

Incorporação das Fibras de Papel Kraft Como Técnica de Melhoria de Solo em Comparação a Estabilização Tradicional de Solo com Cimento

José Hugo Pereira do Nascimento

Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Palmeira dos Índios, Brasil, jhpn1@aluno.ifal.edu.br

Margarete Helen Magalhães Oliveira

Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Palmeira dos Índios, Brasil, mhmo1@aluno.ifal.edu.br

Paulo Evson Soares da Silva

Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Palmeira dos Índios, Brasil, pess3@aluno.ifal.edu.br

Rafael Araújo Guillou

Docente do curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Palmeira dos Índios, Brasil, rafael.guillou@ifal.edu.br

Rayanne Karlla Santos da Silva

Docente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Delmiro Gouveia, Brasil, rayanne.silva@delmiro.ufal.br

RESUMO: Na construção civil, um solo pode ser utilizado em seu estado natural ou reforçado/melhorado com o intuito de alcançar um desempenho mais eficiente. A nível de melhoria, novos processos de estabilização estão se tornando opções interessantes, e resíduos de construção e demolição com potencial de aplicação precisam ser estudados. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da adição de fibras de papel kraft no melhoramento do solo, fazendo uma comparação com a técnica já conhecida de solo melhorado com cimento. Para tanto, a metodologia consiste em estudar uma amostra de solo arenoso através de ensaios laboratoriais sem e com a incorporação, em percentuais variados, dos materiais: Cimento Portland e papel kraft, em suas amostras. Os ensaios de granulometria, sedimentação e compactação serão realizados nessa caracterização. Como resultados esperados, anseia-se que a incorporação das fibras de papel kraft melhore as propriedades das amostras e que haja uma porcentagem adequada desta técnica cuja eficácia se assemelhe à do cimento Portland, fazendo com que esse método de estabilização possa ser incorporado nos processos da construção civil, haja vista os benefícios ambientais e econômicos.

PALAVRAS-CHAVE: Solo, Fibras, Cimento, Compactação, Melhoria

ABSTRACT: In civil construction, soil can be used either in its natural state or reinforced/improved to achieve more efficient performance. Regarding improvement, new stabilization processes are becoming interesting options, and construction and demolition waste with potential applications need to be studied. In this context, the objective of this research is to evaluate the influence of adding kraft paper fibers on soil improvement, comparing it with the well-known technique of cement-stabilized soil. The methodology involves studying a sample of sandy soil through laboratory tests, both without and with varying percentages of incorporation of materials: Portland cement and kraft paper. Tests including particle size analysis, sedimentation, and compaction will be conducted for characterization. The expected results aim to demonstrate that incorporating kraft paper fibers enhances sample properties, and to identify an optimal percentage of this technique whose

effectiveness rivals that of Portland cement. This stabilization method could thus be integrated into civil construction processes, considering its environmental and economic benefits.

KEYWORDS: Soil, Fibers, Cement, Compaction, Improvement

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Terzaghi (1943), o solo é o resultado da combinação de partículas minerais e orgânicas, juntamente com a presença de água e ar que preenchem meticulosamente os espaços vazios entre essas partículas.

Segundo Ingles e Metcalf (1972), é comum que, sob a perspectiva geotécnica, os solos naturais apresentem propriedades mecânicas insuficientes para serem utilizados de forma adequada em projetos de engenharia. Nesse contexto, Leon (2018) destaca que a aplicação de técnicas de melhoramento do solo permite uma maior exploração dos materiais disponíveis localmente, resultando em economia de recursos financeiros e naturais.

Uma técnica amplamente aplicada é a estabilização do solo com cimento, que, segundo Freire (1976), envolve a mistura de solo, cimento Portland e água. Quando essa mistura é compactada com o teor de umidade ótima, resulta em um material estruturalmente resistente, estável, durável e de baixo custo.

Muitos são os tipos de adições estudadas para serem empregadas no melhoramento de um solo. Segundo Santos et al. (2022), se tem para solos arenosos estudos e bons resultados com fibras de nylon, papel e sisal. Já para solos argilosos as fibras de pneu, polipropileno, coco, entre outras são apresentadas com bom desempenho.

Pelo estudo de Buson (2009), às fibras dispersas de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimentos, quando usadas em Blocos de Terra Compactada – BTCs, apresentaram um bom desempenho como estabilizante para melhorar propriedades físicas, mecânicas e características dos BTCs.

A utilização dessas fibras emerge como aspecto dinâmico positivo na cadeia ambiental, tendo em vista que a atividade de reciclagem corrobora com a preservação de recursos naturais, isso porque de acordo com Buson (2009), a construção civil é responsável por grande parte dos resíduos que são descartados diariamente em todo o mundo, entre esses materiais encontram-se os sacos de cimento feitos de papel kraft natural multifoliado.

Tendo como base as prerrogativas acima, busca-se responder: “As fibras de papel kraft, após tratadas, podem ser utilizadas como técnica eficiente de melhoramento de solo?”.

2 OBJETIVOS

Estudar a viabilidade da incorporação de fibras de papel kraft como método de melhoramento de solo, analisando sua influência nas propriedades do solo, especialmente em relação à resistência, e comparando os resultados obtidos com a técnica já estabelecida de solo melhorado com cimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é conduzida sob uma metodologia experimental, abordando aspectos qualitativos e quantitativos. Estão sendo realizados levantamentos teóricos, caracterizações físico-químicas e ensaios tecnológicos para avaliar a viabilidade da incorporação de fibras de papel kraft e cimento para o melhoramento de solo, na Figura 1, tem-se um fluxograma sobre a metodologia elaborada pelos autores.

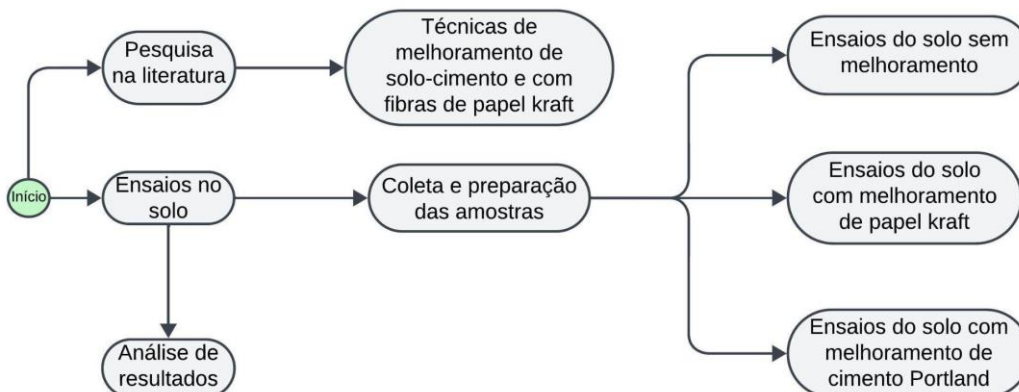


Figura 1. Fluxograma da metodologia.

3.1 Coleta dos Materiais

A coleta do solo foi realizada na forma de amostra deformada em dezembro de 2023, na cidade de Quebrangulo, situada no agreste alagoano. O solo foi retirado de uma profundidade entre 0,80m e 1,00m e armazenado em um saco plástico. Além disso, foram coletados sacos de cimento vazios, provenientes de uma obra na cidade de Arapiraca/AL, para a extração das fibras de papel kraft. O Cimento Portland foi obtido diretamente do setor de obras do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, localizado na cidade de Palmeira dos Índios/AL.

Ambos os insumos recolhidos foram levados ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Materiais de Construção Civil do IFAL. Através da Figura 2, elaborada pelos autores, pode ser visualizado o solo e os sacos de cimento reunidos.



Figura 2. Coleta dos materiais: a) amostra do solo; b) sacos de cimento vazios.

3.2 Ensaio de Laboratório

A amostra de solo foi espalhada para secar ao ar livre e à sombra. Em seguida, o solo foi destorroado utilizando almofariz de porcelana e mão de gral, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016), que estabelece procedimentos para a preparação de amostras de solo para ensaios de caracterização e de compactação. Após essa preparação, foram realizados os demais testes descritos nos tópicos subsequentes.

3.2.1. Ensaio de Granulometria e Compactação

Logo em seguida foi realizado o ensaio de granulometria composto por peneiramento e sedimentação, que é preconizado pela NBR 7181 (ABNT, 2016), o teste permite obter dados para a construção de uma curva granulométrica, que dá as porcentagens de pedregulhos, areias, argilas e siltes. É possível ainda obter parâmetros relacionados à curvatura do gráfico de granulometria, como o coeficiente de uniformidade (Cu), e coeficiente de curvatura (Cc).

Para o peneiramento foi utilizado o jogo padrão de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075mm. Na sedimentação seguiu-se o procedimento de anotação das densidades e temperaturas em diferentes tempos para uma mistura de água destilada, hexametáfosfato de sódio em solução (defloculante) e solo que passa na peneira de 2,0 mm.

A massa específica dos grãos pode ser determinada em laboratório com o uso de um picnômetro devidamente calibrado, como determina a NBR 6508 (ABNT, 2016), ou ainda é possível estimar esse valor através da literatura. De acordo com Pinto (2006), esses valores variam pouco e quando não se tem a informação vinda do ensaio, pode-se adotar uma média de 2,70 g/cm³ ou 2,65 g/cm³, para grãos de quartzo (areia) e 3,00 g/cm³ para argilas lateríticas.

Para o ensaio de compactação foi realizado o de energia Proctor normal, com o seguinte procedimento: Pegou-se uma amostra aleatória do solo e passou-se por uma peneira de abertura de 4,80 mm, assim como é descrito na NBR 7182 (ABNT, 2016), pesou-se aproximadamente 3,00 kg de solo, o qual foi espalhado sobre uma bandeja, umidificado por borrifamento de água e homogeneizado, para posterior confecção dos corpos de prova no cilindro pequeno, com soquete pequeno. A metodologia do ensaio foi realizada com o reaproveitamento de amostra, sendo compactados 5 corpos de provas. A Figura 3 contém uma das etapas do processo elaborado pelos autores.



Figura 3. Realização do ensaio de compactação.

A compactação do solo com as adições de cimento e fibras de papel kraft seguiram os mesmos procedimentos presente na NBR 7182 (ABNT, 2016). As adições escolhidas foram de 4% de cimento e 4% de fibras de papel kraft, compactadas separadamente.

As fibras de papel kraft foram preparadas iniciando pela limpeza dos sacos de cimento para evitar contaminação, seguidas do corte em pequenos pedaços, lavagem, molho longo para amolecimento do papel, processamento no liquidificador para obtenção da polpa da celulose, retirada do excesso de água e, por fim, dissociação em uma argamassadeira. Esse procedimento é observado na Figura 4, elaborada pelos autores.

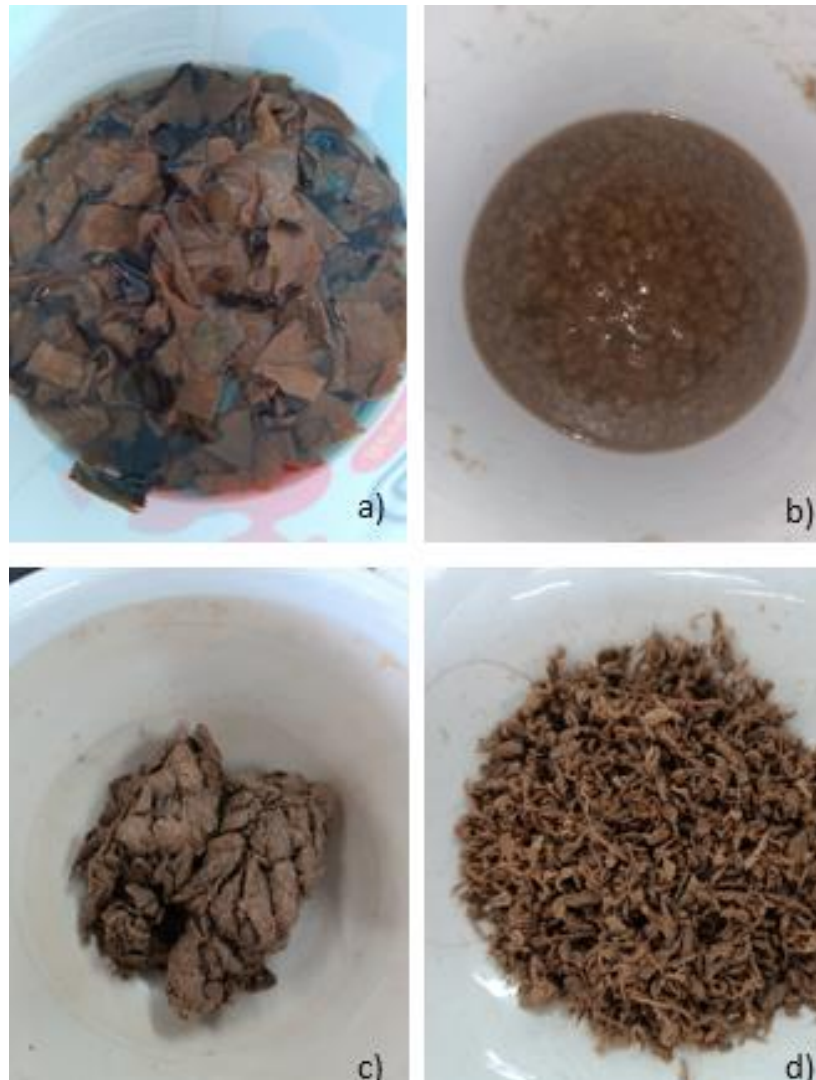


Figura 4. Processo para obtenção das fibras dispersas de papel kraft: a) kraft fragmentado e molhado; b) polpa de celulose; c) polpa sem o excesso de água (após a torção); d) fibras dispersas na argamassadeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos através dos ensaios feitos no Laboratório de Mecânica dos Solos e Materiais de Construção Civil do IFAL e expostos em duas etapas, primeiro será abordado e discutido os resultados do ensaio de granulometria e em seguida tem-se a mesma discussão e apresentação dos resultados para os ensaios de compactação Proctor normal.

4.1 Análise Granulométrica

Com os resultados do ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação foi possível traçar uma curva granulométrica, que relaciona a porcentagem de solo passante pelo diâmetro das partículas do mesmo em escala logarítmica, conforme a Figura 5, elaborada pelos autores.

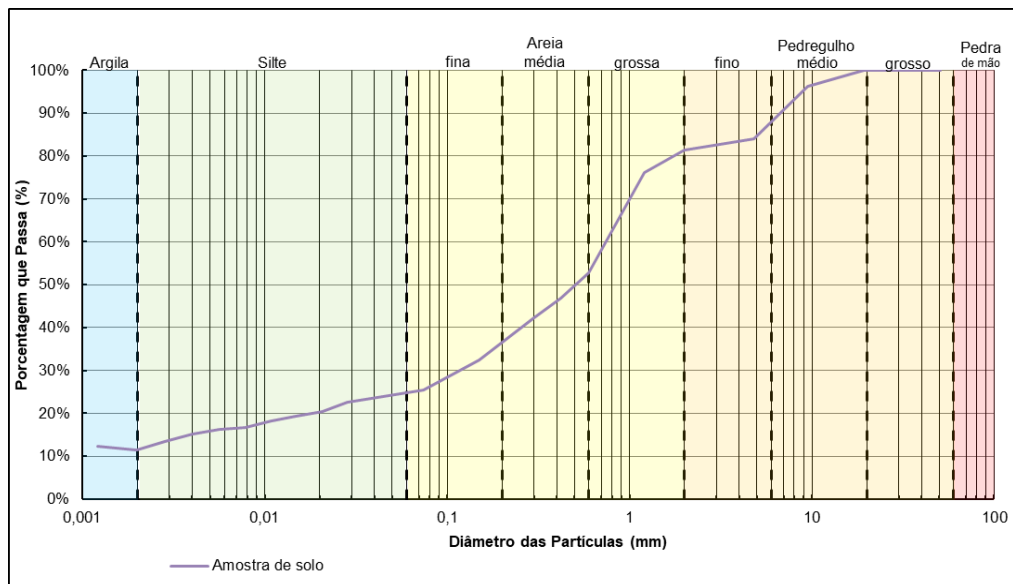


Figura 5. Curva granulométrica da amostra de solo.

Partindo da curva granulométrica apresentada na Figura 5, foi possível identificar as frações do solo, de acordo com as porcentagens passantes e o diâmetro das partículas, chegando-se a conclusão que a amostra é composta por 19% de pedregulho, 56% de areia, 14% de silte e 11% de argila, ou seja, trata-se de um solo com maior porcentagem de solo grosso (75%), podendo ser classificado como uma areia silto-argilosa com pedregulho. Devido às questões operacionais no laboratório, o valor da massa específica dos grãos do solo foi adotado pela literatura, segundo Pinto (2006), quando não se conhece esse valor por ensaios de laboratório, pode-se adotar como sendo de 2,70 g/cm³.

Ainda partindo dos diâmetros e das porcentagens de material passante, foi possível determinar a graduação e uniformidade, visto que, o resultado apresentou um solo desuniforme e mal graduado, indicado pelos dados da Tabela 1, elaborada pelos autores.

Tabela 1. Uniformidade e graduação da amostra de solo.

D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _c	C _u	Uniformidade	Graduação
0,0015	0,12	0,75	12,8	500	Desuniforme	Mal graduado

Com base nas características analisadas, o solo demonstra índices inadequados para aplicação em camadas de pavimentação. Solos mal graduados podem ocasionar problemas como deformações excessivas, deficiências na drenagem e risco de colapso da pavimentação, indicando a necessidade urgente de melhoramento.

4.2 Ensaios de Compactação

Os resultados dos ensaios de compactação estão sintetizados na Tabela 2, elaborada pelos autores, com os dados de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima nas condições de solo sem adição, solo melhorado com 4% de cimento e solo melhorado com 4% de fibras do papel kraft.

Tabela 2. Resultados para o peso específico aparente seco máximo e umidade ótima.

Amostra	Peso específico aparente seco (kN/m ³)	Umidade ótima (%)
Solo	20,20	10,00
Solo + cimento	20,10	11,70
Solo + fibras	19,00	14,00

Todas as curvas resultantes do ensaio de compactação apresentaram um formato parabólico, demonstrando coerência com os resultados típicos para esse tipo de ensaio, ver as Figura 6, Figura 7 e Figura 8, elaboradas pelos autores.

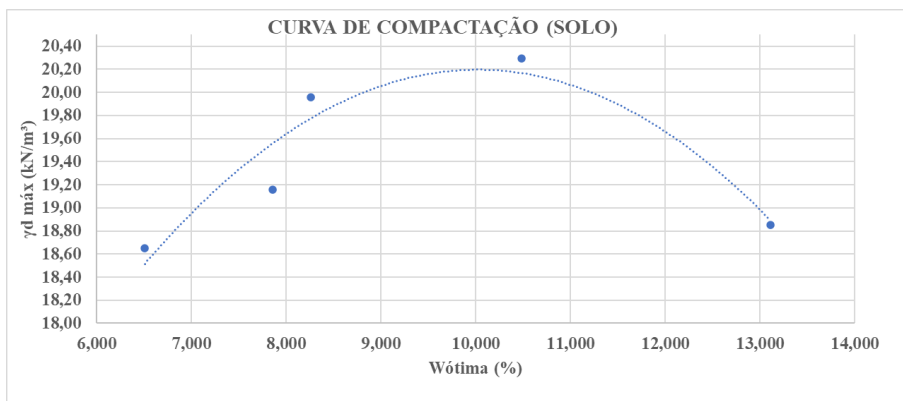


Figura 6. Curva compactação do solo sem adições.

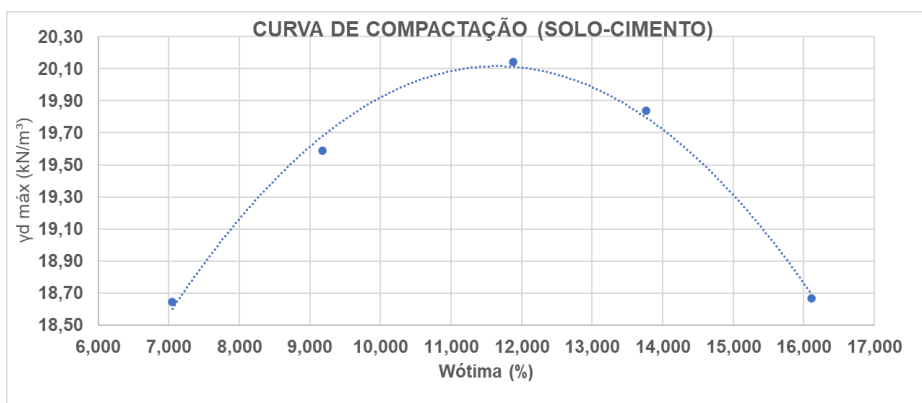


Figura 7. Curva de compactação solo melhorado com 4% de cimento

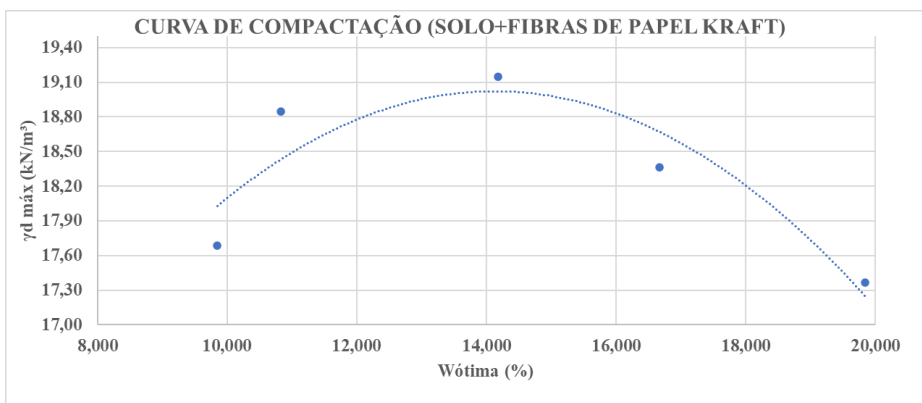


Figura 8. Curva de compactação solo melhorado com 4% de fibras de papel kraft.

Na Tabela 2, estão listados os valores de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$) e umidade ótima ($W_{\text{ótima}}$). Os resultados são consistentes entre si, especialmente para os dados apresentados nas Figuras 6 e 7, que correspondem ao solo e ao solo-cimento, mostrando valores similares de $\gamma_{d\text{máx}}$. Em comparação com os resultados do ensaio do solo melhorado com fibras, observa-se uma ligeira vantagem em termos de valores para os ensaios de compactação. O $\gamma_{d\text{máx}}$ da amostra com fibras apresentou uma redução de cerca de 5% em relação ao solo com e sem adição de cimento, além de um aumento significativo na $W_{\text{ótima}}$. Nesta configuração,

sugere que a incorporação de fibras não contribuiu significativamente para melhorar as propriedades de compactação do solo.

Realizar mais ensaios permite obter uma variedade de valores e aplicar tratamento de dados, como a média aritmética e variação nas porcentagens de fibras. No entanto, é importante considerar outros tipos de ensaios para avaliar a relevância do solo melhorado com fibras para sua utilização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos ensaios mostraram que o solo com fibras de papel kraft apresentam valores de $\gamma_{d\text{máx}}$ e $W_{\text{ótima}}$ levemente inferiores aos do solo-cimento. Ainda assim, é necessário realizar mais ensaios para obter uma gama maior de valores e confirmar essas tendências. Além disso, é importante considerar outros tipos de ensaios para avaliar a viabilidade de uso do solo com fibras de papel kraft em aplicações específicas.

As fibras devem auxiliar na melhoria da estabilidade do solo, ampliando a sua capacidade de sustentar movimentos e reduzindo a suscetibilidade à erosão. Todas essas características devem ser melhor visualizadas com os ensaios de cisalhamento direto, para verificar seus parâmetros relacionados ao ângulo de atrito e coesão.

Além disso, as fibras de papel kraft são um material sustentável, uma vez que são obtidas a partir de fontes renováveis. Portanto, sua utilização pode reduzir a quantidade de cimento necessária, o que pode resultar em economia de custos e redução do impacto ambiental.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL e ao Instituto Federal de Alagoas - IFAL, pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 6457. *Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização - método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 6458. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 7181. *Solo – análise granulométrica - método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 7182. *Solo – ensaio de compactação - método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Buson, Márcio Albuquerque (2009). *KRAFTTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel Kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 135p.
- Mogrovejo, D.R.L.; Albuquerque, P.J.R. *Avaliação da resistência à compressão não-confinada e cisalhamento de dois tipos de solos com adição de fibras de papel kraft*. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2018.
- Pinto, C. S. (2006). *Curso básico de mecânica dos solos. Em 16 aulas*. São Paulo: Oficina de textos, 3ª ed, p. 367.
- Santos, Igor Silva et al. *Reforço de solo erodível com utilização de fibras: Uma revisão sistemática da literatura*. Conjecturas, v. 22, n. 6, p. 288-304, 2022.
- Terzaghi, Karl. *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley and Sons, 1943.