



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU RESIDÊNCIA EM
PRÁTICAS AGRÍCOLAS E ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL**

NATHALIA ANDRADE DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE COCO NO
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE ADOBE**

Niterói, RJ
2022

NATHALIA ANDRADE DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE COCO NO
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE ADOBE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Pós-graduação Lato Sensu Curso de Residência em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Daiane Cecchin

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Camila Ap^a. Abelha Rocha

Niterói, RJ
2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

D111i Da Silva, Nathalia Andrade
INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE COCO NO
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE ADOBE / Nathalia Andrade
Da Silva. - 2022.
42 f.: il.

Orientador: Daiane Cecchin.
Coorientador: Camila Ap^a. Abelha Rocha.
Monografia (residência)-Universidade Federal Fluminense,
Escola de Engenharia, Niterói, 2022.

1. Adobe. 2. Construções Rurais. 3. Fibra de coco. 4.
Produção intelectual. I. Cecchin, Daiane, orientadora. II.
Rocha, Camila Ap^a. Abelha, coorientadora. III. Universidade
Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDD - XXX

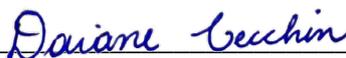
NATHALIA ANDRADE DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE COCO NO
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE ADOBE**

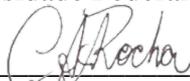
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Pós-graduação Lato Sensu Curso de Residência em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural.

Aprovada em 7 de novembro 2022.

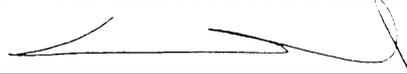
BANCA EXAMINADORA



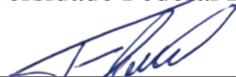
Prof^ª. Dra. Daiane Cecchin (orientadora)
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof^ª. Dra. Camila Ap^ª. Rocha Abelha (coorientador)
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. Leonardo da Silva Hamacher
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. Flávio Castro da Silva
UFF – Universidade Federal Fluminense

Niterói, RJ
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder saúde, paciência e perseverança até o término deste curso.

Ao Marlon e Matias pela paciência comigo e entenderem todo os sábados que precisei estar em aula e fazendo trabalhos, amo muito vocês e sei que são minhas maiores motivações.

Aos meus pais, Isac e Eliana, meus sogros Dionízio e Iracema e minha tia Edna por serem minha rede de apoio sempre, sem vocês eu não conseguiria realizar meus sonhos profissionais, sempre cuidando da casa e do Matias com muito amor.

Aos meus amigos da residência Marllus e Eliane, vocês foram fundamentais para que eu conseguisse terminar esta formação, vocês são INCRÍVEIS.

Às minhas orientadoras Daiane e Camila por terem confiado em mim, sem pressão e muita leveza.

À todos os professores do Curso de Pós-graduação Lato Sensu Curso de Residência em Práticas Agrícolas e Assistência Técnica e Extensão Rural que se dedicaram as aulas, resistiram a pandemia e contribuíram de forma significativa para o meu conhecimento.

Ao técnico Adinelson e professora Juliana que me instruíram e me ajudaram durante os ensaios que realizei no Laboratório de Mecânica do Solo-UFF.

Ao professor Romildo por ter colaborado com a utilização da estrutura do NUMATS para a realização de boa parte do plano experimental.

Por fim ao apoio financeiro proporcionado pelo Curso de Pós-graduação Lato Sensu Curso de Residência em Práticas Agrícolas e Assistência Técnica e Extensão Rural.

RESUMO

O Adobe é uma técnica construtiva milenar, de execução simples e baixo custo, ainda utilizada em algumas partes do mundo, principalmente em áreas rurais. Normalmente, nestas regiões gera-se uma quantidade considerável de resíduos agrícolas que podem ser utilizados para diversos fins. Um resíduo agrícola que vem sendo cada vez mais estudado no setor da construção civil são as fibras naturais. A adição de fibras naturais na matriz do solo vem ganhando destaque por ser um estabilizador natural e de fácil acesso. O objetivo deste trabalho foi analisar e caracterizar blocos de adobe reforçados com fibras de coco, com adição de 0%, 1% e 2% através de ensaios de absorção capilar, aderência fibra-solo, durabilidade na presença de água e propriedades mecânicas por meio de ensaios de compressão e flexão. Os blocos de adobe com adição de fibras apresentaram resultados mecânicos acima do exigido pela norma NBR 16814. A adição das fibras promoveu resultados de absorção capilar maiores que as amostras somente constituídas de solo e quando expostos a erosão por gotejamento não foi observado nenhum dano significativo na estrutura dos adobe.

Palavras-chave: Adobe, fibra de coco, construções rurais.

ABSTRACT

Adobe is an ancient construction technique, simple and low cost, still used in some parts of the world, mainly in rural areas. Normally, in these regions, a considerable amount of agricultural waste is generated that can be used for different purposes. An agricultural waste that has been increasingly studied in the construction sector is natural fibers. The addition of natural fibers in the soil matrix has been gaining prominence as it is a natural and easily accessible stabilizer. This work aimed to analyze and characterize adobe blocks reinforced with coconut fibers, with the addition of 0%, 1% and 2% through, capillary absorption, fiber-soil adhesion, durability in the presence of water and mechanical, properties through of compression bending tests. The adobe blocks with the addition of fibers showed mechanical results above those required by the standard NBR 16814. The addition of fibers promoted higher capillary absorption results than the samples consisting only of soil and when exposed to drip erosion, no significant damage was observed in the adobe structure.

Keywords: Adobe, coconut fiber, rural buildings.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Geral.....	2
1.2.1 Específicos	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 CONSTRUÇÕES COM TERRA	3
2.2 ADOBE REFORÇADOS COM FIBRA	5
2.3 FIBRA DE COCO	7
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3.1 SOLO.....	10
3.2 FIBRA DE COCO	13
3.3 ADOBE	15
4 RESULTADOS.....	22
4.1 SOLO	22
4.1.1 Análise Granulométrica.....	22
4.1.2 Massa específica, teor de umidade e limites de consistência	23
4.1.3 Composição química.....	24
4.2 FIBRA DE COCO	24
4.3 ADOBE	25
4.3.1 Densidade aparente e absorção capilar.....	25
4.3.2 Ensaio de erosão por gotejamento	26
4.3.3 Ensaio de arrancamento	27
4.3.4 Ensaio de compressão uniaxial	28
4.3.5 Ensaio de flexão 3 pontos.....	29
5 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

A construção com terra ressurge de forma significativa em 1970 onde o cenário mundial estava presenciando a crise do petróleo e o aumento crescente de problemas ambientais como o aumento das emissões de poluentes relacionados ao alto consumo energético e extração de matérias-primas não renováveis (SANTOS; LIMA BESSA, 2020). Uma técnica utilizada no passado em habitações da pré-história reaparece como uma alternativa de baixo custo, alta disponibilidade e de baixo impacto ambiental (CORDEIRO *et al.*, 2020).

No Brasil um importante marco se deu no ano de 2020 em relação à construção com terra, que foi a publicação da norma NBR 16814 - *Adobe- Requisitos e métodos de ensaio* pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, (2020). Gerando visibilidade e credibilidade para a técnica de construção de Adobe.

O adobe é a técnica mais comumente usada devido a facilidade de fabricação (JALALI; EIRES, 2008), quando associado a construções rurais é uma alternativa interessante não só pela facilidade de construção, mas também por exigir uma manutenção simples, baixo custo e contribuir para o desenvolvimento rural sustentável na agricultura familiar.

As construções rurais englobam galpões de armazenamento e beneficiamento, viveiros, estufas, instalações destinadas à produção animal, entre outras. O objetivo deste trabalho é trazer como alternativa o emprego dos blocos de adobe reforçados com fibras de coco em estruturas rurais, possibilitando a reutilização dos resíduos do coco encontrados nas propriedades rurais no município de Cachoeira de Macacu no estado do Rio de Janeiro.

1.1 JUSTIFICATIVA

A elaboração deste trabalho justifica-se pela necessidade de dar um destino final de baixo impacto ambiental as fibras oriundas dos resíduos do coco gerando um produto que seja de baixo custo e fácil produção, que são os blocos de adobe reforçados com fibras de coco.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar blocos de adobe reforçados com fibras de coco, com o intuito de se obter um material de construção sustentável e de baixo custo para agricultores familiares do município de Cachoeiras de Macacu-RJ.

1.2.2 Específicos

- Avaliar o desempenho mecânico dos blocos de adobe reforçados com fibras de coco;
- Analisar qual será o melhor teor de fibras de coco para ser incorporado ao solo levando em consideração as propriedades mecânicas;
- Investigar a durabilidade dos blocos de adobe em relação a erosão hídrica;
- Estudar a aderência solo-fibra.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONSTRUÇÕES COM TERRA

Um dos materiais de construção mais antigos do mundo é a terra. Para Torgal & Jalali (2009), a construção com terra teve início juntamente com o surgimento das primeiras sociedades agrícolas entre 12 000 a 7 000 AC. Estima-se que em 2008, metade da população mundial vivia em edificações de terra crua (JALALI; EIRES, 2008). Na Figura 1 observa-se as regiões no mundo onde as construções com terra se destacam. Figueiredo *et al.* (2013) ressaltam que grande parte dessas construções estão associadas a populações rurais de baixa renda econômica.

Figura 1- Regiões com elevada densidade de construções com terra.



Fonte: JALALI; EIRES (2008)

As principais vantagens das construções com terra são: técnicas de baixo impacto ambiental, produção *in loco* reduzindo gasto energético com transporte, utilização de matéria-prima local, baixo nível de geração de resíduos e elevado potencial de reciclagem (ABNT, 2020).

Existem várias técnicas de construção com terra no mundo inteiro, porém no Brasil três técnicas ganham destaque pois foram introduzidas no século XVI pelos colonizadores portugueses (JALALI; EIRES, 2008; ABNT, 2020). São elas:

1. Taipa: conhecida também de taipa de pilão ou terra compactada é uma técnica onde o solo úmido é compactado em camadas dentro de formas (Figura 2) que após totalmente

preenchidas são removidas e recolocadas para produção da camada seguinte até seu preenchimento total (CORDEIRO *et al.*, 2020; TORGAL, F.; JALALI, 2010).

Figura 2- Forma tradicional de taipa.



Fonte: TORGAL, F.; JALALI (2010).

Esta técnica está sendo cada vez mais melhorada com a utilização de compactadores pneumáticos aumentando a produtividade e a qualidade em relação a taipa tradicional (Figura 3).

Figura 3- Paredes produzidas com a técnica de taipa mecanizada.



Fonte: TAIPAL(2020).

2. Adobe: nesta técnica utiliza-se um solo arenoargiloso em estado plástico. O processo de fabricação consiste na moldagem de pequenos blocos em moldes de madeira que são desmoldados em estado fresco e colocados para secar a temperatura ambiente (Figura 4-a). A construção com adobe (Figura 4-b) é similar à realizada com tijolo convencional, porém o assentamento dos blocos é feito com argamassa à base de terra para melhorar a ligação entre os materiais e evitar o surgimento de fissuras (ABNT, 2020; TORGAL, F.; JALALI, 2010).

Figura 4-Técnica de adobe: (a) produção dos blocos de adobe; (b) construção com adobe.



Fonte: AFFORDABLE ADOBE (2020); ARCHDAILY BRASIL (2020).

3. Pau a pique: trata-se de uma técnica composta por uma trama de madeira onde os vazios são preenchidos manualmente por um solo argiloso (Figura 5). Ao contrário das técnicas de taipa e adobe que são utilizadas de forma estrutural o pau a pique é para vedação (DE *et al.*, 2006).

Figura 5- Parede de pau a pique.



Fonte: DE *et al.* (2006).

2.2 ADOBE REFORÇADO COM FIBRAS

Os blocos de adobe apresentam diversas vantagens como: execução simples sem a necessidade de mão de obra especializada, baixo custo de produção, confere isolamento térmico e acústico e é resistente ao fogo (FREIRE; BERALDO, 2003). Embora apresente vantagens significativas os mesmos autores destacam algumas desvantagens que precisam ser levadas em consideração quando se planeja utilizar este tipo de material como : baixa resistência a abrasão, contato direto com água pode provocar desintegração do material o

que gera a necessidade de manutenção frequente e apresenta altas taxas de contração/expansão, o que leva ao aparecimento de fissuras.

As desvantagens apresentadas têm acarretado cada vez mais estudos para estabilizar os blocos de adobe. De acordo com Santos & Lima Bessa (2020) a maioria das pesquisas relacionadas ao uso do adobe no Brasil estão relacionadas a adições estabilizantes.

Os estabilizantes podem ser divididos em naturais e industriais. Os naturais podem ser palhas, fibras vegetais, sumo de plantas, cinza de madeira e esterco de animal. Os industrializados : cal, pozolanas, gesso, silicato de sódio, entre outros (FREIRE; BERALDO, 2003).

A incorporação de adições estabilizantes como fibras vegetais em adobes tem se mostrado relevante, pois concede ao produto final maior estabilidade volumétrica, resistência à absorção de água e menor massa específica (SANTOS; LIMA BESSA, 2020).

Danso *et al.* (2015) produziram blocos de adobe reforçados com três tipos de fibras (Figura 6), são eles: bagaço de cana-de-açúcar, dendê e coco. Os autores analisaram propriedades físicas e mecânicas, durabilidade e determinaram o teor ideal de fibras. O estudo concluiu que a incorporação de fibras ao solo contribuiu na redução da densidade e na retração dos blocos de adobe além de aumentar a resistência à tração e compressão.

Figura 6- Blocos de adobe reforçados com fibra.



Fonte: DANSO *et al.* (2015)

Araya-letelier *et al.* (2020) analisaram a interferência de fibras de pena de frango que são compostas principalmente de queratina e se caracterizam devido a durabilidade em misturas de adobe. As propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade foram avaliadas. As frações volumétricas das fibras utilizadas foram 0,25%, 0,5% e 1%. Baseados nos resultados os autores concluíram que misturas com mais de 0,25% apresentam uma redução significativa na densidade aparente e nas rachaduras provocadas pela retração por secagem. O desempenho da erosão hídrica apresentou melhorias estatisticamente significativas, em

comparação com a mistura de adobe simples quando foram utilizadas dosagens de fibras de 0,5% ou mais.

As fibras comumente usadas como reforço do adobe são as de sisal, cânhamo, capim elefante, fibra de coco e fibra de bagaço de cana-de-açúcar (FREIRE; BERALDO, 2003). A disponibilidade local é um fator importante para na seleção das fibras, pois interfere no custo e nas questões ambientais como reaproveitamento dos resíduos locais.

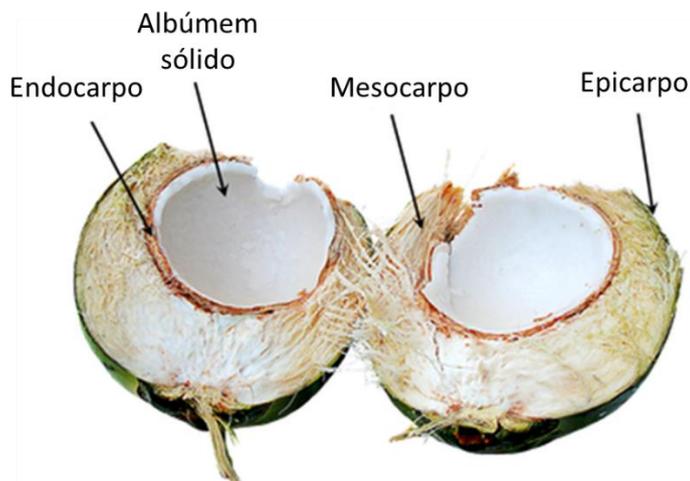
2.3 FIBRAS DE COCO

O Brasil ocupa a quinta colocação na produção de mundial de coco, com 1,7% de área cultivada e 3,8% da produção mundial (BRAINER,2018).

O coqueiro (*Cocos nucifera*) possui um tipo de fruto que é uma importante matéria-prima no setor alimentício e para fabricação de alguns produtos industrializados, este fruto pode ser aproveitado tanto verde como seco, *in natura* ou processado (MARTINS & JESUS JR.,2011;BRAINER,2018).

O coco é formado pelo epicarpo, mesocarpo, endocarpo e albúmem sólido (Figura 7). Para cada parte do coco pode-se atribuir várias aplicações, por exemplo: o mesocarpo gera produtos como a fibra e o pó que podem ser utilizados na fabricação de mantas, tapetes, barreira sonora e substrato na agricultura; o endocarpo pode ser utilizado como combustível lenhoso, trabalhos artesanais e ser transformado em carvão ativado e o albúmem é utilizado na produção de coco ralado, leite de coco, bebidas, óleos, etc (FONTENELE,2005).

Figura 7- Constituição do fruto do coqueiro.



Quando se tem uma produção voltada para produtos alimentícios, a casca do coco é considerada como um resíduo e poucas ações de reaproveitamento são implantadas. Cerca de 80% de do peso bruto do coco é destinada como lixo (ROSA et al.,2001).

Um resíduo com elevado potencial de ser reaproveitado da casca do coco são as fibras. As fibras de coco (Figura 8-a) comparada as outras fibras naturais são as mais utilizadas atualmente no desenvolvimento de tecnologias que buscam gerar um menor impacto ambiental, com uma resistência a tração variando de 69 a 200 MPa (SYED; NERELLA; MADDURU, 2020; WEARN; MONTAGNA; PASSADOR, 2020).

Para obtenção das fibras, Wiedman (2002) em seu trabalho sugere iniciar o processo esmagando as cascas (pode-se utilizar um martelo), pois a região do epicarpo é resistente e pode atrapalhar o processo de maceração, em seguida separar a parte fibrosa com uma lâmina no formato oval e imergi-las em água como o objetivo de desagregar as fibras. Após o processo de imersão é necessário realizar uma separação mecânicas com máquinas descortadoras e depois secá-las.

Em relação as propriedades físicas as fibras de coco absorvem de 130 a 180% de água e possuem uma massa específica entre 1180-1450 kg/m. (BENTUR & MINDNESS,2006).

Na Figura 8-b observa-se uma imagem do MEV mostrando a textura áspera da fibra de coco que contribui na aderência com o solo.

Figura 8- Fibras de coco: (a) fibras de coco natural;(b) imagem superfície.



Fonte: DANSO; MANU (2020).

As fibras de coco possuem comprimento variando de 15 a 33 cm, diâmetro de 0,05 a 0,4 mm e são formadas de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose é o principal constituinte e é responsável pela estabilidade e resistência das fibras (CASTILHOS, 2012; PASSOS, 2005).

DANSO *et al.* (2015b) utilizaram três tipos de fibras (coco, dendê e bagaço da cana-de-açúcar) incorporadas ao solo e averiguaram que após a aplicação de carga, os blocos foram divididos em dois, porém ainda estavam unidos pelas fibras (Figura 8). Indicando que não ocorreu rompimento abrupto e a carga se manteve por um tempo após o rompimento.

Figura 8- Adobe reforçado com fibra após aplicação de carga.



Fonte: DANSO *et al.*(2015b).

Adicionar fibras como reforço no adobe é uma proposta que além de proporcionar vantagens mecânicas é um tipo de material que possui baixa ou nenhuma toxicidade, fácil extração e baixo impacto quando comparado com resíduos industriais por exemplo (SANTOS; LIMA BESSA, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O plano experimental deste trabalho foi dividido em três etapas:

- Etapa 1: Solo;
- Etapa 2: Fibra de coco;
- Etapa 3: Adobe.

3.1 SOLO

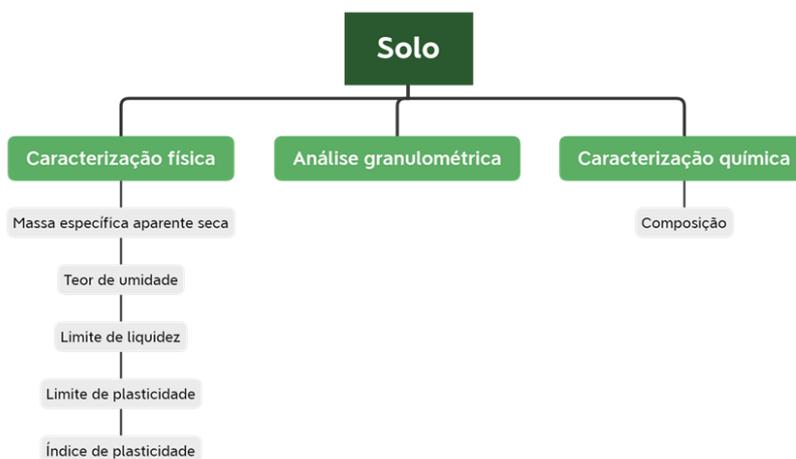
Utilizou-se um solo de uma obra de escavação de Jacarepaguá, bairro da zona oeste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 9). Os ensaios de caracterização física e granulometria foram realizados no Laboratório de Mecânica do Solo da UFF e composição química no NUMATS/UFRJ.

Figura 9- Solo utilizado na pesquisa.



Para a caracterização deste solo, foram realizados os ensaios descritos na Figura 10.

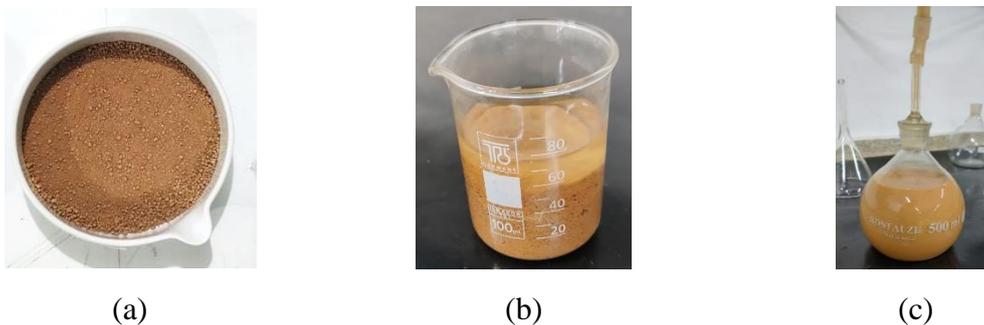
Figura 10- Fluxograma dos ensaios realizados no solo.



Para a realização da análise granulométrica, o solo foi preparado de acordo com a norma NBR 7181 (2018), onde a norma determina a análise por peneiramento e sedimentação (para distinção da parcela de silte e argila). Neste estudo o ensaio de sedimentação foi substituído uma análise por difração a laser, com o equipamento MasterSizer 2000, que proporciona a obtenção precisa dos tamanhos dos grãos até 0,0001 mm, utilizando uma técnica de espalhamento de luz, onde ocorre uma medição dos ângulos de difração de raio laser fazendo uma relação com os diâmetros das partículas.

O ensaio de massa específica aparente foi realizado seguindo a NBR 6458 (2016). Foram separadas 50g de solo, que ficou imersa em água destilada durante 24h (Figura 11-b), após este período o solo foi transferido por completo para o copo de dispersão e disperso por 15 minutos, em seguida a mostra foi transferida para o picnômetro (Figura 11-c), onde se aplicou o vácuo para a remoção total de ar. Após o término do ensaio pesou-se o conjunto (picnômetro + solo + água) e determinou-se a massa específica.

Figura 11- Solo utilizado na pesquisa.



Para o cálculo de teor de umidade o ensaio foi feito baseado na NBR 6457 (2016), foram separadas três amostras de 30g (Figura 12) em cápsulas de metálicas.

Figura 12- Solo utilizado na pesquisa.



Pesaram-se as cápsulas e o conjunto cápsula e solo previamente e o conjunto foi levado a estufa à temperatura de 105°C até constância de massa. Depois, o conjunto é pesado, a massa seca é registrada e calcula-se o teor de acordo com a Equação (1).

$$w(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

w: umidade do solo;

Mu: massa do solo in natura (g);

Ms: massa do solo seco (g).

O índice de plasticidade do solo é determinado através da diminuição do limite de liquidez que é encontrado pelo ensaio descrito na NBR 6459 (2017), pelo limite de plasticidade realizado com base na NBR 7180 (2016).

Para o ensaio de limite de plasticidade é necessário 50g de solo, uma placa de vidro e estufa. O solo utilizado foi o passante na peneira de 0,42 mm, este solo foi misturado com água destilada em um recipiente de porcelana até a obtenção de uma mistura homogênea. Em seguida, retira-se 10g desta amostra e forma-se uma pequena bola que é rolada sobre a placa de vidro até formar um cilindro de 3mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, quando o cilindro se fragmentar com estas dimensões, a amostra é transferida para um recipiente (Figura 13-a), pesada e levada a estufa, para obtenção da umidade.

O preparo do solo para determinação do limite de liquidez é semelhante a realizada para determinar o limite de plasticidade, porém neste ensaio foi necessário a utilização do aparelho Casagrande e 200g de solo. Após o preparo do solo, uma parte é transferida para o aparelho de Casagrande, após o preenchimento do equipamento, utiliza-se o cinzel para dividir o material (Figura 13-b) e aciona o aparelho para realizar os golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam. Após este processo, retirou-se parte do solo para determinação de umidade e repetiu-se este ensaio por mais 2 vezes, para obtenção de misturas que cubram a faixa de 15 a 35 golpes. Com os resultados obtidos, traçou-se um gráfico de número de golpes *versus* teor de umidade e o limite de liquidez do solo é o teor de umidade correspondente a 25 golpes.

Figura 13- Ensaios para determinação do índice de plasticidade: (a) ensaio de determinação do limite de plasticidade e (b) ensaio de determinação do limite de liquidez.



(a)



(b)

A composição química foi determinada através do ensaio de fluorescência de raios-X (FRX) modelo EDX-720 da Shimadzu, localizado no NUMATS/UFRJ/COPPE.

3.2 FIBRAS DE COCO

As fibras de coco utilizadas neste trabalho são originárias da empresa Coco Verde, localizada em Duque de Caxias, Rio de Janeiro. As fibras foram adquiridas conforme ilustrado na Figura 14-a e em seguida trituradas em um triturador industrial para redução do comprimento (Figura 14-b) e contribuir com o processo de produção do adobe.

Figura 14-Fibras de coco: (a) fibras antes do processo de trituração e (b) fibras após o processo de trituração.



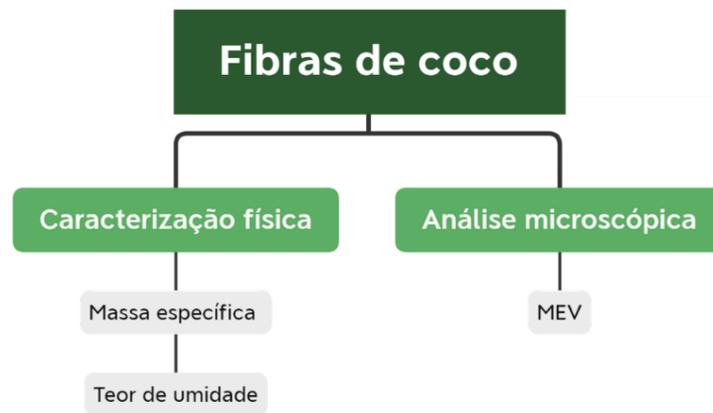
(a)



(b)

Buscando entender melhor as contribuições que as fibras podem trazer ao adobe em relação às propriedades mecânicas, foram analisados diferentes teores de fibras de coco, são eles: 1% e 2%. Os ensaios realizados nas fibras de coco, estão descritos na Figura 15.

Figura 15- Fluxograma dos ensaios realizados nas fibras de coco.



O teor de umidade da fibra de coco foi determinado pela norma NBR 9939/2011. Foram separadas três amostras de 30 g e distribuídas em bandejas metálicas (Figura 16) e levadas à estufa com temperatura de 105°C até atingir a massa constante.

Figura 16- Amostras de fibras de coco utilizadas para determinação do teor de umidade.



A massa específica, baseou-se na NBR 52/2009, onde inicialmente as fibras ficaram submersas em água por 24h, em seguida foram expostas ao ar para secar superficialmente e dispostas em frascos com água até a marca de 500ml (Figura 17), os frascos ficaram em repouso em um banho de 21°C durante 1 hora, completou-se de água os frascos e o conjunto foram pesados e registrou-se a massa total. Por fim as amostras foram retiradas e colocadas em estufas para secar a 105°C até constância de massa.

Figura 17- Frascos com fibras de coco para determinação da massa específica.

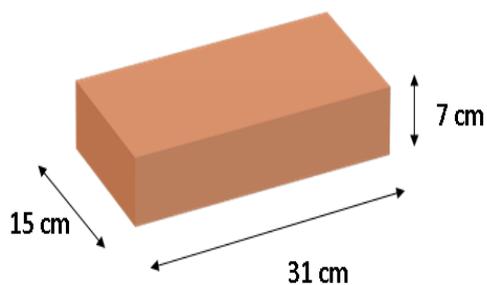


3.3 ADOBE

Para a produção do adobe as seguintes etapas foram seguidas:

1. Produção das formas de madeira (Figura 18): as dimensões da forma de adobe foram baseadas nos critérios estabelecidos pela NBR 16814 (2020), são elas: 7 x 15 x 31 cm (altura x largura x comprimento).

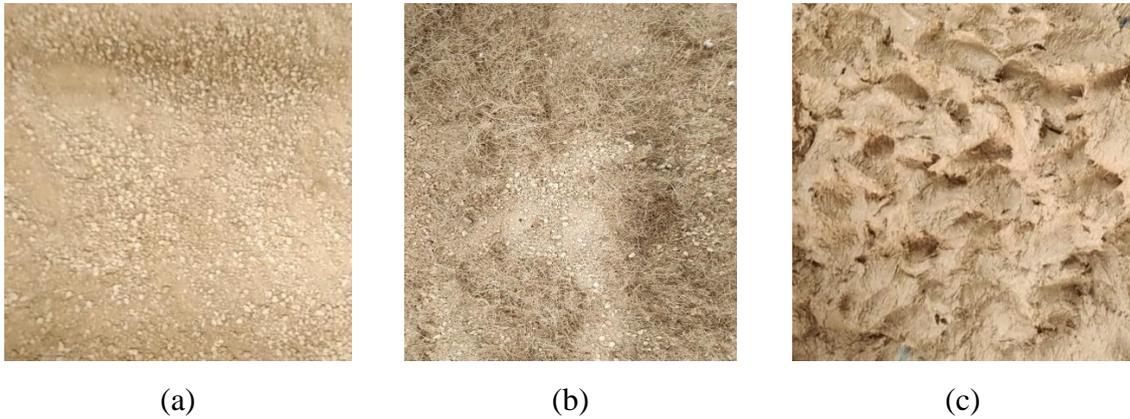
Figura 18- Dimensões do adobe e forma.



2. Produção da mistura: foram produzidas três misturas diferentes, uma mistura referência com solo e água e outras duas com adição de 1% e 2% de fibra em relação a massa de solo, a relação água/solo foi fixada em 0,35.

Para a produção, com o solo destorroado e homogeneizado (Figura 19-a), as fibras foram adicionadas (Figura 19-b) e em seguida a água. O processo de amassamento (Figura 19-c) terminou após a obtenção de uma massa homogênea, plástica e não aderente às mãos.

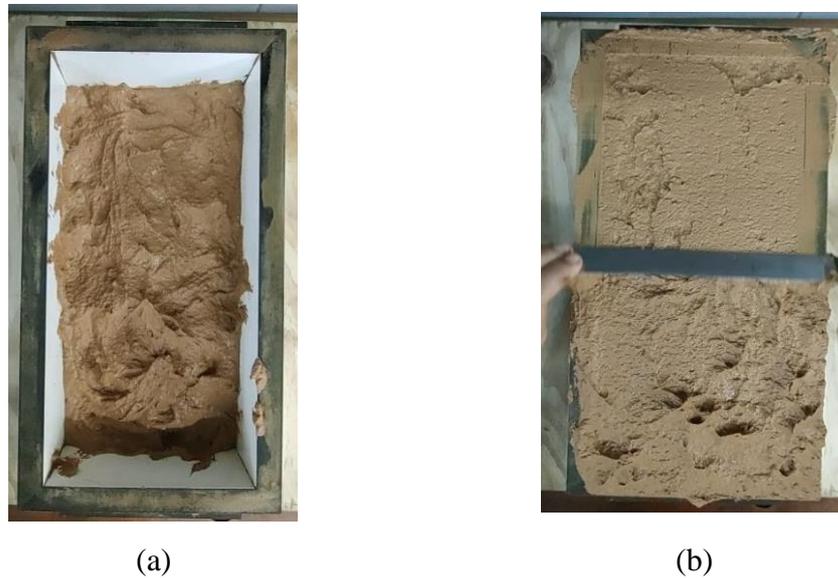
Figura 19- Produção do adobe: (a) solo homogeneizado e destorroado;(b) adição das fibras de coco e (c) processo de amassamento após adição da água.



3. Moldagem e desmoldagem: com a mistura pronta, preencheu-se completamente o molde (Figura 20-a), nivelou-se a superfície (Figura 20-b) e sobre uma superfície nivelada desmoldou-se o adobe (Figura 20-c).

4.

Figura 20 - Produção de moldagem do adobe: (a) preenchimento da forma;(b) nivelamento da mistura e (c) processo de desmoldagem do bloco.





(c)

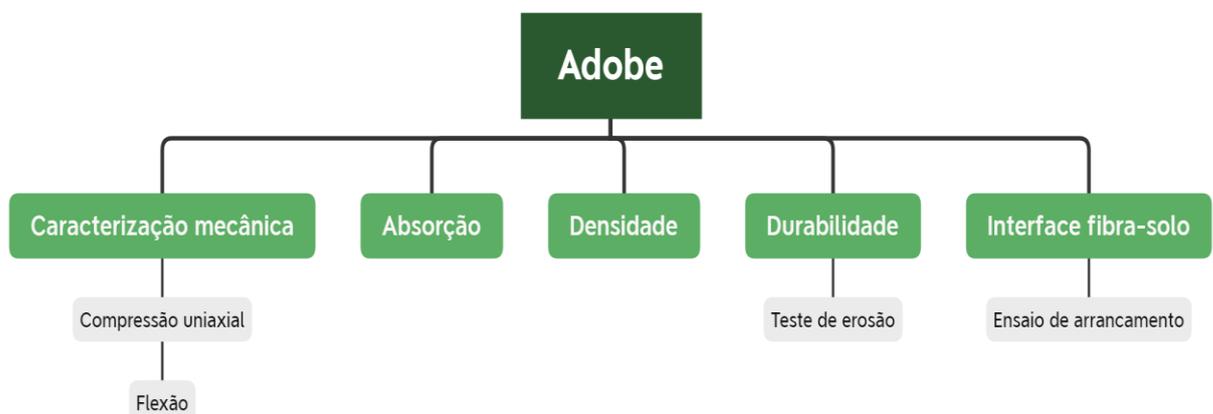
5. Secagem: o tempo de secagem foi de 20 dias considerando uma secagem uniforme, ou seja, em todas as faces do bloco (Figura 21).

Figura 21- Blocos pós desmoldagem, expostos ao ar para o processo de secagem.



Os ensaios que foram realizados nesta etapa do trabalho estão descritos na Figura 22.

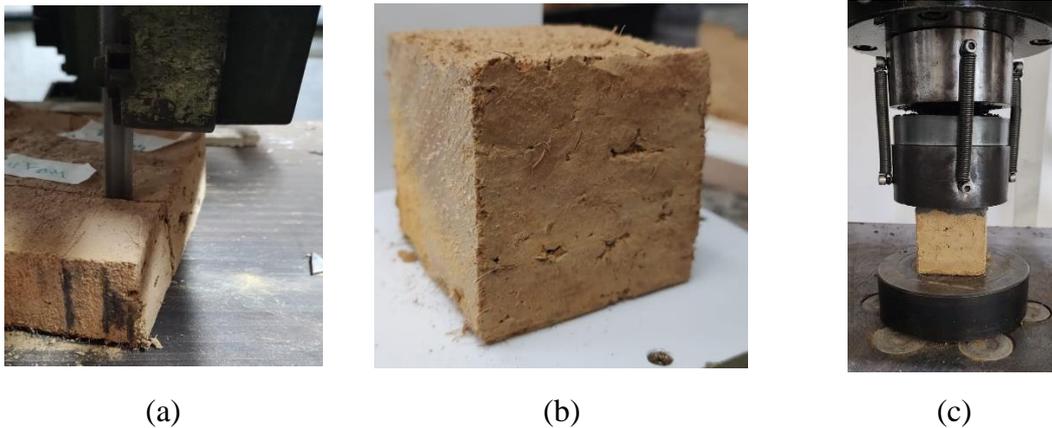
Figura 22- Fluxograma dos ensaios realizados nos blocos de adobe.



O ensaio de compressão uniaxial foi realizado de acordo com a NBR 16817 (2020), em uma Máquina Universal de Ensaios, com capacidade de carga de 1000kN em uma velocidade

de 0,30 MPa/min. De cada bloco de adobe, foram cortados dois blocos de prova cúbicos de 6 x 6 cm em uma serra de fita (Figura 23-a e b). Para regularizar as faces, foi realizado um capeamento de no máximo 3mm de espessura, com cimento e areia fina no traço de 1:2 em massa. A montagem dos ensaios está ilustrada na Figura 23-c.

Figura 23- Ensaio de resistência a compressão uniaxial: (a) corte das amostras; (b) amostras após o corte nas dimensões 6 x 6 cm e (c) ensaio de compressão uniaxial do adobe.



O ensaio de tração na flexão foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio *Shimadzu* com capacidade de carregamento de 100kN. A velocidade usada no ensaio foi 0,3 mm/min. Os corpos-de-prova prismáticos de (40 x 40 x 160 mm) foram posicionados para ensaio de flexão em três pontos com a distância entre apoios de 120 mm (Figura 24).

Figura 24- Ensaio de flexão três pontos.



Para o cálculo da resistência a flexão, utilizou-se a Equação (2), de acordo com o trabalho de Araya-letelier *et al.* (2019).

$$\tau_f = \frac{3PL}{2BH^2} \quad (2)$$

Onde:

P: carga máxima aplicada (N);
L: distância entre os apoios (mm);
B: largura da amostra (mm);
H: altura da amostra (mm)

A densidade dos blocos foi determinada de acordo a BS EN 771:1 (2003). De acordo com a norma os corpos-de-prova foram colocados em estufas de 110 °C por 48 h até constante de massa e pesados em seguida. As dimensões são coletadas e calcula-se o volume. A densidade é calculada através da Equação 3.

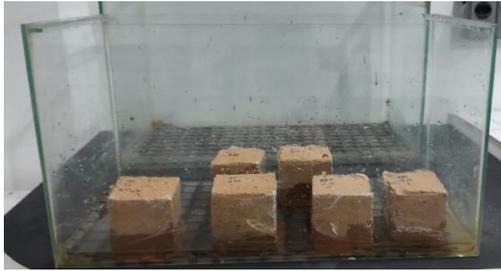
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde:

ρ = densidade (kg / m³);
m = massa (kg);
V = volume (m³).

Para a determinação da absorção de água por capilaridade, os procedimentos foram baseados na norma NBR 9779 (2012). Os corpos-de-prova utilizados foram colocados em uma estufa a 105°C por 24 horas e após este processo foram resfriados à temperatura ambiente para determinação das massas. Em seguida, foram envolvidos com plástico filme, deixando uma lâmina de 5mm sem plástico, pois é a região que ficou em contato direto com a água. Os corpos-de-prova foram imersos em uma lâmina de água de 5mm, disposta em um recipiente de vidro (Figura 25) e durante a realização do ensaio a massa dos corpos-de-prova foram registrados nos horários de 3, 6, 24, 48 e 72 horas.

Figura 25- Ensaio de absorção capilar.



O ensaio de determinação da erosão por gotejamento, foi baseado na norma NBR 17014 (2022). O ensaio é realizado conforme o esquema da Figura 26 onde gotas de chuva são simuladas para avaliar o quanto os blocos de adobe resistem a erosão hídrica. Neste ensaio o bloco é colocado em uma superfície com uma inclinação de 1:2, de modo que o centro de gravidade da maior face esteja no eixo de aplicação do gotejamento de água. Um recipiente com 100 ml de água é posicionado a 400 mm de altura do bloco. A água é gotejada sobre o bloco por aproximadamente 30 minutos e após este processo a profundidade do orifício é medida por paquímetro e régua. Dependendo da profundidade o a mistura de adobe pode ser classificada como erosiva, muito erosiva e falha.

Figura 26- Montagem do ensaio de erosão.



A análise da interface da fibra-solo foi realizada através do ensaio de arrancamento (*pullout test*), onde a fibra é arrancada do solo e os dados de força e deslocamento são

coletados, baseada no trabalho de Mendonça (2018). Neste ensaio foi utilizada uma máquina chamada *Tytron 250*, com célula de carga de 50N, a velocidade do ensaio foi de 0,4 mm/min e as amostras consistiram em uma fibra de coco inserida em um tubo PVC preenchido de solo, o comprimento de embebedimento foi de 10 mm, na Figura 27 é possível observar as amostras e a montagem do ensaio.

Figura 27- Ensaio de arrancamento.



Para o cálculo da tensão máxima ($\tau_{m\acute{a}x}$), foi calculado pela Equação (4).

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{l_f P_e}$$

Onde:

(4)

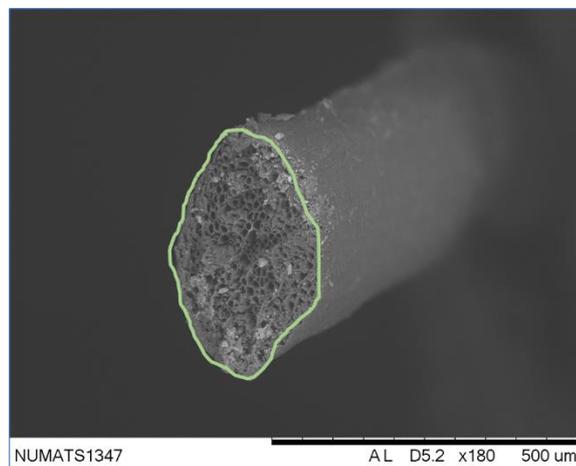
$P_{m\acute{a}x}$: carga máxima durante o arrancamento;

l_f : comprimento de embebedimento da fibra;

P_e : perímetro da fibra.

Para obtenção do perímetro da fibra, utilizou-se imagens do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) e o *software Image J*, conforme Figura 28.

Figura 28- Região analisada no Image J para determinação do perímetro.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SOLO

4.1.1 Análise granulométrica

A Figura 29 apresenta a curva de distribuição granulométrica do solo, onde observa-se o diâmetro dos grãos e as porcentagens retidas e passantes de solo, de acordo com a distribuição das peneiras descritas na NBR 7181 (2016).

Figura 29- Curva de distribuição granulométrica do solo.

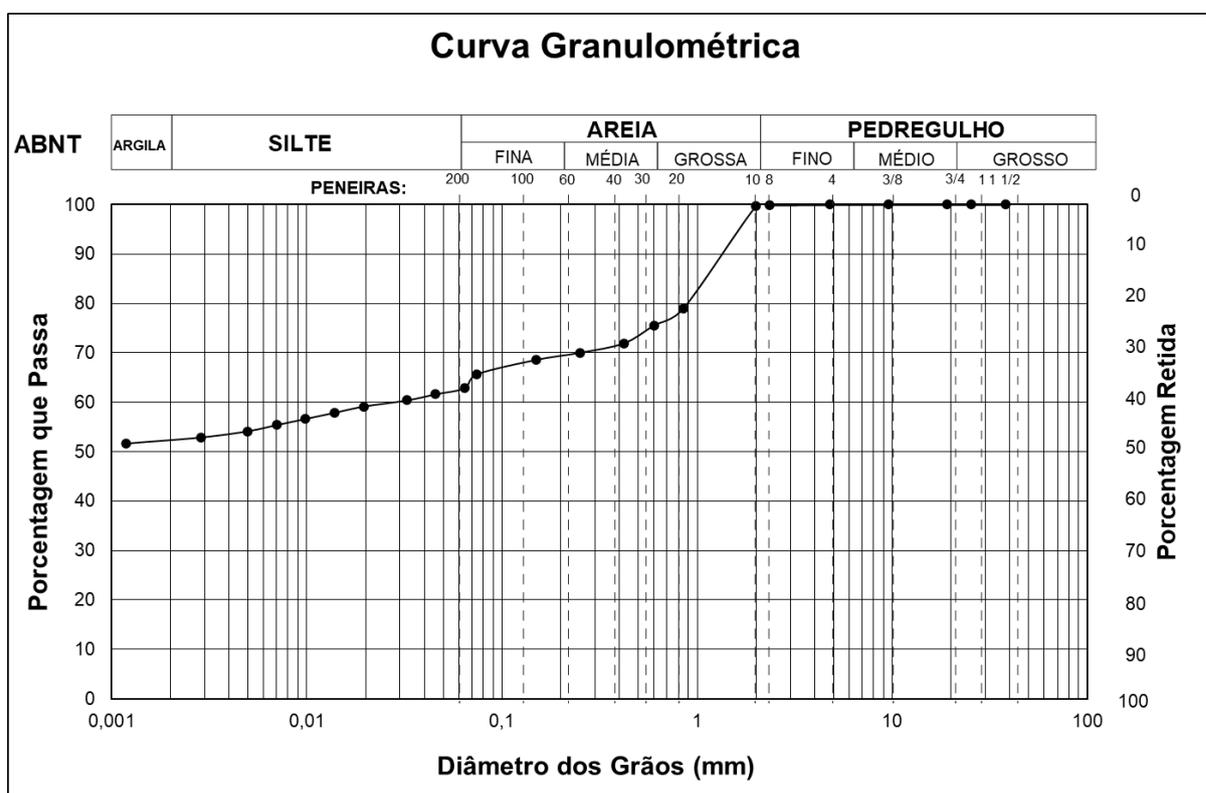


Tabela 1- Composição granulométrica do solo.

Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
1%	24%	6%	7%	10%	42%

A composição granulométrica do solo (Tabela 1), apresentou uma maior concentração de argila (52%), seguida da areia (37%) e por fim o silte (10%). De acordo com a NBR16184 (2020) a composição granulométrica deve atender preferencialmente os seguintes parâmetros: areia (entre 45% e 65%); silte (até 30% e argila (entre 25% e 35%).

Analisando a distribuição granulométrica do solo selecionado para este estudo, os teores de argila e areia não se enquadram nos parâmetros e de acordo com a norma, neste caso a norma indica a realização de ensaios de comportamento físico e mecânico dos adobes produzidos para averiguar se atendem as especificações de desempenho.

4.1.2 Massa específica aparente, teor de umidade e limites de consistência

Na Tabela 2 estão descritas as propriedades físicas do solo.

Tabela 2- Propriedades físicas do solo e coeficiente de variação entre parênteses.

Massa específica aparente	Limite de Plasticidade	Limite de Liquidez	Índice de Plasticidade	Teor de umidade
2,37 g/cm ³ (2,19)	31,65% (4,50)	56,25% (6,12)	24,75%	3,11% (0,80)

O teor de umidade médio do solo no momento do ensaio foi de 3,11% e a massa específica aparente de 2,37 g/cm³. Analisando os limites de consistência é importante ressaltar que esta propriedade está relacionada ao estado físico em que o solo se encontra na presença de umidade e se dividem em quatro grupos: líquido (solo com aparência fluida), plástico (solo moldável), semi-sólido (solo retrai ao secar) e sólido (solo não sofre mais variação volumétrica) (SILVA,2022).

O Limite de Liquidez (LL) é a passagem do estado líquido para o estado plástico e Limite de Plasticidade (LP) do estado plástico para o semi-sólido. O Índice de Plasticidade (IP) fisicamente representa a quantidade de água necessária para acrescentar no solo para que este passe do estado plástico ao líquido. Segundo Burmister (1949), um solo com IP entre 20-40 , que é o caso do solo deste trabalho (24,75%), é considerado um solo com plasticidade alta, característica de solos mais argilosos.

4.1.3 Composição química

A Tabela 3 apresenta a composição química do solo na forma de óxidos e percebe-se que os maiores teores são de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3). Mason & Moore (1982) esses elementos químicos, depois do oxigênio são os mais abundantes na crosta terrestre e estes teores podem variar as porcentagens entre dependendo do local.

Tabela 3- Composição química do solo.

Composto	Teor
SiO_2	41,13%
Al_2O_3	38,43%
Fe_2O_3	15,78%
SO_3	1,66%
TiO_2	1,55%
BaO	0,66%
K_2O	0,26%
Outros	0,53%

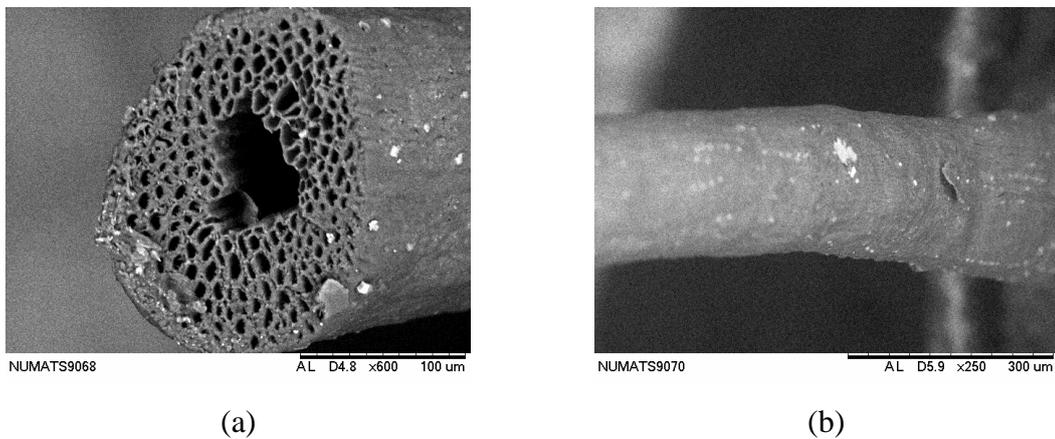
4.2 FIBRA DE COCO

Através dos ensaios de caracterização descritos na metodologia, determinou-se a massa específica e o teor de umidade das fibras de coco: $1,06 \text{ g/cm}^3$ (8,4) e 8,77%(4,1).

As fibras vegetais em geral não possuem uma seção transversal definida e as dimensões podem variar ao longo do comprimento (RIBEIRO,2021). A Figura 30-a apresenta uma imagem da seção transversal da fibra de coco e percebe-se um formato aproximadamente circular. As fibras de coco apresentam um número significativo de fibrocélulas e suas paredes celulares são mais finas quando comparadas com outras fibras vegetais como sisal, juta e curauá (PEREIRA,2012).

Na Figura 30-b é possível analisar a superfície externa da fibra e percebe-se uma leve rugosidade que segundo Nunes et al.(2022), devido à sua origem vegetal e aos processos de extração pode ser devido à presença de impurezas, gorduras e resíduos orgânicos aderidos.

Figura 30- Imagens de MEV das fibras de coco: (a) seção transversal e (b) superfície externa.

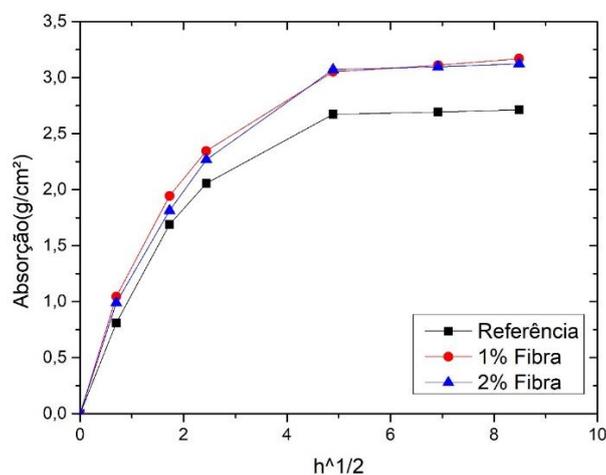


4.3 ADOBE

4.3.1 Densidade aparente e absorção capilar

Os valores de densidade aparente dos blocos de adobe (referência, 1% de fibra e 2% de fibra) e os respectivos coeficientes de variação foram de : 1790 kg/m³ (4,1), 1715 kg/m³ (3,6) e 1675 kg/m³ (2,4). Como as fibras de coco são muito leves (densidade 1,06 g/cm³), quando incorporadas na matriz de solo há uma redução nas densidades quando comparadas com a mistura referência, esta redução está na faixa de 4,20% para a mistura com 1% de fibras e 6,40% para a mistura com 2% de fibras. Além disso, durante o processo de mistura, as fibras absorvem água e se expandem e após o processo de secagem as fibras retraem, proporcionando esses vazios (GHAVAMI et al. 1999; DANSO et al. 2015).

Figura 31- Curvas de absorção por capilaridade dos blocos de adobe.



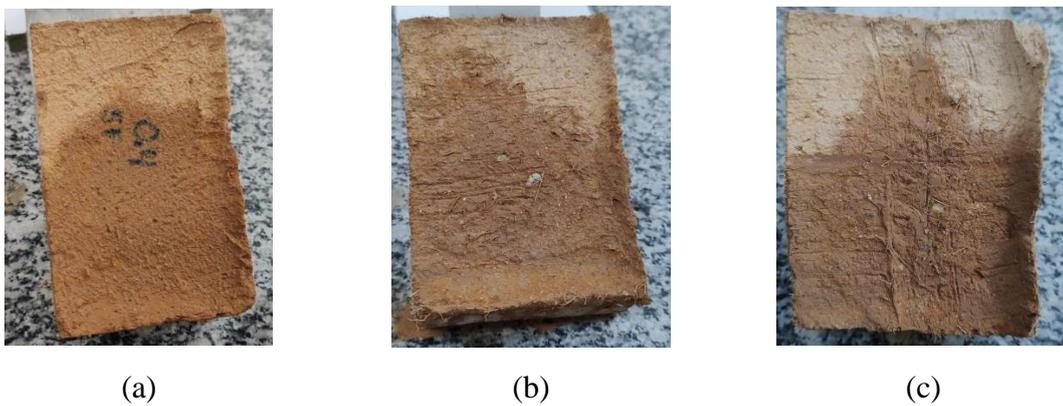
Nos blocos de adobe reforçados com fibras, nota-se um aumento na absorção de água por capilaridade. Este aumento é atribuído a água absorvida pela celulose das fibras e aos vazios que as fibras criam nos blocos, permitindo que mais água seja absorvida.

4.3.2 Ensaio de erosão por gotejamento

O objetivo deste ensaio foi determinar a erosão por gotejamento, através da análise da profundidade da erosão e da penetração da água, pois os blocos de adobe dependendo de onde for aplicado podem estar expostos as chuvas.

Analisando as imagens resultantes do ensaio (Figura 32), percebeu-se que não houve nenhuma mudança significativa na superfície dos blocos, inclusive norma NBR 17014 (2022) recomenda que 100 ml de água goteje na face do bloco de 20 a 60 minutos e foi testado o dobro de água e conseqüentemente o tempo também dobrou, para que a análise de um cenário mais prejudicial fosse simulada e não se observou nenhum impacto significativo.

Figura 32- Amostras após o ensaio de erosão hídrica: (a) referência; (b) 1% de fibra e (c) 2% de fibra.



Analisando este tipo de ensaio em outros estudos da literatura, como por exemplo o de Danso *et al.* (2015) observou-se que utilizando jatos de água com pressões maiores a durabilidade dos blocos é mais afetada, inclusive os autores chegaram a conclusão que os blocos reforçados com fibras protegem as partículas de solo de serem arrastadas, diminuindo o efeito da erosão.

4.3.3 Ensaio de arrancamento

Naaman *et al.*(1991) descrevem que a aderência entre fibra-matriz é um resultado da ação combinada de muitos elementos, são eles: adesão físico-química entre a fibra e a matriz, ancoragem e o atrito. Para análise da aderência fibra-solo, uma fibra de coco foi inserida na matriz e submetida a uma força de tração, conforme a fibra foi se deslocando obteve-se uma curva força *versus* deslocamento da fibra (Figura 33).

Este comportamento é dividido em quatro fases (RIBEIRO,2021):

Fase I- nesta fase inicial o comportamento é linear até ponto que a tensão de cisalhamento superficial resulte na quebra da adesão química entre a fibra e a matriz, neste ponto tem-se a *Pad* (carga adesional). Analisando a curva nota-se que no caso da fibra de coco com a matriz de solo esta quebra da adesão química ocorreu com 1,2 N.

Fase II- nesta fase o deslocamento não é mais linear, acontece a decoesão parcial da interface fibra-matriz até a força de arrancamento atingir o valor máximo *Pmax* (2N). Com esta carga foi possível calcular a tensão adesional (τ_{max}), que foi de 0,28 MPa, conforme Tabela 4.

Fase III- esta fase pós pico, a fibra foi arrancada de forma gradual de dentro da matriz, reduzindo a força. A fissura da interface fibra -matriz que se iniciou na fase II, se propaga por toda a extensão da fibra, caracterizada pelo ponto *Pu* (0,88N).

Fase IV- é caracterizada pelo arrancamento total da fibra, ao longo de seu comprimento de embebedimento.

Figura 33- Curva típica força x deslocamento da fibra do ensaio de arrancamento.

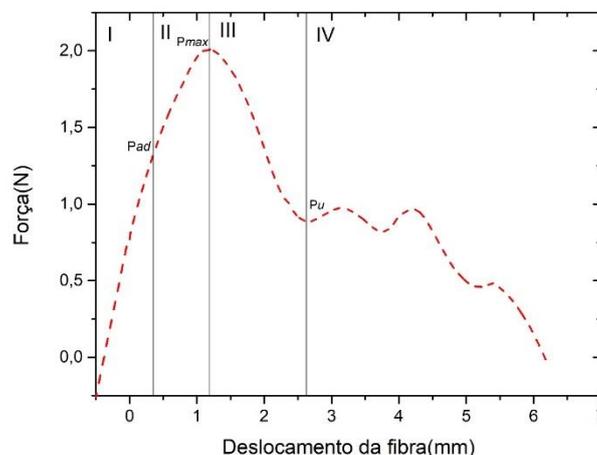


Tabela 4- Resultados médios e coeficiente de variação do ensaio de arrancamento da fibra de coco.

Perímetro (μm)	P_{ad} (kN)	P_{max} (kN)	P_u (kN)	τ_{max} (MPa)
1027,92 (9,4)	1,20 (8,7)	2,00 (5,6)	0,88 (7,8)	0,28 (3,2)

4.3.4 Ensaio de compressão uniaxial

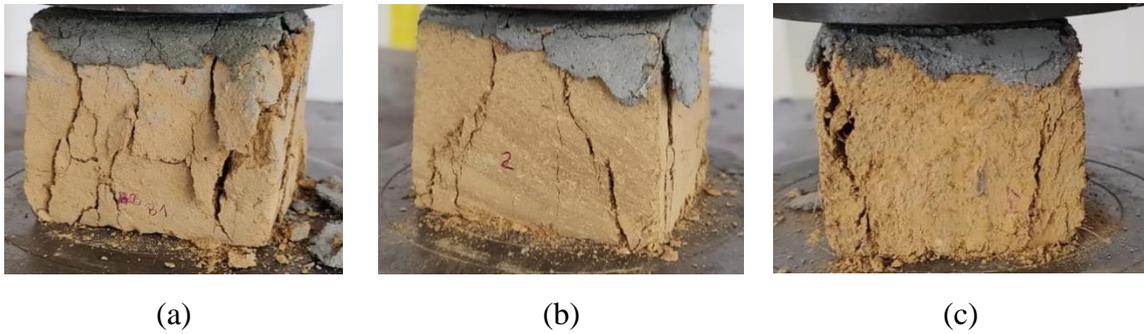
De acordo com a NBR 16814 (2020) a resistência à compressão individual do adobe deve ser $\geq 1,5$ MP. Todas as misturas produzidas e ensaiadas neste trabalho ficaram acima de 1,5 MPa (Tabela 5), logo podem ser utilizados em construções. Percebe-se que conforme aumenta o teor de fibras a resistência a compressão reduz, este fenômeno está relacionado a porosidade do material, que pode causar microfissuras adicionais devidos ao descolamento de fibras e formação de fissuras na interface fibra-matriz (RIBEIRO,2021; LI,1992).

Tabela 5 – Resultados médios e coeficiente de variação do ensaio de compressão uniaxial.

Misturas	f_{ca} (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
Referência	2,19	8,37
1% de fibra	2,05	6,5
2% de fibra	1,95	9,5

Em relação ao comportamento dos adobes durante a ruptura, importante ressaltar que este comportamento se inicia pela formação de microfissuras e quando as fibras são adicionadas há um retardo na propagação das fissuras impedindo uma falha catastrófica (RIBEIRO,2021), as Figuras 34-b e c representam este tipo de comportamento, já a Figura 34-a mostra que a referência formou um mapa de fissuração contínuo, ocorrendo logo em seguida em rompimento abrupto

Figura 34- Amostras rompidas após ensaio de compressão uniaxial: (a) referência;(b) 1% de fibra e (c) 2% de fibra.

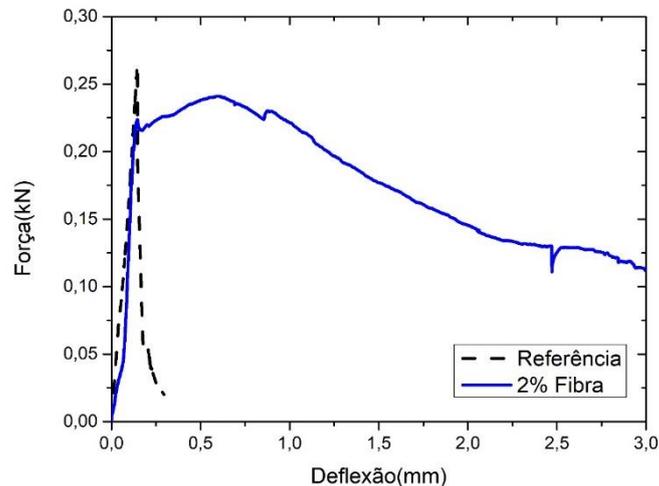


4.3.5 Ensaio de flexão 3 pontos

Para o ensaio de flexão foram ensaiadas somente os blocos de adobe referência e o com 2% de fibra, por ser o que possui a maior fração volumétrica de fibras.

Os valores encontrados para as resistências a flexão (Figura 36) para o bloco de adobe referência foi e 0,61 MPa (6,8) e para as amostras com 2% de fibra a resistência foi de aproximadamente 0,56 MPa (9,4).

Figura 36- Comportamento carga-deslocamento dos adobes.



Na curva da Figura 36 evidencia-se que a curva da amostra referência apresenta inicialmente um comportamento linear e quando há o surgimento da primeira fissura (pico) há uma redução abrupta da carga, classificando este comportamento como frágil. Na Figura 37 é possível visualizar a abertura de fissura característica dessas amostras.

A curva representativa das amostras com 2% de fibra inicial com um trecho linear até a primeira fissura, com o início da microfissuração as fibras que estão dispostas de maneira aleatória limitam esta propagação melhorando a resistência e ductilidade. O processo de ruptura se caracteriza pelo arrancamento das fibras até a abertura de uma única fissura (Figura 37).

Figura 37- Amostras de adobe após o ensaio de flexão.



5 CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas por este estudo podem ser resumidas da seguinte forma:

- Com a incorporação as fibras houve redução das densidades aparentes dos blocos de adobe;
- As fibras quando inseridas no processo de produção do adobe absorvem uma certa quantidade de água da mistura, o que proporciona um processo de expansão de sua estrutura, conforme o processo de secagem do bloco ocorre ao longo do tempo, essas fibras sofrem um processo de retração e a interface fibra-matriz sofre microfissurações que acabam proporcionando passagens para uma maior quantidade de água penetrar, o que acarretou em uma maior absorção capilar.
- Os adobes não apresentaram nenhum dano significativo relacionado a erosão hídrica quando expostos ao gotejamento de água.
- Todos os blocos ultrapassaram 1,5 MPa quando submetidos a cargas de compressão, confirmando o potencial de aplicação do adobe e observou-se que as fibras

proporcionaram ganhos mecânicos em relação a ruptura e estabilização dos blocos não só na compressão como na flexão.

- Aplicar as fibras de coco em construções com terra em específico o adobe é uma possibilidade segura, de baixo custo e que demanda baixa tecnologia, além de contribuir com o meio ambiente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFORDABLE ADOBE. **Affordable Adobe**. Disponível em: <http://www.affordableadobe.com/photo_gallery.php?collection=cp>. Acesso em: 29 out. 2020.

ARAYA-LETELIER, G. et al. Experimental mechanical-damage assessment of earthen mixes reinforced with micro polypropylene fibers. **Construction and Building Materials**, v. 198, p. 762-776, 2019.

ARAYA-LETELIER, G. et al. Waste-based natural fiber reinforcement of adobe mixtures: Physical, mechanical, damage and durability performance assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 122806, 2020.

ARCHDAILY BRASIL. **Adobe: o material reciclável mais sustentável**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/945393/adobe-o-material-reciclavel-mais-sustentavel>>. Acesso em: 29 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16814 -Adobe-Requisitos e métodos de ensaio**, 2020.

BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. **Fiber-reinforced cementitious composites**. Crc Press, 2006.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. **Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional**. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 771-1: Specification for masonry units–Part 1: Clay masonry units.**, 2003.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 772-11: Methods of test for masonry units.**, 2011.

BURMISTER, D. M. Principles and techniques of soil identification. In: **Proceedings of the Highway Research Board**. [S.l.: s.n.], p.402,1949.

CASTILHOS, L. F. F. Aproveitamento da fibra de coco. **Serviço Brasileiro de Resposta Técnica**, p. 29, 2012.

CORDEIRO, C. C. M. et al. Thermophysical characterization of lateritic soil for manufacturing rammed earth walls. **Revista Materia**, v. 25, n. 1, 2020.

COSTA, Heloína Nogueira da et al. Avaliação de tijolos de adobe com adição de cinzas e fibras do coco. 2014.

DANSO, H. et al. Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibers. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 797–809, 2015a.

DANSO, H. et al. Effect of fiber aspect ratio on mechanical properties of soil building blocks. **Construction and Building Materials**, v. 83, p. 314–319, 2015b.

DANSO, H. **Use of Agricultural Waste Fibres as Enhancement of Soil Blocks for Low-Cost Housing in Ghana**. [s.l: s.n.].

DANSO, H.; MANU, D. Influence of coconut fibers and lime on the properties of soil-cement mortar. **Case Studies in Construction Materials**, v. 12, p. e00316, 2020.

DE, D. et al. **A TÉCNICA DO PAU-A-PIQUE: subsídios para a sua preservação**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA FACULDADE DE ARQUITETURA PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2006.

FIGUEIREDO, A. *et al.* Seismic retrofitting solution of an adobe masonry wall. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, v. 46, n. 1–2, p. 203–219, 2013.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. [s.l.] Editora UNICAMP, 2003.

FONTENELE, Raimundo Eduardo Silveira; AGROINDUSTRIAS, Cadeias. **Cultura do coco no Brasil: caracterização do mercado atual e perspectivas futuras**. In: Congresso da Sober. 2005. p. 20-23.

GHAVAMI, Khosrow; TOLEDO FILHO, Romildo D.; BARBOSA, Normando P. **Behaviour of composite soil reinforced with natural fibers**. Cement and Concrete Composites, v. 21, n. 1, p. 39-48, 1999.

JALALI, S.; EIRES, R. Inovações científicas de construção em terra crua. **Conferência Internacional - Angola: Ensino, Investigação e Desenvolvimento**, p. 7, 2008.

LI, Victor C. **A simplified micromechanical model of compressive strength of fiber-reinforced cementitious composites**. Cement and Concrete Composites, v. 14, n. 2, p. 131-141, 1992.

MARTINS, Carlos Roberto; DE JESUS JÚNIOR, L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E), 2011.

MASON, B.; MOORE, C.B. **Principles of geochemistry**. 4.ed. New York, John Wiley. 344p. 1982

MENDONÇA, Y. G. DOS S. **Dosagem Micromecânica De Compósitos Cimentícios Reforçados Com Fibras De Juta**. [s.l: s.n.].

NAAMAN, Antoine E. et al. **Fiber pullout and bond slip**. I: Analytical study. Journal of structural engineering, v. 117, n. 9, p. 2769-2790, 1991.

NUNES, João Vitor da Silveira et al. **Caracterização mecânica e morfológica de fibras de coco tratadas superficialmente para utilização como reforço em polímeros**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, 2022.

NZA 4298. New Zealand Standard: Materials and workmanship for earth buildings (NZS 4298: 1998). n. 1, 1998.

PASSOS, P. R. DE A. Destinação Sustentável de Cascas de Coco (Cocos nucifera) Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas. **Coppe/Ufrj**, p. 166p, 2005.

PEREIRA, Thatiana Vitorino Castro et al. **Investigação da influência morfológica via análise de imagens na resistência à tração de fibras naturais**. In: Congresso Anual da ABM, ABM WEEK-67, Rio de Janeiro, Brasil. 2012. p. 31-03.

PISANI, M. A. J.; CANTEIRO, F. Taipa de mão: história e contemporaneidade. **Aedificandi Revista de Arquitetura e Construção (especial)**, v. 1, n. 2, p. 21, 2006.

RIBEIRO, Daniel Vêras. **Princípios da Ciência dos Materiais Cimentícios: Produção, Reações, Aplicações e Avanços Tecnológicos**. Editora Appris, 2021.

ROSA, M. de F. et al. **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. 2001.

SANTOS, D. P.; LIMA BESSA, S. A. O Uso Do Adobe No Brasil: Uma Revisão De Literatura. **MIX Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 53–66, 2020.

SILVA, Renan Wender Gomes da. Correlações para identificação prévia do teor de umidade ótimo de solos brasileiros. 2022. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SYED, H.; NERELLA, R.; MADDURU, S. R. C. Role of coconut coir fiber in concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 27, p. 1104–1110, 2020.

TAIPAL. **Taipal**. Disponível em: <<http://taipal.com.br/>>. Acesso em: 29 out. 2020.

TORGAL, F.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos Materiais de Construção**. TecMinho ed. [s.l.] 2010, 2010.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Construção em Terra: o passado, o presente e o futuro Arte & Construção**, 2009.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes.

Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020.

WIEDMAN, Guilherme Alexandre. **Fibra de coco e resinas de origem vegetal para produção de componentes de mobiliário e da construção civil**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.