÉ, TÚLIO SOUZA REZENDE. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS DE SOLO E FIBRA DA CANA DE AÇÚCAR**. Orientador: Fernando Silva Albuquerque. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2016;

CARVALHO, A. R. O.; POROCA, J. S. **Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado**. Brasília: IBICT, 1995. 38p;

Casa de Taipa: Descubra a Origem e Veja 6 Exemplos Modernos. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/taipa/>>. Acesso em: 6 ago. 2024;

CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Manual de construção com solo-cimento**. BNH/THABA. 3. ed., Rio de Janeiro, 1984;

CRISTINA, Pâmela et al. **Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil**. *Research, Society and Development*, v. 7, n. 9, p. 01-18, 2018;

CRISTINA, Pâmela et al. **Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil**. *Research, Society and Development*, v. 7, n. 9, p. 01-18, 2018;

CRUZ, Maria de Lurdes Santos da. **Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento**. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2004;

FARIA, O.; NEVES, C. **Arquitetura e Construção com Terra no Brasil**. Série - PPGARG Volume Especial Editora ANAP, 2011;

FERNANDES, Maria da Conceição Lopes Aleixo. **A cultura construtiva do adobe em Portugal**. 2013. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, 250 f. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013;

FIGUEIREDO, A. D. de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 248 f. Tese (Livredocência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011;

FILHO, H. R. P. **A conformidade das fibras poliméricas para uso em concreto e argamassa**. Disponível em: <<https://www.revistaadnormas.com.br/2021/05/04/a-conformidade-das-fibras-polimericas-para-uso-em-concreto-e-argamassa>>. Acesso em: 19 ago. 2024;

FOPPA, D. **Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 143 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005;

FRAGA, Yuri Sotero Bomfim et al. **Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil**. Caderno de graduação-ciências exatas e tecnológicas-unit-Sergipe, v. 3, n. 3, p. 11-11, 2015;

GIORGI, Priscila et al. **Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, p. e12177, 2018;

GONÇALVES, Bruno Henrique; LIMA, Glaucio Francisco de; RODRIGUES, Guilherme José. **Comportamento do concreto reforçado com fibras de aço carbono: resistência à compressão e tração por compressão diametral**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 4, n. 4, p. 83-131, abr. 2019. ISSN 2448-0959. doi: 10.24484/RCT.v4i4.3938;

GONDIM, L. M. **Estudo experimental de misturas solo-emulsão aplicado às rodovias do Agropólo do baixo Jaguaribe - CE**. 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008;

HOFFMANN, Márcio Vieira; MINTO, Fernando Cesar Negrini; HEISE, André Falleiros. **Taipa de pilão**. Célia Neves Obede Borges Faria, p. 46, 2011;

JAQUIN, P.A. **Analysis of Historic Rammed Earth Construction**. Tese (Doutorado) - Universidade de Durham, 2008;

KUASNE, Ângela. **Fibras têxteis**. 2008. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Têxtil em Malharia e Confecção) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Araranguá, 2008;

LOPES, Matheus Machado. **Estudo do comportamento físico-mecânico de solos reforçados com fibras de açaí (*Euterpe oleracea*)**. 2019. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) — orientado por Michéle Dal Toé Casagrande — Universidade de Brasília, Brasília, 2019;

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, 1998;

LOPES, Wilza Gomes Reis. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 158 f. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002;

LOTÉRIO, L. **Amianto libera pó que oferece 3 grandes riscos à saúde: telhas poderão ser proibidas.** Disponível em: <<https://www.mulher.com.br/atualidades/noticias/amianto-libera-po-que-oferece-3-grandes-riscos-a-saude-telhas-poderao-ser-proibidas>>. Acesso em: 19 ago. 2024;

MACHADO, Carlos Cardoso; LIMA, D. C.; ALMEIDA, RM de. **Estudo do comportamento da mistura solo-cimento reforçado com fibra sintética para uso em estradas florestais.** CERNE, v. 4, n. 1, p. 123-128, 1998;

MARTINS, Adriana P. S.; SILVA, João da; SANTOS, Maria dos. **Avaliação do desempenho ambiental de compósitos solo-cimento-fibras de sisal autoadensáveis.** In: 3º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, Coimbra, Portugal, 2018. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2018. p. 14-16;

MARTINS, Ana. **A taipa de pilão como método construtivo de casas populares.** 2005. 3 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2005;

MONTARDO, Julio Portella. **Comportamento mecânico de compósitos solo-cimento-fibra: estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes.** 1999. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — PPGECC/UFRGS, Porto Alegre, 1999;

MURGEL, Ângelo A. **A casa rural brasileira.** Revista do Serviço Público, v. 3, n. 3, p. 76-85, 1949;

NETO, P. S. de Lima et al. **Estudo de utilização de fibras de polipropileno como reforço em solo para a pavimentação rodoviária.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 45.; ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 19.; FÓRUM RODOVIÁRIO DE TRÂNSITO E DE MOBILIDADE, 1º, 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2016. p. 20-23;

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: 6 ago. 2024;

PATRICIO, J. D. **Estudo de solos modificados por adição de polímeros para uso em pavimentos rodoviários.** 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015;

PEREIRA, Adriana Maria; FAZZAN, João Victor; DE FREITAS, Verônica. **Análise da viabilidade do uso da fibra de borracha de pneu como reforço em tijolo de solo cimento.** *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 3, n. 20, 2015;

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas: a arquitetura de terra.** Revista Sinergia, v. 5, n. 1, p. 09-15, 2004;

PLUS. **Fibra de Coco - um substrato especial para as plantas.** Disponível em: <<http://terral.agr.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=53>>. Acesso em: 19 ago. 2024;

REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE. **As vantagens e desvantagens do tijolo de adobe.** Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/vantagens-desvantagens-tijolo-adobe/>>. Acesso em: 25 julho. 2024;

ROTONDARO, Rodolfo. **Adobe. Técnicas en construcción con tierra.** Red Iberoamericana PROTERRA, Bauru, Brasil, p. 16-25, 2011;

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **O solo como material de construção.** 2001;

SANTOS, A. M. et al. **Utilização da fibra de rafia como adição em solo-cimento para produção de tijolos ecológicos: uma avaliação físico-mecânica.** *Revista Univap*, v. 22, n. 40, p. 702-707, 2016;

SCHMIDT, C.B. **Construções de Taipa: Alguns Aspectos de seu Emprego e da sua Técnica.** 1946, p. 129 – 158. Boletim de Agricultura, único nº., Série 47 A, São Paulo, 1946;

SILVA, Erico Rafael da. **Comportamento mecânico de um solo reforçado com fibra de Curauá (Ananas erectifolius).** 2020. 150 f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2020;

SOUZA, I.U.L., SOUZA, G.F.G., BUENO, O.F., **“Alvenaria sustentável com a utilização de tijolos ecológicos”**, In: 5ª Jornada Científica e Tecnológica e 2º Simpósio de Pós-Graduação do IFSULDEMINAS, Inconfidentes, 2013;

SPECHT, Luciano Pivoto. **Comportamento de misturas solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação.** 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000;

TAYLOR, G. D. **Materials in Construction.** London: Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994. 284p;

TORGAL, F. P.; EIRES, R. M. G.; JALALI, S. **Construção em Terra.** Universidade do Minho. TecMinho: Braga, Portugal, 2009;

VILELA, David Pacheco; SANT’ANNA, Daniele Ornaghi. **Avaliação Qualitativa do Uso de Tijolos de Solo-cimento com Incorporação de Resíduos da Fibra de Bambu Produzidos no Município de Itajubá (MG).** *Plural Design*, v. 2, n. 1, p. 41-54, 2019;

VILLAR, L. F. S.; DE CAMPOS, T. M. P.; ZORNBERG, J. G. **Relação entre a resistência à tração obtida via ensaio brasileiro, a sucção e índices físicos de um solo.** In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS, Salvador, BA, 2007. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2007. p. 123-128;

VITALI, Osvaldo Paiva Magalhães. **Efeito da composição de misturas de solo-cimento nos parâmetros de rigidez e de resistência.** 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008;

VIZCARRA, G. O. C. **Aplicabilidade de Cinzas de Resíduo Sólido Urbano Para Base de Pavimentos**. In: ENGENHARIA CIVIL. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2010. **Anais...** Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2010. p. 125-130;

Weber, E. Campos, R. F. F., &Borga, T. (2017). **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil**. Ignis – Revista de Engenharias e inovação tecnológica, Caçador, v. 6, n. 2, p 18-34, 217;