

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRA DE COCO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

Anne Cledna Santos Celestino<sup>1</sup>

Danúbia da Cunha Mendonça<sup>2</sup>

Anderson da Conceição Santos Sobral<sup>3</sup>

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

A utilização da fibra para melhorar o desempenho mecânico do solo é uma técnica relativamente nova e de bastante crescimento devido ter se mostrado muito eficiente em muitos experimentos. O presente trabalho buscou analisar a influência da adição de fibras de coco (resíduo proveniente da água de coco) no índice de vazios de um solo. O solo foi coletado no Bairro Lamarão, região metropolitana de Aracaju e caracterizado como areia argilosa. A fibra de coco foi obtida no Mercado Central de Aracaju, com diâmetros variados, foram cortadas no tamanho aproximadamente de 25 mm e impermeabilizadas com piche líquido para evitar a ação da umidade. Os ensaios realizados foram os de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos, sendo estes para caracterizar o solo e determinar suas propriedades. O ensaio de compactação (Ensaio Normal de Proctor) foi realizado com amostras compactadas na densidade máxima e umidade ótima, e o ensaio de compressão axial confinada para avaliar o adensamento em relação ao índice de vazios do solo. Os teores de fibras adicionadas foram de 1% e 2% já impermeabilizadas. Observou-se que no ensaio de compactação o aumento do teor de fibra resultou na redução da densidade seca máxima e variação da umidade ótima e no ensaio de compressão a adição de fibras de coco elevou a compressibilidade e aumentou o índice de vazios. Devido à adição de fibras apresentarem menor recalque pode contribuir na execução de obras geotécnicas, como aterros sobre solos moles e camadas de aterros sanitários.

## PALAVRAS-CHAVE

Compósito. Geotecnia. Reutilização.

## ABSTRACT

Using fiber to improve soil mechanical performance is a relatively new and growing technique because it has been very efficient in many experiments. The present work aimed to analyze the influence of the addition of coconut fibers (residue from coconut water) on the void content of a soil. The soil was collected in Lamarão neighborhood, Aracaju metropolitan region and characterized as clay sand. The coconut fiber was obtained from the Central Market of Aracaju and these with varying diameters, were cut in the size of approximately 25 mm and waterproofed with liquid tar to prevent the action of moisture. The tests performed were those of grain size, liquidity limit, plasticity limit and real grain density, which were to characterize the soil and determine its properties. The compaction test (Normal Proctor Test) was carried out with samples compacted at maximum density and optimum moisture, and the confined axial compression test to evaluate the density in relation to the soil void index. The fiber content added was 1% and 2% already waterproofed. It was observed that in the compaction test the increase of fiber content resulted in the reduction of the maximum dry density and variation of the optimum humidity and in the compression test the addition of coconut fibers increased the compressibility and increased the void index. Due to the fact that the addition of fibers has lower repression, it can contribute to the execution of geotechnical works, such as soft landfills and landfill layers.

## KEYWORDS

Composite. Geotechnics. Reuse.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é proveniente da decomposição das rochas que compõe a crosta terrestre, essa degeneração ocorre devido às ações do intemperismo. As características do solo variam bastante em sua composição, tais como: coloração, diâmetro, textura, porcentagem dominante (pedregulho, argila, areia e silte), porosidade e massa específica (GUEDES, 2016).

Um dos grandes desafios da engenharia é encontrar técnicas que ajudem a melhorar e reforçar o solo, fazendo com que ele resista a tensões aplicadas, muitas vezes, tais forças ultrapassam a capacidade de resistência do solo no qual se deseja construir precisando corrigir as propriedades mecânicas, reforçar com algum tipo de material ou substituir por um solo com as características adequadas (CASAGRANDE; BOLAÑOS, 2013).

O reforço de solo é utilizado principalmente para aumentar a capacidade de carga, diminuir a deformabilidade e aumentar a estabilidade da massa de solo, o que possibilita melhor compactação do mesmo e viabiliza obras de taludes verticais de solo com grandes alturas, obras de fundações sobre solos moles, fornecendo considerável melhora na capacidade de carga e estabilidade (CAMPOS, 2013).

Ao se reforçar um solo, além de alterar as propriedades mecânicas da matriz outras características podem ser afetadas, como por exemplo, a compressibilidade, devido a carregamentos verticais aplicados na superfície do terreno (JUNIOR; JUCÁ, 2018).

O solo é considerado na construção civil um material muito importante, por ser utilizado diversas vezes e de diferentes maneiras como, por exemplo, em obras de pavimentação, terraplanagem e construções. Porém, quando os atributos do solo não apresentam os pré-requisitos exigidos faz-se necessário adotar alternativas, como adição de fibras (GUEDES, 2016).

A união de um solo com uma fibra para reforço resulta em um material conhecido como compósito, sendo o mesmo bastante procurado e estudado em inúmeras regiões no mundo inteiro. Em geral, o grande interesse é o fato de a fibra contribuir para o aumento da resistência do solo, sendo uma alternativa de melhorar suas propriedades mecânicas como tenacidade e compressibilidade (CASAGRANDE; BOLAÑOS, 2013).

As fibras são divididas em minerais, metálicas, poliméricas e naturais, cada tipo com suas características. As mais utilizadas entre os minerais são as de vidro, carbono e amianto que apresentam alta resistência a tração, já as metálicas, apresentam diversos formatos, aumentando a resistência ao arrancamento, porém podem apresentar corrosão (CALDEIRA, 2012).

Fibras poliméricas possuem maior variedade, pois podem apresentar diferentes tipos e estão divididas em fibras de polipropileno que obtém um aspecto plástico com a elevação da temperatura, fibras de polietileno apresentando elasticidade baixa e alta durabilidade, tornando-se mais econômica em relação as demais. E o material mais conhecido é o Polietileno de Teraftalato (PET), utilizado para fabricação de garrafas plásticas, as fibras de poliéster que possui alta densidade, rigidez e resistência e fibras de poliamida que normalmente possuem baixa resistência e rigidez (FONSECA, 2012).

As fibras naturais foram às primeiras utilizadas, sendo maior parte delas de origem vegetal, como por exemplo, o bambu, cana de açúcar, coco. Segundo Caldeira (2012), algumas dessas fibras podem atingir grandes resistências como é o caso da fibra de bambu, que chega a atingir uma resistência de 100 MPa com módulo de elasticidade entre 10 e 25 GPa.

No entanto, nesta pesquisa foi dada ênfase para a avaliação das propriedades mecânicas referentes à ação da fibra de coco. Este material é uma fibra vegetal extraída da casca de coco verde (*cocus nucifera*). É um material muito abundante no nordeste brasileiro, ecológico e de baixo custo. A maior parte da massa do coco está em sua casca, que é descartada sem valor nos lixões e aterros sanitários, no entanto, aqui está apresentada uma forma de ser reaproveitada (CASAGRANDE; BOLAÑOS, 2013).

A fibra de coco possui boas propriedades mecânicas como dureza e elasticidade. Essas propriedades conferem características de resistência e durabilidade. Por esse motivo vem sendo objeto de estudo para reforço de solos, por apresentar diversas possibilidades de melhorar suas propriedades (GONÇALVES; ARAÚJO, 2015).

Para manter as propriedades da fibra foi utilizado um impermeabilizante, o pitch, um material composto por asfalto, que possui aderência e resistência, formando uma película impermeável na fibra de coco. Possui características como flexibilidade

e alta resistência, tornando um material adequado para usar como base na impermeabilização da fibra (SILVA,2016).

O objetivo principal desta pesquisa consistiu em verificar a influência da fibra de coco nas propriedades físicas do solo. Caracterizar geotecnicamente o solo estudado; analisar diferentes porcentagens de fibra na mistura com o solo e verificar a atuação das porcentagens nas propriedades do solo.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDO**

O solo foi coletado de uma jazida, localizada no bairro Lamarão, coordenadas 10°52'48"S e 37°04'49"W, no município de Aracaju/SE. Foram coletados cerca de 50 kg de solo puro, e em seguida o material foi armazenando em baldes. O material foi levado ao Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura (CTEA) da Universidade Tiradentes.

### **2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO**

Foram executados os ensaios de caracterização física, no laboratório de solos, no Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura (CTEA), tendo como objetivo a determinação das características do solo. A preparação ocorreu segundo as normas técnicas brasileiras estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

#### **2.2.1 Análise Granulométrica**

Foi realizado o ensaio de análise granulométrica com o objetivo de analisar a distribuição dos grãos do solo e suas características físicas, tendo como orientação os métodos prescritos na NBR 7181 (2018), o ensaio foi realizado por peneiramento.

Para realização do ensaio, o solo necessitou de uma preparação. Inicialmente foi colocado para secar ao ar livre, destorroado e em seguida colocou-se no quarteadado, obtendo a quantidade necessária para realização do ensaio. Primeiramente na peneira de 2,00 mm peneirou-se o solo. O material que ficou retido na peneira considera-se como solo grosso, que foi lavado com água, pesado e colocado na estufa por 24 horas. Ao retirá-lo da estufa foi colocado nas peneiras de maior abertura uma sobre a outra e obteve a quantidade acumulada em cada peneira de solo grosso (NBR 7181, 2018).

Com o material passante colocou-se na peneira de 0,075 mm, lavou-se com água e em seguida levado para a estufa por 24 horas, sendo considerado como solo fino. Após retirá-lo da estufa, foram empilhadas as peneiras de abertura entre 2,00 mm e 0,075 mm e colocou-se o solo, que em seguida foram pesadas as quantidades retidas em cada peneira, obtendo as porcentagens necessárias do ensaio.

Para execução foram necessárias algumas aparelhagens, como, estufa para manter a temperatura, balanças, recipientes para armazenar as amostras, aparelho de dispersão, proveta de vidro, densímetro de bulbo simétrico, termômetro graduado, relógio com indicação de segundos, bêquer de vidro, tanque para banho, peneiras, escova com cerdas metálicas, agitador mecânico de peneiras, bagueta de vidro e bismaga (NBR 7181, 2018).

### 2.2.2 Limites de Consistência

Para determinar o limite de liquidez foram realizados os ensaios com base na NBR 6459 (2017). O limite de liquidez (LL) é o teor em água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido. Tal norma visa estabelecer a porcentagem de água necessária para a mudança de estado físico do solo, quando o referido material ultrapassa o limite entre o líquido e o plástico (e vice e versa).

O ensaio foi feito com o solo seco ao ar livre e destorroado a mão, em seguida é passado na peneira de 0,42 mm. Com o solo preparado coloca-se em um recipiente e acrescenta água até o solo ficar homogêneo. Logo após é colocado o material em uma parte da concha do equipamento casagrande, que com o auxílio do cinzel faz-se uma ranhadura no meio do solo, em seguida iniciou uma sequência de golpes até unir os bordos inferiores. O ensaio foi repetido 5 vezes e as amostras colocadas em uma estufa por 24 horas (NBR 6459, 2017).

Foram utilizados, prescrevendo os despositivos ou aparelhagens necessários, aparelho de Casagrande, estufa, cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro, espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura, cinzel, recipientes que evitam a perda de umidade da amostra, balança, gabarito, esfera de aço com 8 mm de diâmetro (NBR 6459, 2017). A equação (1) utilizada para calcular a umidade higroscópica e determinação do Limite de Liquidez (LL) foram obtidos os resultados de cada amostra, podendo ser traçado o gráfico em relação ao número de golpes e teor de umidade.

$$W(\%) = \frac{mu - ms}{ms} * 100 \quad (1)$$

Onde:

W = teor de umidade;

mu = Massa Úmida do solo;

ms = Massa Seca do solo.

Para a determinação do limite de plasticidade a norma utilizada foi a NBR 7180 (ABNT, 2016). A finalidade do ensaio foi verificar o teor de umidade do qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido, ou seja, quando ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço.

Com o solo já preparado e homogenizado conforme os ensaios anteriores foram retirados em média 10 g de solo, onde foi colocado em uma placa de vidro esmerilhada, modelando e transformando em um cilindro até atingir diâmetro de 3 mm conforme

gabarito. Quando o solo começou a demonstrar fissuras retirou-se uma amostra e colocou na estufa por 24h. O processo foi repetido por 5 vezes (NBR 7180, 2016).

A aparelhagem e os dispositivos utilizados recomendados pela norma foram estufa, cápsula de porcelana, espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura, balança, gabarito cilíndrico com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento para comparação e placa de vidro de superfície esmerilhada (NBR 7180, 2016).

### 2.2.3 Densidade Real dos Grãos

Para realização do ensaio da densidade real dos grãos foi utilizada a NBR 6508 (1984). Tal norma tem por objetivo determinar a massa específica do solo, por meio de picnômetro, por meio da realização de pelo menos dois ensaios.

O ensaio de densidade dos grãos foi feito com o picnômetro, sendo primeiramente pesado limpo e vazio, logo após foi adicionada a amostra, pesado a amostra mais picnômetro. Em seguida foi adicionada água destilada cobrindo em excesso a amostra e logo após aquecendo o picnômetro durante 15 minutos, para expulsar o ar existente no solo, depois de retirar todo o ar deixou esfriar atingindo a temperatura ambiente e pesou-se novamente. Posteriormente retirou-se todo o material de dentro e após limpo adicionou água destilada e pesou (NBR 6508, 1984).

Para execução do ensaio foram necessários equipamentos como, estufa, aparelho de dispersão picnômetro, bomba de vácuo com registros, vacuômetro e conexões, termômetro graduado, balança, funil de vidro e conta gotas (NBR 6508, 1984). A equação 2, utilizada para calcular a densidade real dos grãos.

$$\delta t = \frac{P2 - P1}{(P4 - P1) - (P3 - P2)} \quad (2)$$

Onde:

$\delta t$  = Densidade real do solo à temperatura t do ensaio;

P1 = Peso do picnômetro vazio;

P2 = Peso do picnômetro mais amostra, em gramas;

P3 = Peso do picnômetro mais amostra mais água, em gramas;

P4 = Peso do picnômetro mais água, em gramas.

### 2.2.4 Impermeabilização

As fibras foram submetidas a um tratamento impermeabilizante utilizando o produto químico piche que é o nome dado ao asfalto líquido, uma mistura de betume com outros minerais, a figura 1 ilustra a fibra de coco pura, a figura 2 mostra a fibra de coco impermeabilizada.

**Figura 1** – Picnômetro com fibra pura



Fonte: Autoria própria.

**Figura 2** – Picnômetro com fibra impermeabilizada



Fonte: Autoria própria.

A impermeabilização foi feita para evitar o apodrecimento da fibra que está sujeita a ação da umidade por ser um material orgânico. A impermeabilização da fibra foi feita por meio da imersão no piche e logo depois deixada ao ar livre para secagem, que durou aproximadamente uma semana.

Segundo Cabala (2007), o produto piche em relação ao tratamento impermeabilizante, mostrou eficiência maior do que outros produtos, por manter as propriedades da fibra e auxiliando a melhorar as características da fibra.

Após as fibras serem impermeabilizadas e ficarem totalmente secas, foi notado ao pegar na fibra natural e com ela impermeabilizada, que fazendo força com a própria mão, pode observar a diferença, pois ganhou força a tração, dureza e elasticidade maior em comparação ao estado natural (SILVA, 2016).

O material utilizado foi o piche extra vedacit, tinta impermeabilizante a base de alcatrão. A partir da figura 3 é possível observar a fibra ao ser impermeabilizada com o piche, mantendo as propriedades da fibra de coco e impedindo o apodrecimento da mesma.

**Figura 3** – Fibra impermeabilizada

Fonte: Autoria própria.

### 2.2.5 Compactação (Procto Normal)

O ensaio de compactação foi realizado seguindo a NBR 7182 (2016), com a finalidade de determinar a umidade ótima (Wot) de compactação e o peso específico aparente seco máximo do solo ( $\gamma_{d\text{máx}}$ ) e das misturas, utilizando-se a energia de compactação Proctor Normal e com reuso do material.

Com o solo seco ao ar livre e destorroado a mão, peinerou-se a amostra na peneira de 4,8 mm, com o solo preparado adicionou-se a água até obter uma consistência homogênea. No molde cilíndrico colocou-se a amostra em 3 camadas iguais, aplicando em cada camada 25 golpes de forma uniforme sobre a superfície e com o auxílio do soquete. Retirou-se o colarinho do molde e deixou a superfície plana, em seguida pesou-se o cilindro com o solo compactado (NBR 7182, 2016).

Com o extrator retirou-se o solo do molde e partiu ao meio, podendo coletar uma pequena quantidade de amostra, que foi levado à estufa por 24 horas e obtendo o teor de umidade, que foram utilizados para calcular a umidade ótima de cada corpo de prova. O material restante foi desmanchado e passado na peneira para reuso, onde o ensaio foi repetido por 4 vezes.

Os materiais utilizados para execução foram espátula, almofariz, balança de precisão, cápsulas metálicas, cilindro metálico, peneiras, estufa e soquete. A partir dos ensaios realizados foram utilizadas as equações abaixo (3 e 4) para encontrar os resultados necessários:

$$y = [(Peso\ Cilindro + Solo\ Úmido) - (Peso\ Cilindro)] / Volume\ Cilindro \quad (3)$$

$$\gamma_d = (y \cdot 100) / (100 + w) \quad (4)$$

Onde:

y = Peso específico úmido;

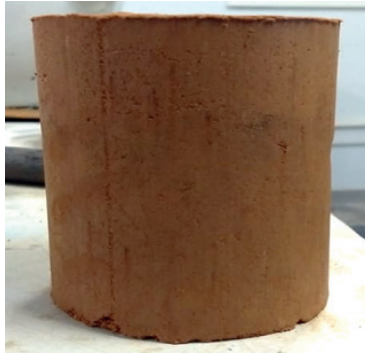
$\gamma_d$  = Peso específico seco;

w = Umidade ótima.



A partir da Figura 4 é possível observar os corpos de prova moldados com o solo puro, na Figura 5 o solo compactado com 1% de fibra de coco e na Figura 6 compactado com 2% de fibra de coco.

**Figura 4** – Corpo de copo moldado com solo puro



Fonte: Autoria própria.

**Figura 5** – Corpo de copo moldado com 1% de fibra



Fonte: Autoria própria.

**Figura 6** – Corpo de copo moldado com 2% de fibra



Fonte: Autoria própria.

## 2.3 VERIFICAÇÃO DA ATUAÇÃO DAS PORCENTAGENS

As fibras de coco utilizadas nesta pesquisa foram provenientes de uma loja de ervas e plantas naturais localizada no Mercado Central de Aracaju/SE. As fibras do coco vieram secas dentro de sacos plásticos pesando cerca de 100 g. Devido à natureza das fibras havendo uma variação de comprimentos entre 5 mm e 50 mm aproximadamente.

As fibras foram cortadas com o auxílio de uma tesoura e de um gabarito em comprimentos de 25 mm, podendo ter uma variação de até 3 mm, para mais ou para menos em seu comprimento, as fibras com comprimento muito abaixo foram descartadas.

Foram preparadas misturas com teores diferentes de fibra, a fim de determinar a quantidade necessária para utilização desse material como reforço. Os teores de fibras de coco utilizadas com o solo foram de 1,0%, e 2,0%, utilizados com base em outros estudos feitos por Casagrande e Bolaños, (2013) e Júnior e Jucá (2018), sendo as porcentagens usadas por eles entre 0,5% a 2,0% calculados em relação ao peso do solo seco.

### 2.3.1 Ensaio de Compressão Axial Confinada

Os corpos de prova foram moldados por meio da cravação do vazador, que foi pressionado sobre a amostra indeformada e colocados na máquina de cisalhamento. Foram feitas as leituras de 7,5s, 15s, 30s, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, e 24h com carregamentos de 50 kg e 60 kg a cada 24h. Os equipamentos utilizados para realização do ensaio foram relógio comparador, espatula, molde vazador, papel filtro, pedra porosa, placa furada e rachurada e aparelho (NBR 12770, 1992).

A partir dos ensaios realizados foram utilizadas as equações (5, 6 e 7) para encontrar os resultados necessários:

$$e_0 = \frac{y_s}{y_d} - 1 \quad (5)$$

$$e_f = \frac{h_f - h_s}{h_s} \quad (6)$$

$$\Delta h = \frac{e_0}{1 + e_f} \cdot h_0 \quad (7)$$

Onde:

$e_0$  = Índice de vazios inicial;

$y_s$  = Altura dos sólidos;

$y_d$  = Peso específico seco máximo;

$e_f$  = índice de vazios final;

$h_f$  = Altura final;

$h_s$  = Altura dos sólidos;

$\Delta h$  = Variação de altura do corpo de prova, obtida pelo indicador de deslocamento, em mm;

$h_0$  = Altura inicial do corpo de prova.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

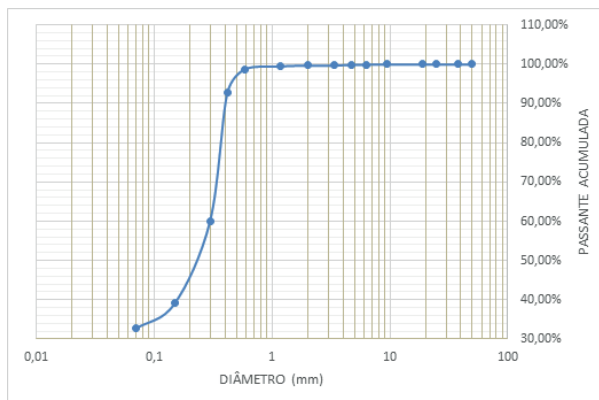
Este capítulo apresenta os resultados e discussões dos ensaios de análise granulométrica, limites de consistência, densidade real dos grãos, compactação proctor normal e compressão axial para amostras de solo puras e misturadas com a fibra de coco de acordo com os teores adotados. O objetivo deste artigo é apresentar a melhora do comportamento do solo misturado com a fibra. Apresentando os resultados que relacionam peso específico aparente máximo, umidade ótima, tensões e índice de vazios.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

##### 3.1.1 Análise Granulométrica

O ensaio de análise granulométrica foi feito do solo puro, realizado no laboratório e forneceu características da distribuição dos grãos do solo por meio das porcentagens retidas e passantes em cada peneira. Foi obtido o resultado de 0.31% pedregulho, 0.93% areia grossa, 52.76% areia média, 14.0% areia fina, 32.0% site e argila. A curva granulométrica do solo foi traçada de acordo com a NBR 7181 (2018). Com base na curva ilustrada na Figura 7 foi possível verificar as características das partículas presentes no solo.

**Figura 7** – Curva granulométrica



Fonte: Autoria própria.

##### 3.1.2 Densidade Real dos Grãos (Gs)

De acordo com os resultados dos ensaios, o valor obtido para a densidade real dos grãos do solo ensaiado foi  $2,40 \text{ g/cm}^3$ . A densidade do solo com fibra impermeabilizada utilizando 15 g de fibra foi  $0,95 \text{ g/cm}^3$ . O ensaio com fibra pura utilizando 15 g de material obteve  $0,672 \text{ g/cm}^3$ .

Observou-se que a fibra impermeabilizada possui a densidade maior em relação à densidade da fibra de coco em seu estado natural. E que a densidade do solo é bem maior em relação a densidade da fibra.

### **3.1.3 Limites de Consistência**

O Teor de umidade correspondente a 25 golpes no gráfico, obtido por interpolação linear sendo o Limite de Liquidez, onde obtivemos o valor de 22%. Segundo Pinto (2013) os solos costumam ser mais compressíveis quanto maior for o seu Limite de Liquidez.

Já o Limite de Plasticidade (LP), seguido pela NBR 7180 (ABNT, 2016) o resultado foi de 15%. O índice de Plasticidade (IP), definido como a diferença dos valores de Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade foi de 7%.

### **3.1.4 Classificação do Solo**

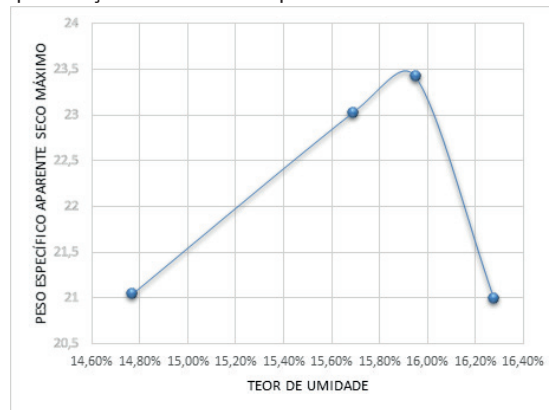
Percebeu-se uma composição arenosa. Segundo o sistema de classificação dos solos (SUCS), o solo em estudo foi classificado como SC, correspondente a uma areia argilosa. Classificando-o pelo método HRB- AASHO como A-2-4 solo arenoso.

Segundo Cabala (2007) a areia é composta por fragmentos de rocha primários, como o quartzo. As partículas unitárias apresentam tamanho relativamente grande, no máximo 4,8 mm. Possuem baixa superfície específica pequena ou nenhuma plasticidade e nenhuma retenção de água.

### **3.1.5 Compactação (Procto Normal)**

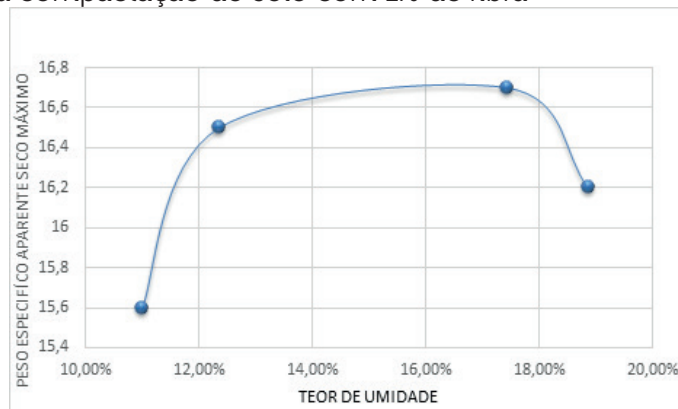
Foi possível observar a umidade ótima e o peso específico aparente seco das amostras, primeiramente com o solo puro e em seguida com solo adicionando duas porcentagens de fibras, 1% e 2%. Os resultados podem ser observados por meio das figuras 8, 9 e 10 das curvas de compactação, demonstrando a variação das umidades e peso específico aparente seco máximo.

A Figura 8 ilustra o resultado encontrado para a curva de compactação com o solo puro, onde foi possível obter os resultados necessários.

**Figura 8** – Curva compactação com solo puro

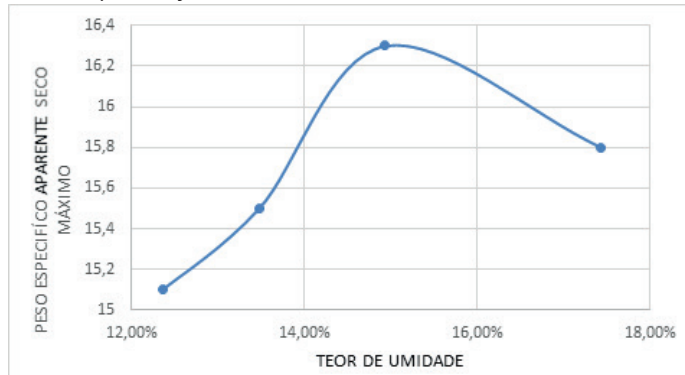
Fonte: Autoria própria.

A Figura 9 apresenta a curva de compactação do solo com 1% de fibra de coco, conseguindo os resultados das umidades e massa específica.

**Figura 9** – Curva compactação do solo com 1% de fibra

Fonte: Autoria própria.

A Figura 10 apresenta a curva de compactação do solo com 2% de fibra, podendo observar os resultados do ensaio.

**Figura 10** – Curva compactação do solo com 2% de fibra

Fonte: Autoria própria.

Foi observado que após o ensaio de compactação o solo puro atingiu 23,5 KN/m<sup>3</sup> de peso específico aparente seco, o solo com 1% de fibra obteve o peso específico máximo de 16,75 KN/m<sup>3</sup> e o solo com 2% de fibra obteve o peso específico máximo aparente seco de 16,4 KN/m<sup>3</sup>. A partir desse ensaio foi percebido no solo com 2% que apresentou 2,09% de redução do valor do  $\gamma_d$  máximo em relação ao com 1%.

O comportamento das umidades ótimas que variavam bastante, o solo puro compactado com 16% de umidade ótima, o solo com 1% apresentou maior umidade ótima com 17%, já a com 2% de fibra 14,9% sendo abaixo em relação ao solo puro, verificando uma variação não linear das umidades.

Segundo Bolaños (2013) percebe-se que ao incluir as fibras a densidade máxima da mistura com respeito ao solo puro diminuiu. entretanto, não foi possível estabelecer uma relação direta entre o aumento do teor de fibra e a diminuição da densidade, ou seja, uma amostra com um maior teor de fibra não é necessariamente menos densa que uma amostra com um menor teor de fibra.

Com os valores encontrados baseados nos ensaios de compactação foi possível verificar a diminuição da densidade ao adicionar a fibra no solo, ou seja, quanto maior a quantidade de fibras menor a densidade. Bolanos (2013) também percebeu uma queda da densidade com o aumento da fibra e não foi possível estabelecer um valor crescente de umidade ótima, observando que elas realmente variam.

A amostra compactada com 1% de fibra apresentou o valor da umidade ótima acima do valor a do solo puro. Já a amostra com 2% de fibra apresentou um valor inferior a do solo puro, ocorrendo variação.

## 3.2 VERIFICAÇÃO DAS PORCENTAGENS

### 3.2.1 Resultado do Ensaio Compressão Axial Confinada

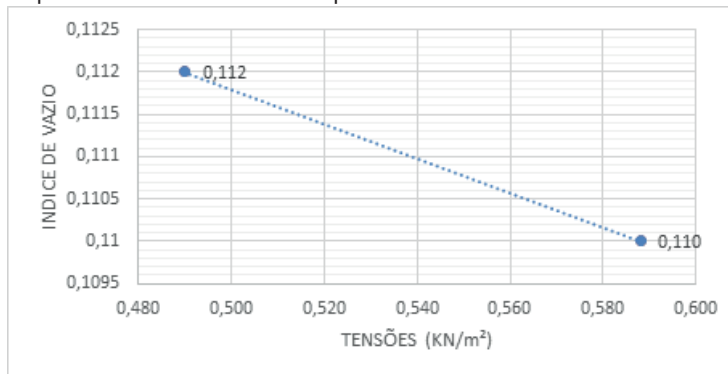
Foi realizado o ensaio de compressão axial em solo puro e em misturas de 1% e 2% de fibras de coco, todas as amostras foram submetidas ao ensaio com confina-

mento nas tensões de 4.9033 MPa e 5.884 MPa durante o período de 24h. Os resultados são apresentados graficamente expressando os valores de índices de vazios e deformações por meio da reta virgem em cada teor de fibra utilizado.

Na amostra com solo puro o índice de vazios inicial e final foi menor do que o das amostras com fibras. Já a amostra com 2% de fibra mostrou mais eficiente do que a de 1%, o adensamento e a deformação foi menor em relação ao de 1% e ficando próximo dos resultados do solo puro.

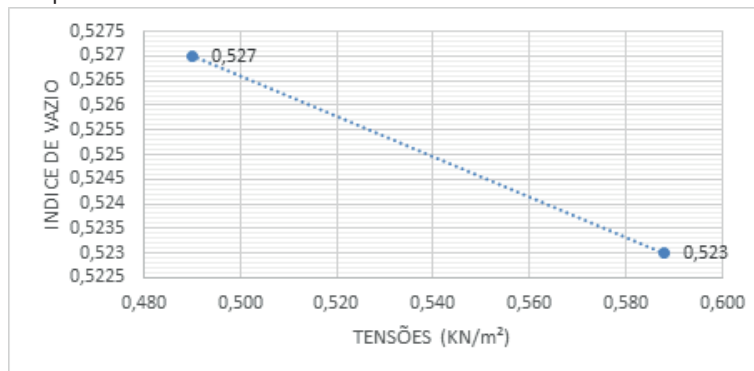
As Figuras 11, 12 e 13 demonstram as retas virgens de cada ensaio, sendo possível analisar com a inclinação da reta, que com maior quantidade de fibra aumentou o índice de vazios.

**Figura 11** – Compressibilidade do solo puro

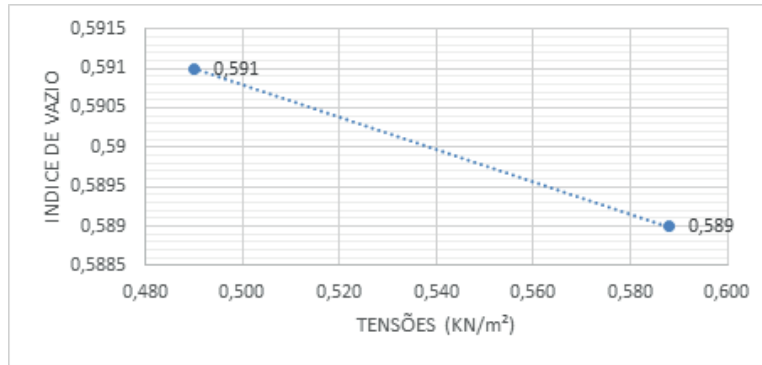


Fonte: Autoria própria.

**Figura 12** – Compressibilidade do solo com 1% de fibra



Fonte: Autoria própria.

**Figura 13** – Compressibilidade do solo com 2% de fibra

Fonte: Autoria própria.

Junior e Jucá (2018) ao avaliar a influência da fibra em seu ensaio de compressão observou o mesmo comportamento, com adição da fibra aumentou a compressibilidade do material, eles utilizaram tem proporções de fibra 0,5%, 1,0% e 2,0%, observando-se uma relação diretamente proporcional, isto é, quanto maior o teor de fibra maior a inclinação da reta de compressão virgem. Tais resultados estão associados com a ocorrência da adição da fibra reduz a densidade, aumentando os índices de vazios inicial, com isso aumenta a compressibilidade do solo.

Porém o cálculo de  $\Delta h$  (recalque) apresentou os seguintes resultados: solo natural 0,027 mm; solos com 1% de fibra 0,039 mm; solo com 2% de fibra 0,019 mm, dessa forma foi possível que registrar, a adição de 2% favoreceu uma redução do recalque do solo.

A redução do recalque favorece a estabilização, diante disso, os compósitos aqui estudados. Por apresentarem maior resistência a ruptura, menor recalque, pode contribuir na execução de obras geotécnicas, como aterros sobre solos moles e camadas de aterros sanitários.

Segundo Guedes (2016) a estabilização consiste na modificação e no tratamento das propriedades do solo, de forma a melhorar seu comportamento por um processo mecânico, físico ou químico, tornando-o estável para os limites de sua utilização, e permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas. E a utilização da fibra de coco que é um material alternativo na estabilização do solo favorece nesse tipo de obras.

## 4 CONCLUSÕES

O solo analisado, quanto a análise granulométrica e limite de consistência foi caracterizado como areia argilosa medianamente plástica. Com o ensaio de densidade real dos grãos observou-se que a fibra impermeabilizada possui a densidade menor em relação à densidade do solo puro, podendo concluir que a fibra de coco é um material com potencial favorável para aplicação de reforço do solo, tendo em vista a melhoria das propriedades quando comparado ao solo puro.



Pode-se notar que, observando os resultados do ensaio de compactação proctor normal, em comparação ao resultado da compactação proctor normal com o solo puro e o solo com fibra houve uma redução de peso específico seco aparente máximo e variação da umidade ótima demonstrando que a adição das fibras diminuiu o peso específico seco aparente máximo em 28,72% quando adicionada a fibra de 1% e 30,21% quando adicionada 2% de fibra em comparação ao solo puro.

Os resultados obtidos por meio dos ensaios de compressão com confinamento axial demonstraram que a adição de 2% da fibra de coco aumentou o índice de vazios inicial, porém reduziu o recalque a compressibilidade no solo areno argiloso. Quanto maior a quantidade de fibras maior o índice de vazios e menores o recalque.

Pode-se concluir ao final desse trabalho que o reforço do solo com fibra de coco atendeu os objetivos iniciais, concluindo que o solo reforçado é adequado para utilização em obras geotécnicas como aterros sanitários e solos moles, por demonstrar uma baixa impermeabilidade, ideal para esse tipo de obra.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12770**: Solo coesivo – determinação da resistência à compressão não -confinada. Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182**: Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459**: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180**: Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- BOLAÑOS, R. E. Z. **Comportamento mecânico de um solo argiloso reforçado com fibras de coco**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- CABALA, G. V. E. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Natal, RN, 2007.

CALDEIRA, I. M. G. **Resistência e deformabilidade de uma areia estabilizada com cimento e fibras de polipropileno**. 2012.125 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

CAMPOS, M. V. W. **Avaliação da interação solo - reforço por meio de ensaios de cisalhamento cíclico de interface**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

CASAGRANDE, M. D. T.; BOLAÑOS, R. E. Z. **Estudo experimental de solo reforçado com fibra de coco verde para carregamentos estaticos em obras geotecnicas**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FONSECA, A. J. P. V. **Resistência e deformabilidade de uma areia estabilizada com cimento e fibras de polipropileno**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

GONÇALVES, D. L.; ARAÚJO, D. **Estudo do comportamento de solos reforçados para aplicação em obras geotécnicas**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

GUEDES, E. S. R. **Estudo do comportamento de misturas de solo e fibra da cana de açúcar em Sergipe**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Sergipe – IFS, Aracaju, 2016.

JUNIOR, A. I. O.; JUCÁ, J. F. T. **Influência da adição de fibra de coco (coco nucíferas) na compressibilidade de um solo argiloso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2018.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo, 2013.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 247 p

SILVA, Rômulo Barbosa. **Reforço de solo com adição de fibra de sisal impermeabilizada com tinta asfáltica**. Universidade Federal do Rocôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

---

**Data do recebimento:** 7 de Março de 2022

**Data da avaliação:** 19 de Abril de 2023

**Data de aceite:** 19 de Abril de 2023

---

---

1 Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: anne\_cledna@hotmail.com

2 Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: danubiacunha@outlook.com

3 Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: sobral.acs@hotmail.com