

Reforço de solo erodível com utilização de fibras: Uma revisão sistemática da literatura

Erodible soil reinforcement with the use of fibers: A systematic review of the literature

Igor Silva Santos ^{1*}, Flaviana Gomes Alves da Silva¹, José Maria de Moura Junior¹, Kalinny Patrícia Vaz Lafayette¹, Emília Rahnemay Kohlman Rabbani¹

RESUMO

A ocupação de áreas em ambientes de risco aumentou com a urbanização, fazendo com que famílias vivam em situação de risco, tal como a possibilidade de deslizamentos dos solos. Objetiva-se realizar uma revisão sistemática de literatura para analisar as características físicas e mecânicas da incorporação de fibras para o melhoramento de solos erodíveis. Foram utilizadas 6 bases de dados para buscas dos artigos, restringindo em artigos científicos e capítulos de livros na área da engenharia nos últimos 4 anos, resultando em 50 artigos selecionados. Assim, foi possível identificar os principais tipos de fibras estudadas, seus teores de incorporação e sua relação com a resistência e demais características de melhoramento do solo. A fibra sintética de polipropileno foi a mais utilizada, seguida da fibra natural de coco. Os teores de fibras para o melhoramento do solo variam bastante, pois fatores podem influenciar, como: tipo e comprimento da fibra, o tipo de solo e a região do estudo, adição de resíduos, entre outros. O número de publicações referentes ao tema cresceu nos últimos quatro anos, sendo um assunto de interesse mundial.

Palavras-chave: Fibra; Teor de fibra; Solo erodível; Melhoramento de solo.

ABSTRACT

The occupation of areas in risk environments has increased with urbanization, causing families to live at risk, such as the possibility of landslides. The objective is to carry out a systematic literature review to analyze the physical and mechanical characteristics of fiber incorporation for the improvement of erodible soils. Six databases were used to search for articles, restricting to scientific articles and book chapters in the field of engineering in the last 4 years, resulting in 50 selected articles. Thus, it was possible to identify the main types of fibers studied, their incorporation levels and their relationship with resistance and other soil improvement characteristics. Synthetic polypropylene fiber was the most used, followed by natural coconut fiber. The fiber contents for soil improvement vary a lot, as factors can influence, such as: fiber type and length, soil type and study region, addition of residues, among others. The number of publications on the subject has grown in the last four years, being a subject of global interest.

Keywords: Fiber; Fiber content; Erodible soil; Soil improvement.

¹ Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco
*E-mail: iss4@poli.br

INTRODUÇÃO

A expansão crescente de espaços urbanos provoca diversas mudanças no ambiente em que a urbanização se estabelece, intensificando a transformação dos espaços e ambientes naturais a partir da ação humana (NASCIMENTO *et al.*, 2020; PEREIRA; NUNES; ARAÚJO, 2021). Quando se tem uma urbanização acelerada, sem planejamento e com infraestrutura deficiente pode gerar riscos geológicos comprometendo a saúde e bem-estar da população (MIRANDA; LIMA, 2021).

Um dos danos causadas com a expansão desordenada da ocupação e ações antrópicas é a erosão do solo. Com consequência disso, os acidentes provocados por movimentações de massa em encostas ocupadas pela população mais vulnerável têm se tornado mais frequentes longo dos anos (BISPO; MELO; TOUJAGUEZ, 2019).

É possível melhorar as propriedades físicas e mecânicas (resistências: à compressão não confinada, ao cisalhamento, testes de CBR e etc.) de solos erodíveis com a utilização de diferentes tipos de fibras naturais ou sintéticas: polipropileno (TA'NEGONBADI; NOORZAD; SHAKERY, 2021; ZHAO *et al.*, 2020), coco (TORIO-KAIMO; DIEGO; ALCANTARA, 2020; SANTOS, 2020), pneu (ABBASPOUR *et al.*, 2020; NARANI *et al.*, 2020), entre outras.

Segundo Siddaway, Wood e Hedges (2019), uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) pode ser definida como uma investigação científica caracterizada por ser metódica, transparente e replicável, utilizada para identificar sistematicamente todas as publicações existentes para uma dada questão de pesquisa, e com isso avaliar a qualidade desses artigos, extrair os dados de busca e sintetizar os resultados encontrados.

Para Donato H. e Donato M. (2019), é importante diferenciar os conceitos de revisão narrativa e revisão sistemática. As autoras definem revisão narrativa como não sistemática, ou seja, não descreve o processo de pesquisa da literatura, como foi feita a seleção dos artigos e como foi avaliado a qualidade dos mesmos. Descrevem também que tende a ser parcial, representando a visão dos autores sobre o tema, e que, normalmente, é mais rápida, subjetiva e, logo, tende a um maior número de vieses e erros. Em contrapartida, a revisão sistemática busca seguir protocolos específicos, visando a reprodutibilidade de outros pesquisadores, apresentando as bases de dados consultadas, estratégias de busca, processo de seleção, critérios de inclusão e exclusão e análise dos artigos (GALVÃO; RICARTE, 2019).

Segundo Galvão e Ricarte (2019), uma das ferramentas desenvolvidas para auxiliar na verificação dos critérios de qualidade de uma RSL é o *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), que fornece um *checklist* dos itens que deve conter uma revisão sistemática, assim como um diagrama que apresenta o fluxo dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos.

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho é analisar os resultados e conclusões das pesquisas mais atuais que utilizaram a incorporação de fibras para o melhoramento das propriedades físicas e mecânicas de solos em processos erodíveis.

METODOLOGIA

Foi elaborado um protocolo a partir dos passos essenciais de Okoli (2019), utilizando a estratégia PICOC (População, Interesse, Controle, Resultado e Contexto) para definição da pergunta a ser respondida: como a utilização de fibras pode melhorar as propriedades físicas e mecânicas de um solo erodível?

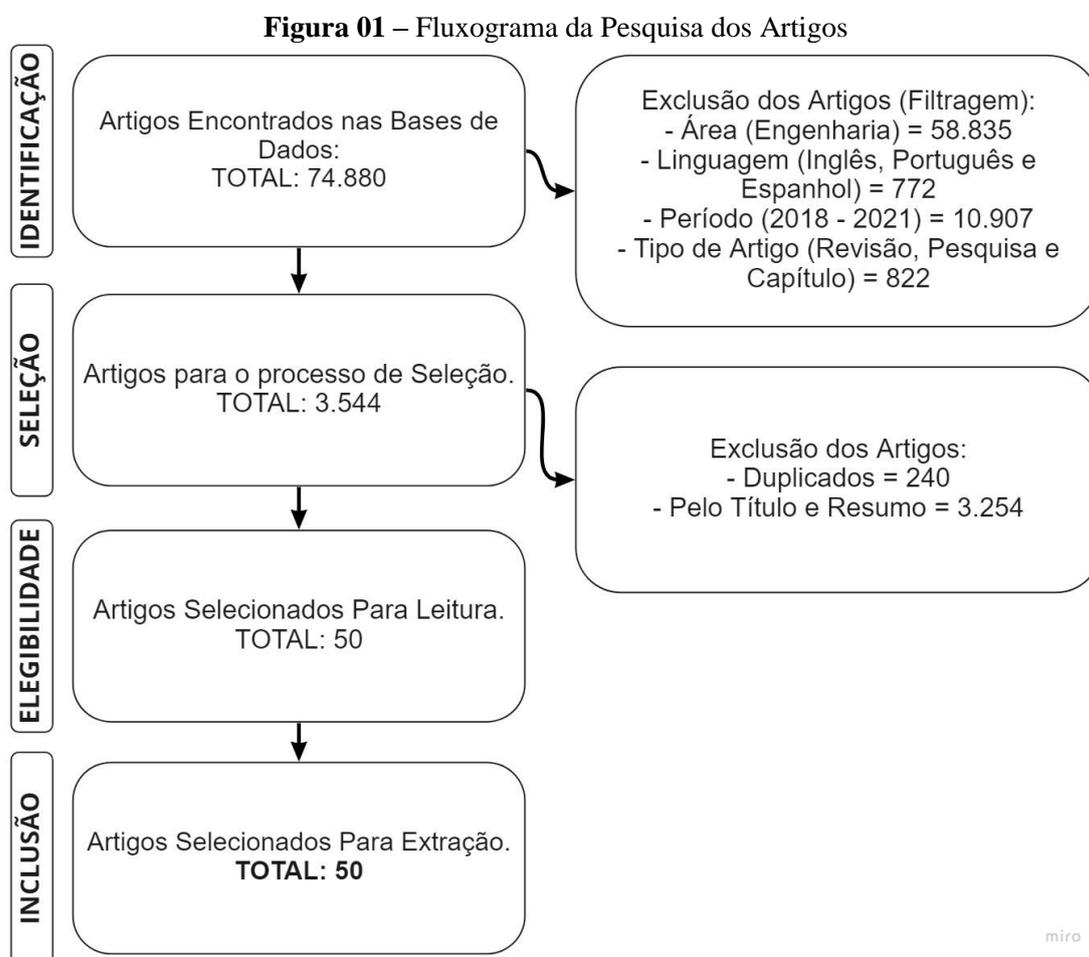
A ferramenta de busca Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), biblioteca virtual brasileira em que pode-se consultar artigos, livros e periódicos, foi útil para a realização das pesquisas em seis bases de dados: *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*, *Engineering Village*, *Institute of Civil Engineers* e *American Society of Civil Engineers*; Utilizando *string* de busca compostas pelas palavras-chave e operadores booleanos (*OR*, *AND* e *NOT*): ("*Construction waste*" *OR* "*Fiber*" *OR* "*CW*") *AND* ("*Erodible soil*" *OR* "*Soil reinforcement*" *OR* "*Erosion*" *OR* "*Soil stabilization*") *NOT* ("*concrete*" *OR* "*cement*"). Vale ressaltar que a *string* foi levemente alterada na pesquisa na base de dados *Science Direct*, pois, nesta base, existe uma limitação de oito operadores booleanos.

No processo da pesquisa dos artigos nas bases de dados foram aplicadas algumas limitações/filtros, como: - Área de publicação: Engenharia Civil; - Linguagem dos artigos: Inglês, Espanhol e Português; - Período dos artigos: 2018 a 2021 (últimos quatro anos); - Tipos de artigos: Artigos de revisão, artigos de pesquisa e capítulo de livro.

Os artigos foram selecionados adotando os seguintes: (1) O artigo traz informações de melhoramento de solo com a utilização de fibras; (2) Artigos com textos completos; (3) Artigos avaliados por pares. E excluídos, utilizando os critérios: (1) Artigos duplicados; (2) Artigos que não apresentam resumos; (3) Artigos sem metodologia bem detalhada. Logo após, foi feita a triagem dos títulos e, em seguida, pela triagem dos resumos dos artigos remanescentes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

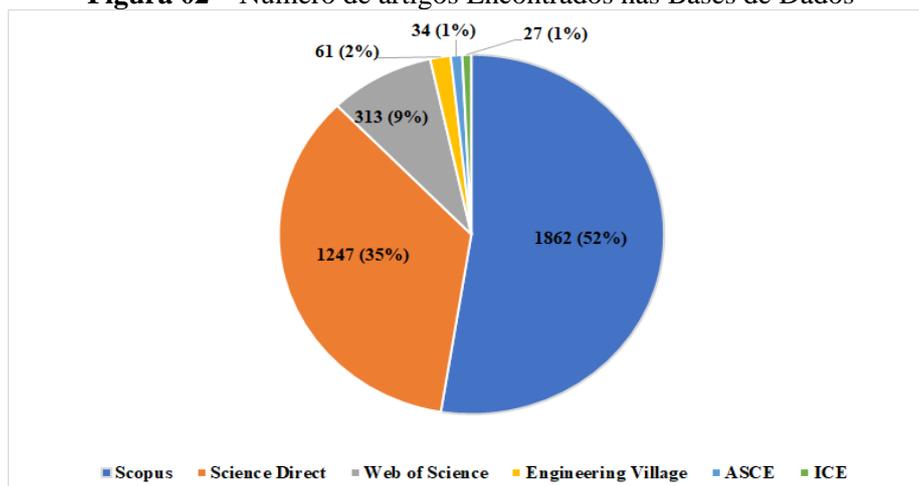
A revisão sistemática foi conduzida entre o período de julho a agosto. A busca nas bases resultou num total de 74.880 artigos, que foram filtrados de acordo com o protocolo. A Figura 01 apresenta o fluxograma modelo PRISMA com o resumo dos resultados para cada filtro.



Pesquisa Bibliométrica

Aplicou-se os primeiros filtros diretamente nas bases de dados, resultando em 3544 artigos que passaram para o processo de seleção. A Figura 02 mostra o número de artigos para cada base de dados. Verificou-se que a Scopus (52%) e Science Direct (35%) são responsáveis pela maior parte das publicações, contendo 87% do total encontrado.

Figura 02 – Número de artigos Encontrados nas Bases de Dados

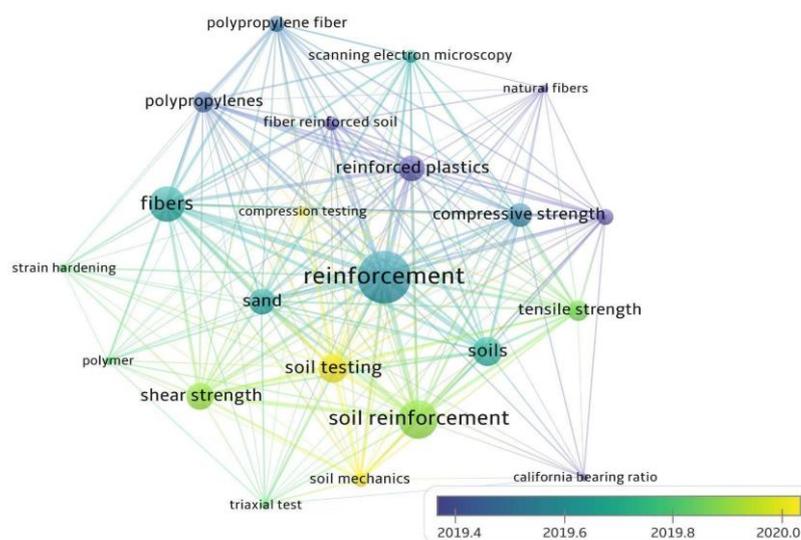


Fonte: Autores

Em seguida, iniciou-se a exclusão pelos artigos duplicados, leitura dos títulos e resumos. É possível afirmar que os mecanismos de buscas das bases de dados não são tão eficientes, visto que 3.254 artigos foram excluídos pela leitura de título e resumo. Após a leitura completa dos 50 artigos que sobraram, verificou que todos estavam de acordo com o objetivo da pesquisa. Este número é equivalente a aproximadamente 1% dos artigos.

A Figura 03 apresenta as palavras-chave que apareceram pelo menos cinco vezes nos artigos aceitos. Vale ressaltar que, quanto maior for a representação da circunferência mais vezes a palavra-chave foi utilizada nos artigos. Logo, as palavras-chave “*reinforcement*”, “*fibers*” e “*soils*” foram as mais citadas. As linhas representam a inter-relação entre as palavras nos artigos; os períodos do aparecimento dessas palavras são caracterizados pelas cores indicadas na legenda.

Figura 03 – Mapa de correlação das palavras-chave



Fonte: Autores

A Figura 04 exibe o resultado do número de publicações dos artigos aceitos para extração de dados nos últimos quatro anos. Percebe-se que no ano de 2020 houve 16 publicações, sendo o ano com maior número registrado. Vale lembrar que essa RSL foi feita no primeiro semestre do ano, logo 2021 está com resultado parcial. Porém, percebe-se que se o número de publicações continuar na média para o período, o ano de 2021 pode se tornar o ano com maior registro de publicações, mostrando o desenvolvimento crescente do tema analisado.

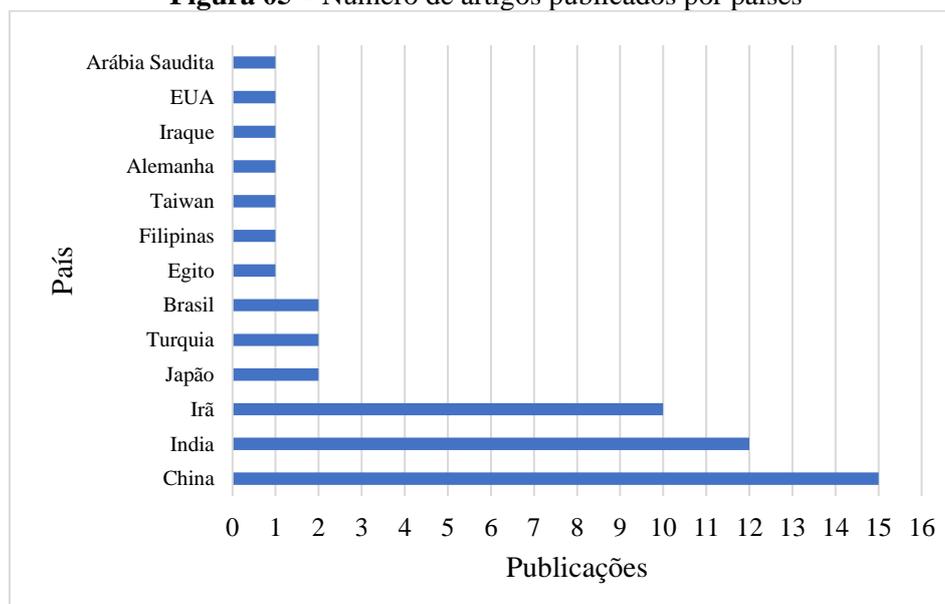
Figura 04 – Número de publicações dos artigos aceitos de 2018 a 2021



Fonte: Autores

Os resultados dos países que mais publicaram artigos sobre a utilização de fibras para o melhoramento de solos são mostrados na Figura 05. A temática é tratada por vários países, na qual destaca-se a China com 15 publicações, a Índia com 12 publicações e o Irã com 10 publicações nos últimos 4 anos.

Figura 05 – Número de artigos publicados por países

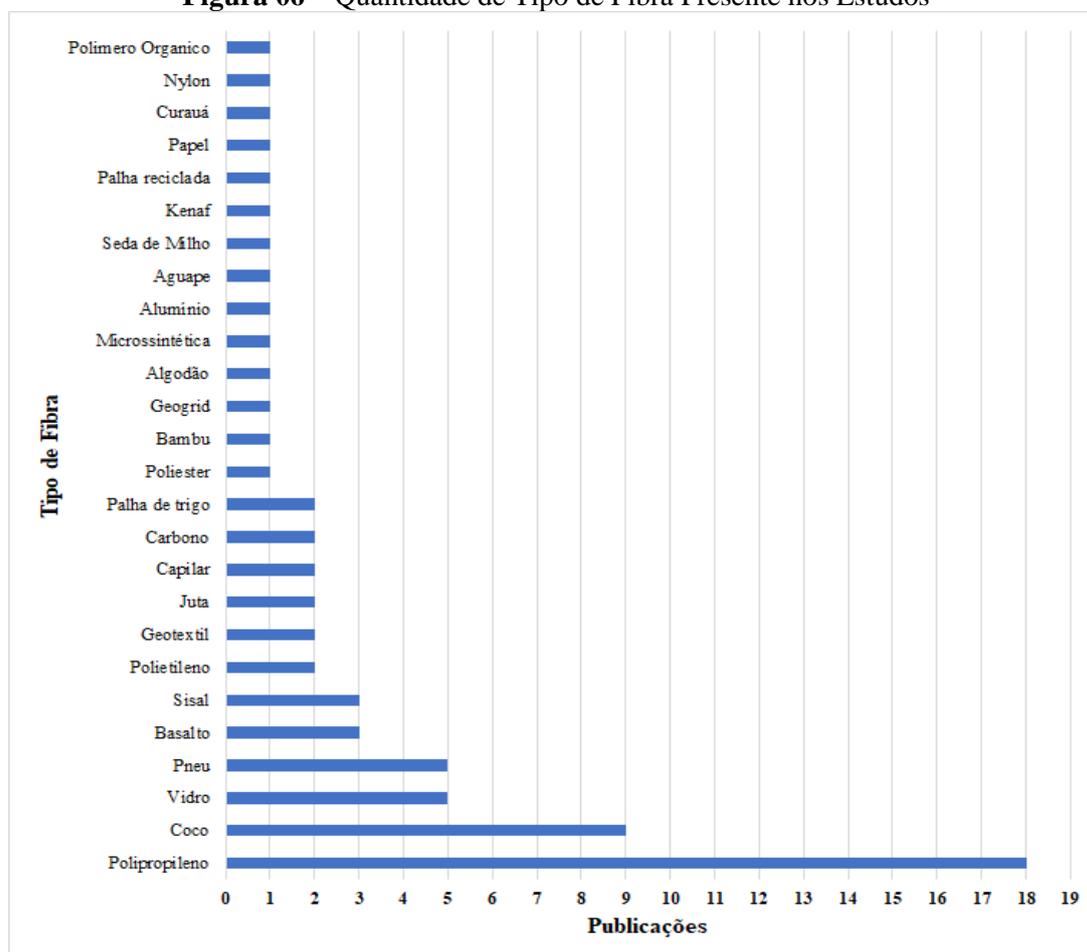


Fonte: Autores

Importante mencionar que dos 50 artigos analisados, o autor Abbaspour, M. (Universidade de Tecnologia Amirkabir, Irã) se destaca com três publicações; outros destaques são os autores Liu, J. (Escola de Ciências da Terra e Engenharia, Universidade Hohai, China) e Sahu, R. (Instituto Indiano de Tecnologia de Delhi, Índia), com duas publicações.

Identificou-se uma quantidade variada de tipos de fibras, tanto sintéticas, quanto naturais, conforme a Figura 06. A fibra de polipropileno (sintética) merece destaque, pois aparece em 18 artigos. Em seguida, a fibra de coco (natural) presente em oito publicações.

Figura 06 – Quantidade de Tipo de Fibra Presente nos Estudos



Fonte: Autores

A Figura 07 apresenta uma nuvem de palavras com os nomes dos periódicos quanto a frequência de publicação, na qual verifica-se que o “*Journal of Materials in Civil Engineering*” e o “*International Journal of Civil Engineering and Technology*” aparecem com o maior tamanho da fonte, indicando que são os periódicos que mais publicaram artigos relacionados ao objetivo desta RSL.

comprimento uniforme da fibra que mostrou o melhor desempenho foi o de 15mm, porém se a fibra for adicionada de forma aleatória, com comprimentos variados, o desempenho é ainda melhor. Verificou-se que a adição de fibra em areia melhora a frequência natural da fundação (SAHU; AYOTHIRAMAN; RAMANA, 2020).

A fibra de poliéster de 4mm de comprimento apresentou um melhoramento do solo no resultado de resistência à compressão com um teor ideal de 0,6% (ZHAO *et al.*, 2020). Para Lv *et al* (2021) e Zhao *et al* (2020), o teor de fibra de carbono ideal, melhorando a resistência à compressão desse solo, varia de 0,8 a 1,4%. Liu *et al.* (2018) aponta que a adição de 4% de polímero orgânico foi o teor ideal para o aumento da resistência à compressão das amostras. Priyadarshee *et al.* (2019) concluíram que a fibra de vidro, com teor de 4% e 80mm foi o que apresentou o melhor resultado para aumento da capacidade de carga do solo.

Utilizando o geotêxtil no solo, Talamkhani e Naeini (2021) reduziram o índice de fragilidade da areia misturado sob diferentes pressões de confinamento. Abo El-Naga, Elsiragy e Ragab (2020) testaram o solo com 1, 2 e 3 camadas de geotêxtil e geogrid, nas três situações houve aumento do valor de CBR, porém com duas camadas apresentou resultado mais eficiente. Ta'negonbadi, Noorzad e Shakery (2021) estudaram a adição de fibras de polietileno, e concluíram que o teor de fibra de 1% com comprimento de 15mm aumenta a resistência de cisalhamento.

A fibra de sisal, também pode ser utilizada para o melhoramento do solo, sendo que o teor de fibra de sisal ideal varia de 0,4 a 0,8% para o aumento das resistências à compressão e cisalhamento (BAI *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2020; SILVEIRA; CASAGRANDE, 2021). Outro tipo de fibra que melhorou o solo foi a fibra de basalto. Para Liu *et al.* (2020), o uso de 0,8% da fibra aumenta a resistência à compressão em 47,92% e à tração em 253,08%. Lv *et al.* (2021) concluíram que teor 0,8% e comprimento de 12mm apresentou o melhor resultado de resistência a compressão. Já Zhao *et al.* (2020) encontraram que o teor de 1,4% de fibra com comprimento de 4mm apresentou o melhor resultado da resistência à compressão.

Sonmezer (2019) utilizou a fibra de polipropileno, variando sua porcentagem de 0,25% a 1,0%. O autor concluiu que a resistência ao cisalhamento teve os melhores resultados com 1,0% de fibra e comprimento de 19mm. Ta'negonbadi, Noorzad e Shakery (2021) corroboram com o teor citado, afirmando ainda que o teor de 1% de polipropileno aumentou em 7 vezes a resistência ao cisalhamento da areia não reforçada, sendo maior

do que a areia reforçada com polietileno (para adição de fibra de 1% e 15 mm de comprimento) devido à maior resistência à tração desta fibra.

Já para Liu et al. (2018), Abo El-Naga, Elsiragy e Ragab (2020) e Zhao et al. (2020), os melhores resultados em relação à resistência à compressão foram encontrados para um teor de 0,6%. A inclusão de fibras no solo aumentou os valores de CBR, principalmente numa taxa de 0,6% de teor de fibra, obtendo um aumento de 177% do valor de CBR comparado ao solo não reforçado, acima de 0,6%, a taxa de aumento foi pequena (ABO EL-NAGA; ELSIRAGY; RAGAD, 2020).

- Para solo argiloso:

Com o aumento dos teores de fibra de palha de trigo, Soleimani-Fard, Konig e Goudarzy (2021), apresentou uma redução do encolhimento e índice de vazios das amostras, tornando também o solo reforçado mais dúctil. O solo com reforço de fibra apresentou melhoras nos resultados de resistência à compressão, concluindo que pode ser utilizado para reforço do solo com característica argilosa (ALDAOOD; KHALIL; ALKIKI, 2020). Segundo Liu *et al.* (2020) a utilização de fibra de algodão apresentou um aumento de resistência à compressão de 63,5%, com um teor de fibra ideal de 1,0% e comprimento de 3,09cm.

A fibra de kenaf utilizada por EsmailpourShirvani *et al.* (2019), apresentou uma alternativa para melhoramento de solo de encostas, evitando fissuração das camadas de pavimentação e aumentando 15% a resistência a cisalhamento do solo. A fibra de juta também é uma alternativa para melhorar as propriedades mecânicas. Zhao *et al.* (2019) concluíram que adição da tal fibra pode aumentar a resistência de solo. Segundo Ahanger e Bawa (2018), quanto maior o teor de fibra, maior será os valores de CBR do solo, e consideram que o teor ideal é de 0,75%.

Para Valipour, Shourijeh e Mohammadinia (2021), a maior resistência ao cisalhamento em solo argiloso é obtida com 0,5% de fibra de pneu. Em termos de ductilidade, pode-se afirmar que embora a inclusão da fibra leve a um ligeiro aumento na deformação final, o comportamento de amolecimento de deformação ainda é observado em todos os teores de fibra (ABBASPOUR *et al.*, 2020). Segundo Valipour, Shourijeh e Mohammadinia (2021), a introdução de fibras de vidro nas argilas resulta na diminuição da densidade seca máxima e aumento do teor de umidade ideal de compactação. Os mesmos autores ainda destacam que a maior resistência ao cisalhamento, entre as proporções de 0,5%, 1,0% e 1,5%, foi a com o teor de 1,0% de vidro.

Vakili et al. (2018) analisaram a utilização da fibra de polipropileno em uma argila dispersiva, na qual concluíram que o teor de 1,4% foi capaz de reduzir 55% do potencial de dispersividade trazendo a amostra inicialmente dispersiva para a categoria de dispersividade intermediária. Para atingir o objetivo de caracterização como solo não dispersivo, utilizou-se uma combinação de 2% de lignossulfonato (polímero) e 0,35% de fibra de polipropileno, reduzindo em 76% o potencial de dispersividade.

Urs, Nanjunda e Thejas (2020) concluíram que a inclusão de fibra de coco aumenta tanto o valor do CBR, como o de resistência à compressão não confinada, sendo que, com 1,0% de fibra, o valor do CBR encontrado foi 233,5% maior do que o do solo não reforçado. Pachauri, Indu Priya e Garg (2019), estudaram de 0,5% a 1,0% de fibra de coco e corroboram que 1,0% de fibra resultou nos melhores resultados, afirmando ainda que o resultado a resistência a compressão do solo com fibra de coco foi mais alta que o solo com 0,75% de fibra de polipropileno. Torio-Kaimo, Diego e Alcantara (2020) realizaram testes com até 2,0% de fibra, afirmando que o teor 1,5% foi o que apresentou melhor resistência à compressão, aumentando 52% em comparação com o solo não reforçado e 78% o módulo de elasticidade.

- Para solo silte argiloso:

Tran, Satomi e Takahashi (2018), confirmou que a seda de milho pode ser usada para reforço de solo, principalmente utilizando um teor de 1% e comprimentos de 10 e 30mm, pois aumentam a resistência a compressão do solo. Zhao et al. (2019) concluíram que a fibra de aguapé é uma alternativa que pode aumentar o valor da densidade do solo silte argiloso, porém o teor de umidade do solo pode diminuir.

Kurugodu *et al.* (2018) utilizaram a fibra de polipropileno num solo do tipo silte argiloso, analisando um teor de fibra variando de 0,5% a 1,0%. Os autores concluíram que o teor ótimo é de 0,7%, que acima disso a resistência começa a diminuir e que o teor acima de 0,9% começa a prejudicar a resistência do solo.

Abbaspour, Aflaki e Moghadas Nejad (2019) analisaram a utilização de fibra de pneu em siltes argilosos e arenosos. Os autores afirmam que os resultados do UCS mostram que a adição da fibra em argila diminui significativamente a resistência do solo e que a fibra em solo arenoso, em qualquer conteúdo, resulta em aumento significativo da resistência, porém um teor acima de 1,0% apresenta resultado constante.

- Demais tipos de solo:

O *black cotton soil* (solo de algodão preto) é um tipo encontrado na Índia. Segundo Raju, Sruthi e Sravanthi, (2018), a fibra de coco melhora a resistência ao cisalhamento quando adicionada até um teor de 0,75% de incorporação, acima disso a resistência começa a diminuir. Os autores ainda destacam que a força de cisalhamento do solo reforçado com 0,75% de fibra e 20mm de comprimento, equivale a aproximadamente 2 vezes a força de cisalhamento do solo não reforçado. Jairaj, Kumar e Ramesh (2020) destacam que a fibra de coco pode eventualmente ser degradada devido à reação exotérmica no período de cura, resultando na alteração das características da fibra. Raman, Aiswarya e Abraham (2018) mostram que 2% de fibra de polietileno, com comprimento de 5mm, apresentam o melhor valor de CBR.

Assim como a fibra de coco, a fibra de polipropileno foi estudada no *black cotton soil* (solo de algodão preto). Raman, Aiswarya e Abraham (2018) concluíram que há melhora no CBR com a utilização da fibra sintética, encontrando um valor de CBR máximo com a utilização de 2% de polipropileno. Os autores afirmam que com o aumento no valor do CBR devido a adição de fibras, é possível reduzir a espessura da camada de subleito para pavimentos flexíveis. Gupta, Khati e Kumar (2018) utilizaram a fibra de alumínio e apresentaram melhorias nos teste de CBR aumentando a capacidade de carga em teores de fibra entre 0,26 e 0,78%.

Xue *et al.* (2021) utilizaram fibra de palha reciclada com comprimento variando de 5-30mm para melhorar o comportamento do solo loess natura (solo encontrado na China). Eles concluíram que em todos os teores adicionados houve uma melhora na resistência ao cisalhamento do solo, sendo que o teor de 0,60% foi o que apresentou o melhor resultado.

Chen *et al.* (2021), utilizaram a fibra de bambu para melhoramento de solo de turba. Para 10% de adição de fibras o resultado não foi significativo, porém observaram que a adição de 50% de fibra, em 7 dias de cura, apresentou 40 vezes mais resistência ao cisalhamento do que o solo sem reforço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim é possível observar que o tema vem sendo bastante estudado nos últimos anos, visto que os artigos analisados datam dos últimos 4 anos. Verificou-se que a China

é o país que mais vem abordando o assunto, e que, no Brasil, há apenas duas pesquisas sobre o tema (CONSOLI *et al.* 2021; SILVEIRA; CASAGRANDE, 2021).

Foram estudados diversos tipos de fibra que podem ser uma alternativa para melhorar o solo com característica arenosa ou argilosa referente a resistência à compressão não confinada, resistência ao cisalhamento e aos valores de CBR, principais ensaios apresentados pelos autores. Vale ressaltar que a fibra sintética e natural mais empregada foram a de polipropileno (18 estudos) e coco (9 estudos), respectivamente.

Os teores ideais de fibras para o melhoramento do solo são bastante diversificados. Vários parâmetros podem alterar esse teor, como: tipo de fibra a utilizar; o tipo de solo e a região do estudo; comprimento da fibra; adição de resíduos/aditivos; o carregamento aplicado no ensaio; a quantidade de água para saturação do solo.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, M.; NARANI, S.S.; AFLAKI, E.; MOGHADAS NEJAD, F. Behavior of a Subgrade Soil Reinforced by Waste Tire Textile Fibers under Static and Cyclic Loading. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 8, 2020a.

ABBASPOUR, M. ; NARANI, S. S. ; AFLAKI, E. ; MOGHADAS NEJAD, F. ; MIR MOHAMMAD HOSSEINI, S. M. Strength and swelling properties of a waste tire textile fiber-reinforced expansive soil. **Geosynthetics International**, v. 27, n. 5, p. 476–489, 2020b.

ABBASPOUR, M.; AFLAKI, E.; MOGHADAS NEJAD, F. Reuse of waste tire textile fibers as soil reinforcement. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 1059–1071, 2019.

ABO EL-NAGA, I.; ELSIRAGY, M.N.; RAGAB, M. Utilization of synthetic reinforcement for enhancement of oil-contaminated subgrade soil in highway pavement. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 5, n. 2, 2020.

AHANGER, Z.I.; BAWA, A. Utilization of jute fibre as soil reinforcement. **Int. Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 8, p. 1320–1326, 2018.

ALDAOOD, A.; KHALIL, A.; ALKIKI, I. Impact of randomly distributed hay fibers on engineering properties of clay soil. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 14, n. 3, p. 406–416, 2020.

BAI, Y.; LIU, J.; SONG, Z.; CHEN, Z.; JIANG, C.; LAN, X.; SHI, X.; BU, F.; KANUNGO, D.P. Unconfined compressive properties of composite sand stabilized with organic polymers and natural fibers. **Polymers**, v. 11, n. 10, 2019.

BISPO, C.O.; MELO, N.A.; TOUJAGUEZ, R. Ocupação irregular de encostas urbanas no município de Maceió-AL. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 13, n. 1, p. 2016-229. 2019.

CHEN, M.; GOWTHAMAN, S.; NAKASHIMA, K.; KAWASAKI, S. Evaluating Mechanical Strength of Peat Soil Treated by Fiber Incorporated io-cementation. **International Journal of GEOMATE**, v. 20, n. 78, p. 121–127, 2021.

CONSOLI, N.C.; FESTUGATO, L.; MIGUEL, G.D.; MOREIRA, E.B.; SCHEUERMANN FILHO, H.C. Fatigue life of green stabilized fiber-reinforced sulfate-rich dispersive soil. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 9, 2021.

DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Acta Médica Portuguesa**, v. 32, n. 3, 2019.

ESMAEILPOURSHIRVANI, N.; TAGHAVIGHALESARI, A.; TABARI, M.K.; CHOBBASTI, A.J. Improvement of the engineering behavior of sand-clay mixtures using kenaf fiber reinforcement. **Transportation Geotechnics**, v. 19, p. 1–8, 2019.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GHADR, S.; BAHADORI, H. Anisotropic Behavior of Fiber-Reinforced Sands. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, n. 11, 2019.

GUPTA, A.; KHATI, B.S.; KUMAR, D. Effect of random inclusion of aluminium strands on strength behavior of soil. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 4, p. 175–180, 2018.

JAIRAJ, C.; PRATHAP KUMAR, M.T.; RAMESH, H.N. Effect of addition of lime on coir fiber admixed BC. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 5, n. 2, 2020.

KURUGODU, H.V.; BORDOLOI, S.; HONG, Y.; GARG, ANKIT; GARG, AKHIL; SREEDEEP, S.; GANDOMI, A.H. Genetic programming for soil-fiber composite assessment. **Advances in Engineering Software**, v. 122, p. 50–61, 2018.

LI, C.; ZORNBERG, J.G. Shear Strength Behavior of Soils Reinforced with Weak Fibers. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 145, n. 9, 2019.

LIU, J.-L.; HOU, T.-S.; LUO, Y.-S.; CUI, Y.-X. Experimental Study on Unconsolidated Undrained Shear Strength Characteristics of Synthetic Cotton Fiber Reinforced Soil. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 38, n. 2, p. 1773–1783, 2020.

LIU, J.; BAI, Y.X.; SONG, Z.Z.; KANUNGO, D.P.; WANG, Y.; BU, F.; CHEN, Z.H.; SHI, X. Stabilization of sand using different types of short fibers and organic polymer. **Construction and Building Materials**, v. 253, 2020.

- LIU, J.; BAI, Y.; FENG, Q.; SONG, Z.; WEI, J.; SUN, S.; KANUNGO, D.P. Strength properties of sand reinforced with a mixture of organic polymer stabilizer and polypropylene fiber. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, n. 12, 2018.
- LV, C.; ZHU, C.; TANG, C.-S.; CHENG, Q.; YIN, L.-Y.; SHI, B. Effect of fiber reinforcement on the mechanical behavior of bio-cemented sand. **Geosynthetics International**, v. 28, n. 2, p. 195–205, 2021.
- MIRANDA, A. C. da S.; LIMA, A. M. M. de. Análise de Erosões Urbanas e o Risco associado as Voçorocas de Açailândia-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, abr. 2021.
- NASCIMENTO, L. A.; SILVA, T. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SANTOS, M. J. P.; CAAVALCANTI, A. R. 'Urbanização desordenada e degradação ambiental associados a escorregamentos: Uma abordagem metodológica para análise temporal de ocupações subnormais.'. **CIÊNCIA E NATUREA**, v. 42, p. e81, 2020.
- NARANI, S.S.; ABBASPOUR, M.; MIR MOHAMMAD HOSSEINI, S.M.; MOGHADAS NEJAD, F. Long-term dynamic behavior of a sandy subgrade reinforced by Waste Tire Textile Fibers (WTTFs). **Transportation Geotechnics**, v. 24, 2020.
- OKOLI, C. Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. **EAD em Foco**, v. 9, n. 1, 2019.
- PACHAURI, S.; INDU PRIYA, M.; GARG, A. Comparative analysis of strength characteristics of soil reinforced with coir and polypropylene fibers. **Lecture Notes in Civil Engineering**, v. 14, 2019.
- PEREIRA, P. B.; NUNES, H. K. B.; ARAÚJO, F. A. S. Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias/Maranhão/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 3, 2021.
- PRIYADARSHEE, A.; KUMAR, A.; SHARMA, V.; KUMAR, V. A Study on the Influence of Confining Pressure on the Behavior of Fiber-Reinforced Soil. **Lecture Notes in Civil Engineering**, v. 30, 2019.
- RAJU, A.N.; SRUTHI, V.; SRAVANTHI, P. Shear strength variation of expansive soil by the inclusion of discrete randomly distributed coir fiber. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 4, p. 1417–1425, 2018.
- RAMAN, S.J.; AISWARYA, S.; ABRAHAM, S.D. Influential effect of random inclusion of synthetic fibers to improve the strength characteristics of black cotton soil. **Int. Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 4, p. 1058–1066, 2018.
- SAHU, R.; AYOTHIRAMAN, R.; RAMANA, G.V. Dynamic Response of Model Footing on Hair Fiber-Reinforced Sand. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 38, n. 6, p. 5897–5913, 2020.

SAHU, R.; AYOTHIRAMAN, R.; RAMANA, G.V. Effect of waste human hair fibers on shear behavior of sand in dry and saturated conditions. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 47, n. 1, p. 153–173, 2018.

SANTOS, M. J. P. **Reforço de um solo erodível com resíduos de construção e fibras de coco babaçu**. Dissertação (Mestrado) Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

SIDDAWAY, Andy P.; WOOD, Alex M.; HEDGES, Larry V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. **Annual review of psychology**, v. 70, p. 747-770, 2019.

SILVEIRA, M.V.; CASAGRANDE, M.D.T. Effects of Degradation of Vegetal Fibers on the Mechanical Behavior of Reinforced Sand. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 39, n. 5, p. 3875–3887, 2021.

SONMEZER, Y.B. Investigation of the liquefaction potential of fiber-reinforced sand. **Geomechanics and Engineering**, v. 18, n. 5, p. 503–513, 2019.

SOLEIMANI-FARD, H.; KONIG, D.; E GOUDARZY, M. Plane strain shear strength of unsaturated fiber-reinforced finegrained soils. **Acta Geotechnica**. v. 17, p. 105-118, 2021.

TA'NEGONBADI, B.; NOORZAD, R.; SHAKERY, P. Engineering properties of sand reinforced with plastic waste. **Scientia Iranica**, v. 28, n. 3 B, p. 1212–1222, 2021.

TALAMKHANI, S.; NAEINI, S.A. The Undrained Shear Behavior of Reinforced Clayey Sand. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 39, n. 1, p.265–283, 2021.

TORIO-KAIMO, L.V.; DIEGO, A.M.S.; ALCANTARA, M.T.M. Unconfined compressive strength of clay reinforced with kerosene-treated coir fiber. **International Journal of GEOMATE**, v. 18, n. 69, p. 97–103, 2020.

TRAN, K.Q.; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Effect of waste cornsilk fiber reinforcement on mechanical properties of soft soils. **Transportation Geotechnics**, v. 16, p. 76–84, 2018.

URS, Y.C.; NANJUNDA, K.N.; THEJAS, H.K. Effect of glass and coir fiber on geotechnical properties of clayey soil. **International Journal of Advanced Science and Technology**, v. 29, n. 3, p. 5212–5218, 2020.

VAKILI, A.H.; GHASEMI, J.; BIN SELAMAT, M.R.; SALIMI, M.; FARHADI, M.S. Internal erosional behaviour of dispersive clay stabilized with lignosulfonate and reinforced with polypropylene fiber. **Construction and Building Materials**, v. 193, p. 405–415, 2018.

VALIPOUR, M.; SHOURIJEH, P.T.; MOHAMMADINIA, A. Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement. **Transportation Geotechnics**, v. 27, 2021.

WU, L.; WEI, Q.; LIU, J.; SONG, Z.; KANUNGO, D.P.; BAI, Y.; BU, F. Sisal fiber-polymer-treated sand mechanical properties in triaxial test. **Environmental and Engineering Geoscience**, v. 66, n. 1, p. 227–242, 2020.

XUE, Z.F.; CHENG, W.C.; WANG, L.; SONG, G.Y. Improvement of the Shearing Behaviour of Loess Using Recycled Straw Fiber Reinforcement. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 25, n. 9, p. 3319–3335, 2021.

ZHAO, L.S.; ZHOU, W.H.; SU, L.J.; GARG, A.; YUEN, K.V. Selection of Physical and Chemical Properties of Natural Fibers for Predicting Soil Reinforcement. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, n. 10, 2019.

ZHAO, Y.; XIAO, Z.; FAN, C.; SHEN, W.; WANG, Q.; LIU, P. Comparative mechanical behaviors of four fiber-reinforced sand cemented by microbially induced carbonate precipitation. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 79, n. 6, p. 3075–3086, 2020.

Recebido em: 2022

Aprovado em: 2022

Publicado em: 2022