

Análise da capacidade de suporte de um solo reforçado com fibra de coco

Antonio Felipe de Souza Machado Reis
Doutorando PPEC - UFBA, Salvador, Brasil, felipe.m.reis2@gmail.com

Paulo Burger
Engenheiro Civil - UFBA, Salvador, Brasil, pauloburger22@gmail.com

Miriam de Fátima Carvalho
Professora, UFBA, Salvador, Brasil, miriam.machado@ufba.br

Sandro Lemos Machado
Professor, UFBA, Salvador, Brasil, smachado@ufba.br

RESUMO: O presente trabalho avalia por meio de ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) a influência da inserção de fibras de coco na capacidade de suporte de um solo areno siltoso. Análises do material fibroso apontaram que cerca 85% das fibras de coco tem comprimento entre 1 a 5 cm, 13% inferior a 1 cm, massa específica de 1,492 g/cm³. Um solo com cerca de 70% de areia e IP de 4%, classificado segundo SUCS como SM foi usado para confecção dos compósitos com teores de fibra de 0; 0,5; 1,0 e 1,5% em relação ao peso seco de solo. Todos os compósitos foram compactados no mesmo índice de vazios. Os resultados apontam aumento significativo da capacidade de suporte do material com o aumento de fibras. O solo não reforçado apresentou ISC de 33%, enquanto o material reforçado, nos teores de 0,5, 1,0 e 1,5% apresentaram ISC de 39, 56 e 55%, respectivamente. O teor de 1,0% foi o que apresentou melhores resultados considerando a trabalhabilidade da mistura e o incremento no ISC (ganho de cerca de 70% em relação ao solo puro). Nenhum dos compósitos estudados apresentou expansão.

PALAVRAS-CHAVE: Solo reforçado, Fibra de coco, Índice de Suporte Califórnia.

ABSTRACT: The present work evaluates, through California Bearing Ratio (CBR) tests, the influence of the insertion of coir fibers on the bearing capacity of a sandy soil. Analysis of the fiber showed that around 85% of coirt fibers are between 1 and 5 cm long, 13% less than 1 cm, with a specific mass of 1.492 g/cm³. A soil with around 70% sand and IP of 4%, classified according to SUCS as SM, was used to make the composites with fiber content of 0; 0.5; 1.0 and 1.5% in relation to the dry weight of soil. All composites were compacted to the same void ratio. The results indicate a significant increase in the material's CBR with the increase in fibers. The unreinforced soil presented a CBR of 33%, while the reinforced material, at levels of 0.5, 1.0 and 1.5%, presented a CBR of 39, 56 and 55%, respectively. The 1.0% content showed the best results considering the workability of the mixture and the increase in CBR (gain of around 70% in relation to pure soil). None of the composites studied showed expansion.

KEYWORDS: Reibfirced soil; Coir fiber; California Bearing Ratio.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um material de formação natural, de composição variável, abundante e de baixo custo, na maioria dos casos. Na Engenharia Civil pode ser utilizado como fundação e também como elemento construtivo, como é o caso de pavimentos flexíveis, nas camadas de base e cobertura de aterros sanitários ou em barragens. Apesar de ser um material abundante no planeta e com uma gama de possibilidade de uso, um solo nem sempre atende às necessidades impostas para determinada aplicação, o que faz engenheiros geotécnicos buscarem alternativas eficientes, como técnicas de estabilização e reforço (geotêxteis,

geogrelhas, tiras e fibras). O uso de um reforço em uma matriz, como no caso de fibras no solo, resulta em um material compósito, que possui características de engenharia diferentes e superiores ao da matriz que lhe deu origem. Em linhas gerais, as fibras contribuem na resistência da mistura, pois promovem aumento na tenacidade, fazendo com que o compósito apresente ganho de resistência à tração e ruptura mais dúctil, bem como aumento da resistência ao cisalhamento, capacidade de suporte e redução de propagação de fissuras. Observa-se aumento de até 50% na capacidade de suporte de solos reforçados com fibras, nas pesquisas de Nataraj e McManis (1997); Kar, Pradhan e Naik (2014); Ayininuola e Oladotun (2016); Butt, Mir e Jha (2016); Peter et al. (2016)

O reforço (fibra) comporta-se como um elemento passivo, ou seja, necessita que a matriz (solo) sofra um certo nível de deformação para que o solo possa transmitir o carregamento até a fibra, fazendo com que tanto a matriz quanto o reforço contribuam simultaneamente na resistência do compósito. A aderência entre matriz e reforço é extremamente importante no comportamento mecânico de um compósito. A interface fibra/matriz é o local onde ocorre contato entre os componentes do compósito, é a região interfacial quem rege a transferência de tensões entre matriz e fibra. Além das propriedades individuais de matriz e reforço, a interface deve ser adequada para que se obtenha o melhor comportamento possível.

Na segunda metade do século passado houve significativo avanço em pesquisas envolvendo solos reforçados com fibras sintéticas, como poliéster, polietileno e polipropileno, por conta do custo acessível e possibilidade de fornecimento em grande escala, além da regularidade das propriedades, visto que tratam-se de produtos de origem industrial. Contudo, devido às questões ambientais voltadas à preservação do ambiente e a valorização de resíduos, pesquisas com fibras vegetais surgiram nas últimas duas décadas, como Aguilar (2015), Anggraini et al (2016), Oliveira Júnior (2018), entre outros.

A Tabela 1 apresenta características físicas e propriedades de algumas fibras. Pode-se observar que as fibras poliméricas e as vegetais apresentam baixo módulo de elasticidade, grande deformação e tenacidade em comparação com as de vidro e aço. Além disso, as fibras poliméricas apresentam maior sensibilidade à luz solar, reduzida aderência à matriz de solo e maior resistência ao ataque químico e a álcalis que as vegetais, que são muito atacadas pelo processo de degradação e variação de umidade. No caso das fibras vegetais, suas propriedades variam em função da quantidade de lignina e celulose que possuem. Fibras naturais como sisal, curauá, açai, juta e coco têm sido utilizadas nos últimos anos pela sua grande disponibilidade e boa resistência à tração. Como desvantagem, as fibras naturais sofrem degradação ao longo do tempo, algo inerente ao material, por isso, fibras com maior durabilidade ao longo do tempo, como as fibras de coco, ganham destaque. Devido ao seu alto teor de lignina, em torno de 40%, as fibras de coco possuem maior durabilidade. Pesquisas indicam que fibras de coco possuem vida útil em campo entre 2 e 10 anos, o que encoraja sua aplicação em obras geotécnicas, especialmente em obras temporárias (BABU e VASUDEVAN, 2008; HEJAZI et al, 2012).

Tabela 1: Características físicas de algumas fibras, Bledzki e Gassan (1999).

Fibra	Diâmetro (μm)	Massa específica (g/cm^3)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à tração (GPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5-500	7,84	190-210	0,5-2	0,5-3,5
Vidro	9-15	2,6	70-80	2-4	2-3,5
Polipropileno	20-200	0,9	1-7,7	0,5-0,75	8
Polietileno	-	0,95	0,3	0,7	10
Coco	100-300	1,25	4-6	0,175	23,9-51,4
Sisal	100-300	1,5	9,4-22	0,51-0,63	2-2,5
Juta	26,5	1,3	10-30	0,4-0,8	1,5-1,8

Dado o potencial uso das fibras de coco e sua grande disponibilidade no território brasileiro, este trabalho pretende avaliar a influência do uso de fibras de coco na capacidade de suporte de compósitos solo/fibra submetidos à ensaios de Índice de Suporte Califórnia.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O estudo foi desenvolvido com um solo derivado da Formação Barreiras, recorrente na cidade de Salvador e Região Metropolitana, conhecido regionalmente como Solo Barreiras; e fibras de coco, utilizadas como reforço no material compósito, apresentados na Figura 1.

O solo empregado foi subdividido em quatro amostras, todas elas submetidas aos ensaios de caracterização geotécnica, seguindo as normas vigentes: Solo - Análise granulométrica - Método de ensaio (NBR 7181/2016), Figura 2 (a) e (b); Grãos que passam na peneira 4,8mm - Determinação da Massa específica - Método de ensaio (NBR 6508/2017); Solo - Determinação do Limite de liquidez - Método de Ensaio (NBR 6459/2016), Figura 2 (c); Solo - Determinação do Limite de plasticidade - Método de Ensaio (NBR 7180/2016). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia Ambiental (GEOAMB) da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Além disso, foram realizados ensaios de compactação, na Energia do Proctor Normal, seguindo as diretrizes da NBR 7182/2016.

A fibra de coco foi fornecida pela Saturno Fibras, empresa localizada no litoral norte da Bahia, cerca de 150 km de Salvador. Este material é comercializado de três formas diferentes: fibras longas, fibroso e granulado. Nesta pesquisa, foi utilizado o material fibroso, que não possui comprimentos pré definidos. O material fibroso foi submetido a secagem ao ar para evitar deterioração e amostras de cerca de 10 g, selecionadas aleatoriamente foram submetidas a avaliação do percentual de ocorrência nos tamanhos correspondentes a pó e fibras curtas ($L < 1$ cm); fibras médias (entre 1 e 5 cm) e fibras longas (maiores que 5 cm), realizando a medida manualmente com paquímetro.

Também foram realizados ensaios de massa específica das fibras utilizando um picnômetro de Gás Hélio (AccuPyc II 1340, Micrometrics, Estados Unidos), que mede a densidade ou volume do material através da técnica do deslocamento de gás inerte. O aparelho realiza dez medições e entrega a média dos resultados obtidos. Para realização desse ensaio três amostras de 10 g de fibra seca a 70°C por 24 horas foram analisadas.



Figura 1. Solo Barreiras e Fibra de coco. Autores (2024).



Figura 2. Ensaios de caracterização geotécnica. (a) Sedimentação. (b) Peneiramento. (c) Limite de liquidez. Autores (2024).

Os ensaios de ISC foram realizados seguindo as diretrizes da ABNT NBR 9895 (2016), usando corpos de prova moldados na massa específica seca máxima e na umidade ótima obtida para o solo na EPN e, em duas amostras. Todos os corpos de prova usados para obtenção da curva de compactação foram empregados na determinação do ISC, possibilitando analisar de que forma as condições de compactação influem na capacidade de suporte do solo.

2.1 Preparação das amostras reforçadas com fibras de coco

Os compósitos foram compactados no mesmo índice de vazios obtido para o ponto de umidade ótima e massa específica seca máxima determinado no ensaio de compactação na energia normal (EPN) do solo sem reforço. Foram realizados cinco ensaios para cada teor, visando conferir a repetibilidade das amostras. A fibra foi considerada como parte dos sólidos e a Equação 1 foi usada para obtenção do peso específico dos grãos dos compósitos.

Na presente pesquisa foram utilizados os seguintes teores: 0% (solo puro), 0,5%, 1,0% e 1,5%. Os percentuais adotados foram definidos com base na literatura existente, como Aguilar (2015), Oliveira Júnior (2018), Menezes et al (2019). Mantendo-se o índice de vazios constante (0,383) e com os respectivos valores de massa específica dos sólidos para os diferentes compósitos, foi possível determinar a massa específica seca correspondente para cada teor de fibra.

$$\gamma_{sc} = \frac{(1 + \%_f) \cdot \gamma_s \cdot \gamma_{sf}}{\gamma_{sf} + (\gamma_{sf} \cdot \%_f)} \quad (1)$$

onde: γ_{sc} : peso específico dos sólidos do compósito (kN/m^3); γ_s : peso específico dos grãos do solo (kN/m^3); γ_{sf} : peso específico da fibra (kN/m^3); $\%_f$: teor de fibras (%).

Para preparação das misturas, o solo foi molhado em sua umidade ótima, obtida no ensaio de compactação e ensacado por 24h. As fibras foram colocadas em estufa a 70°C por 24 h, para garantir que a massa utilizada esteja livre de água e, portanto, toda a massa incorporada seja apenas referente aos grãos. Após a conferência de umidade do solo e secagem das fibras, os materiais foram pesados e separados em três partes, onde cada uma correspondia a uma camada do processo de compactação. A porção de solo e fibra de cada camada foi homogeneizada em uma bandeja, individualmente, antes da compactação, para garantir que todas as camadas tivessem a mesma quantidade de fibra, possibilitando a obtenção de amostras homogêneas.

Foi utilizado um compactador (tarugo de aço de 10 cm de diâmetro e 7 cm de altura, rosqueado em uma haste metálica), com compactação manual, sem o auxílio do dispositivo de aplicação dos golpes. Os Corpos de Prova foram moldados em 3 camadas, controlando a massa compactada até atingir a altura necessária para obter o índice de vazios desejado. A quantidade de camadas baseou-se na altura útil do cilindro, de forma que cada uma possuísse altura similar as usadas nos corpos de prova moldados para os ensaios triaxiais da pesquisa desenvolvida por Reis (2022). Após a moldagem as amostras foram imersas em água por 96 h e seguida de ruptura.

Em relação à trabalhabilidade das amostras, os teores de 0,5 e 1,0% mostraram facilidade para mistura e as fibras se distribuíram de forma mais homogênea apresentando melhor trabalhabilidade. O teor de 1,5% mostrou maior dificuldade durante o processo de homogeneização, dado o grande volume de fibras e certa aglomeração em alguns pontos do compósito, contudo, a distribuição permaneceu aleatória e aparentemente, sem planos preferenciais de acomodação. Como a metodologia empregada neste trabalho consiste na manutenção do índice de vazios constante, a energia empregada para obtenção do grau de compactação desejado variou em cada compósito. Observou-se necessidade de um número maior de golpes nas camadas com o aumento do teor de fibras, o que pode ser explicado pela capacidade de absorção de energia pelo reforço.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Em relação às fibras, sua maior parte (cerca de 85%) tem comprimento entre 1 e 5 cm, aproximadamente 13% com comprimentos inferiores a 1 cm e apenas 1% com comprimento superior a 5 cm. Esses resultados foram similares aos obtidos por Oliveira Júnior (2018), que também utilizou um material fibroso de coco e constatou que cerca de 80% das suas fibras possuíam comprimento entre 1 e 5 cm. A

massa específica obtida para a fibra foi de $1,492 \text{ g/cm}^3$, sendo levemente superior as apontadas na literatura (variando de $1,20$ e $1,30 \text{ g/cm}^3$), (Bledzki e Gassan, 1999; Motta e Agopyan, 2007; Oliveira Júnior, 2018) e de acordo com a reportada por Anggraini et al. (2016). Esta variabilidade ocorre devido a fatores como idade da planta e da fibra, condições do local de cultivo da planta e forma de extração das fibras.

A Figura 3 apresenta resultados médios das quatro amostras do solo utilizadas para caracterização geotécnica. O solo Barreiras tem aproximadamente 70% de areia em sua composição, sendo classificado pela NBR 6502 como areia argilosa com pouco silte, pela USCS como SM e pela HRB como A-2-4. A massa específica dos grãos foi de $2,676 \text{ g/cm}^3$. O material é considerado pouco plástico ($IP < 7$), possuindo umidade ótima de 11,05% e massa específica seca máxima de $1,936 \text{ g/cm}^3$ na Energia do Proctor Normal (EPN).

A Figura 4 apresenta os resultados dos I.S.C. realizados para todos pontos da curva de compactação, para duas amostras. A capacidade de suporte média obtida para o solo puro é de 33% na condição de umidade ótima e nenhuma expansão foi medida. Como esperado, à medida que os teores de umidade se afastam da umidade ótima o valor de I.S.C. decresce, principalmente nos pontos do ramo úmido da curva, chegando a um I.S.C. de 3%.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos nos ensaios de Índice de Suporte Califórnia do solo puro e reforçado. Nenhuma das amostras analisadas apresentou expansão. A amostra reforçada com 0,5% apresentou pequeno aumento no valor de I.S.C., saindo de um valor médio de 33% para média de 39%, cerca de 18% de ganho. As amostras reforçadas com teor de 1,0% apresentaram I.S.C. médio de aproximadamente 56%, indicando um ganho de pouco mais 70% em relação ao solo não reforçado. Já as amostras reforçadas com o teor de 1,5% apresentaram I.S.C. médio de aproximadamente 55%, um ganho médio de quase 70%.

Parâmetros do solo	Valor Médio	Desvio Padrão	
Composição (%)	Areia Grossa	6	0,577
	Areia Média	34	1,155
	Areia Fina	30	0,957
	Silte	8	0,577
	Argila	23	0,577
$\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)}$	2,676	0,016	
Limite de Liquidez (%)	21	0,957	
Limite de plasticidade (%)	17	0,500	
Índice de plasticidade (%)	4	1,291	
Atividade de Skempton	0,16	0,056	
$\rho_{dm\acute{a}x} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	1,936	0,015	
W ótima (%)	11,05	0,087	

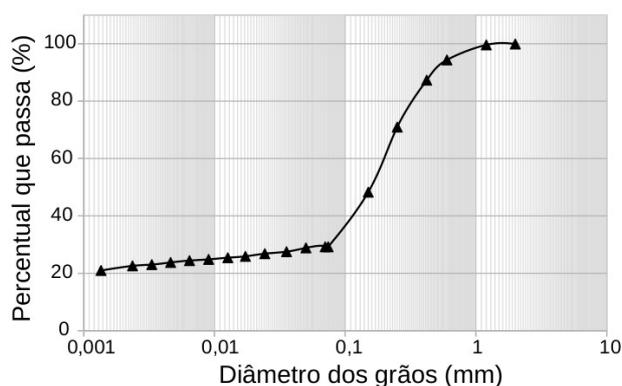


Figura 3. Caracterização geotécnica e curva granulométrica do solo estudado, Autores (2024).

Apesar do grande ganho de I.S.C. com a adição de fibras, especialmente nos teores de 1,0 e 1,5%, o valor atingido ainda não é suficiente para o uso do compósito em bases de pavimento, pois para essa aplicação o material deve possuir I.S.C. de pelo menos 80%. Por outro lado, mesmo o solo não reforçado apresenta propriedade adequada para sua aplicação como sub-base de pavimentos (I.S.C. > 20%).

A Figura 5 apresenta, para efeito de ilustração, os valores médios de I.S.C. dos compósitos em função do teor de fibras. A melhoria de uma propriedade de um solo reforçado com fibras acontece com o aumento do teor até um limite e varia conforme as propriedades da matriz e do reforço, como observado por Ayininuola e Oladotun (2016) e Butt, Mir e Jha (2016). Esses autores, assim como no presente trabalho, observaram aumento do I.S.C. do solo até um teor próximo de 1,0%. Acima disso, não há aumento significativo.

Os valores obtidos no ensaio de I.S.C. no presente trabalho, nos teores de 1,0 e 1,5% assemelham-se aos reportados por Ayininuola e Oladotun (2016). Esses autores, estudando um solo areno-argiloso reforçado com fibras de coco (I.S.C. natural de 32%), obtiveram I.S.C. de 55% nos teores de 1,0 e 1,5%. Por outro lado, para o teor de 0,5% foi observado pelos pesquisadores um I.S.C. em torno de 47%, acima do observado no presente trabalho para o mesmo teor (I.S.C. de 39%).

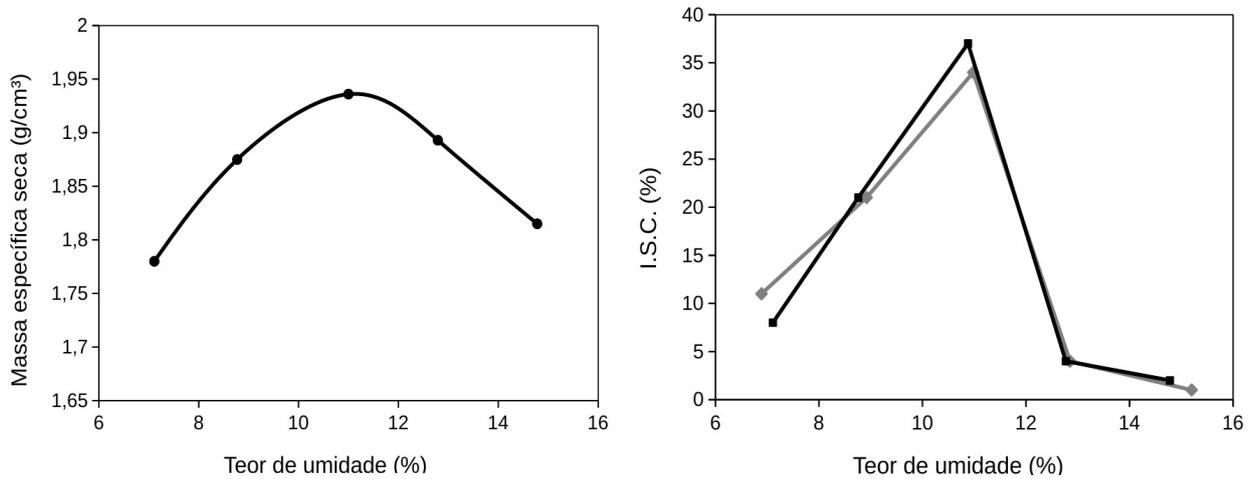


Figura 4. Curva de compactação e resultados de ISC do solo estudado, Autores (2024).

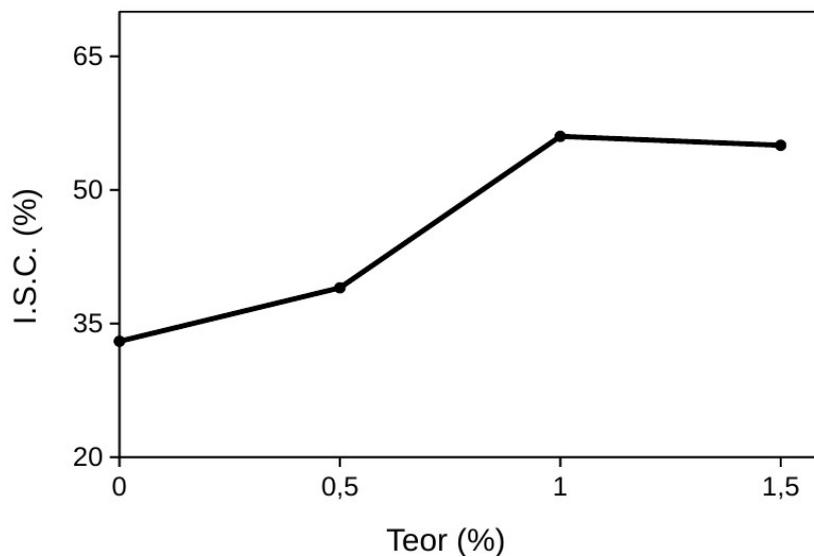


Figura 5. ISC dos compósitos em função do teor de fibras, Autores (2024).

Tabela 2: Valores do I.S.C. do solo e material compósito, Autores (2024).

Corpo de prova	Teor (%)			
	0	0,5	1,0	1,5
	I.S.C.			
A	37	33	58	58
B	34	38	57	56
C	29	40	57	50
D	36	43	54	54
E	31	39	52	54
Média	33	39	56	55
Desvio	3,36	3,65	2,51	2,97
Variância	9,04	10,64	5,04	7,04

3.1. Tratamento estatístico

No presente trabalho foi utilizado o teste t de Student para investigar se há uma diferença significativa entre as amostras reforçadas nos teores de 1,0 e 1,5%. O teste t de Student pode ser utilizado para comparar as médias de dados de dois grupos, e esses dados precisam ser do tipo intervalar com amostras aleatórias, podendo ser aplicado em amostras dependentes ou independentes. Para o método, utiliza-se a variância dos dois grupos como medida de dispersão, além de suas médias. Observa-se da Tabela 2 as médias e as variâncias dos dois grupos. Com a média e variância dos grupos, pode ser calcularr a variância combinada. Com isso, determinou-se o valor de t_{obs} . A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados estatísticos encontrados para os grupos.

Adotando um nível de significância de 5%, o valor do t_{cri} é 2,306. Existem duas possibilidades de conclusão para o teste t de Student. A primeira delas é para valores de t_{obs} se encontra no intervalo entre $(-t_{cri}, +t_{cri})$. Nesse caso, a conclusão é que não há diferença estatisticamente significativa entre o valor encontrado para os dois grupos. Por outro lado, quando o valor de t_{obs} se encontra fora deste intervalo, a conclusão é de que há uma diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos. No caso deste trabalho, em que são analisados os grupos com teores de 1,0% e 1,5%, pode-se concluir pelo teste t que: O valor do ISC para os compósitos estudados com teores de 1,0% e 1,5% de fibra de coco apresentam valores estatisticamente semelhantes para um nível de significância de 5%, pois o valor t_{obs} para o grupo foi de 0,276, o qual se encontra dentro do intervalo entre $-t_{cri}$ e $+t_{cri}$.

Tabela 3: Dados estatísticos utilizados, Autores (2024).

Variância combinada	4,34
t_{obs}	0,276
Graus de liberdade	8
$t_{cri}(5\%)$	2,306

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos ensaios com o solo, fibra e material compósito permitiram que se chegasse a algumas conclusões sobre as propriedades dos materiais estudados. A fibra analisada possui massa específica de 1,492 g/cm³ e a maior parte do material fibroso possui comprimento entre 1 e 5 cm. O solo residual utilizado é composto essencialmente por areia e silte, é pouco plástico e possui valores de umidade ótima e massa específica seca máxima, na Energia Normal, de 11,05% e 1,936 g/cm³, respectivamente, com um I.S.C. médio de 33%, sem nenhuma expansão. Verificou-se ainda, conforme esperado, redução do valor de I.S.C. do solo à medida que a umidade de compactação se distanciava do teor ótimo, reduzindo o I.S.C. até 3%.

Em relação à trabalhabilidade das amostras, o solo reforçado nos teores de 0,5 e 1,0% apresentou boa trabalhabilidade, com a fibra se distribuindo de forma satisfatória. No caso do teor de 1,5% houve dificuldade de homogeneização e as fibras se aglomeraram em alguns pontos. Em relação à moldagem, devido ao método empregado (índice de vazios constante), constatou-se que quanto maior o teor de fibras, maior a energia necessária para atingir o índice de vazios, visto que as fibras absorvem parte da energia.

Através dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia constatou-se que a inclusão de fibras no teor de 0,5% proporcionou pequeno ganho em relação a amostra não reforçada (cerca de 16%). Para os teores de 1,0 e 1,5% houve ganho muito significativo, elevando essa propriedade para 56 e 55% respectivamente. Apesar do expressivo aumento, esses valores não atendem às exigências para aplicação como base de pavimentos (ISC >80%).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelas bolsas de pesquisa concedidas e a Saturno Fibras pelas fibras cedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J.R.T. *Análise do comportamento mecânico de um solo arenoso reforçado com fibras de coco*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Informática da PUC-Rio, 114 p, 2015.
- Anggraini, V.; Asadi, A.; Huat, B.J.K.; Nahazanan, A. Effects of coir fibres modified with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and $\text{Mg}(\text{OH})_2$ nanoparticles on mechanical properties of lime-treted marine clay. *Geosynthetics International*, v 23, p. 206-218, 2016.
- Associação brasileira de normas técnicas (2016).NBR 7181. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas (2016). NBR 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade.
- Associação brasileira de normas técnicas (2017) NBR 6508. Solo - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas (2016) NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas (2016) NBR 7182. Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas (2016) NBR 9895. Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC – Método de ensaio). Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas (1995) NBR 6502. Solos e Rochas. Rio de Janeiro.
- Ayininuola, G. M.; Oladotun, P. O. Geotechnical Properties of Coconut Coir Fiber Soil Mixture. *Journal of Civil Engineering Research*, v. 6, n. 4, p. 79–85, 2016.
- Babu, G.L.S.; Vasudevan, A.K. Strenght and stiffness response of coir fiber soil mixture. *Journal of Materials in Civil Engineering* v 23, p. 571-577, 2008.
- Bledzki, A.; Gassan, J. Composites reinforced with cellulose. *Progress in Polymer Science*, v. 24, p. 221–274, 1999.
- Butt, W. A.; Mir, B. A.; Jha, J. N. Strength Behavior of Clayey Soil Reinforced with Human Hair as a Natural Fibre. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 34, n. 1, p. 411–417, 2016.
- Hejazi, S.M.; Sheikhzadeh, M.; Abtahi, S.M.; Zadhoush. A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, v30, p 110-116, 2012.
- Kar, R.K.; Pradhan. P.K.; Naik, A. Effect of randomly distributed coir fiber on strength characteristics of cohesive soil. *The Eletronic Journal of Geotechnical Engineering* v19, p 1567-1583, 2014.
- Motta, L.C.M.; Agopyan, V. *Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 23 p. 2007.
- Menezes, L.C.P.; Sousa, D.B.; Fucale, S.; Ferreira, S.R.M.. Analysis of the physical-mechanical behavior of clayey sand soil improved with coir fiber. *Soils and Rocks*. v42, p 31-42, 2019.
- Nataraj, M.; McManis, K. Stength and deformation properties of soils reinforced with fibrillated fibers. *Geosynthetics International*, v. 4, n. November, p. 65–79, 1997.
- Oliveira Júnior, A.I. *Influência de ciclos de secagem-molhagem no comportamento hidráulico-mecânico de misturas compactadas de solo argiloso com fibras de coco verde*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 112 p, 2018.
- Reis, A.F.S.M. *Análise do comportamento mecânico de um solo reforçado com fibra de coco*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, 128 p, 2022.