

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM SOLO ARENOSO REFORÇADO COM GEOGRELHAS DERIVADAS DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

Emiliana de Souza Rezende Guedes
emilianarezende@hotmail.com

Geverson de Jesus Moura
geverson_gel@hotmail.com

Larissa Batista Santos
larissa_b.santos@hotmail.com

Thaynná Almeida dos Santos Bomfim
thaynna06_nana@hotmail.com

RESUMO - A Construção Civil é um dos principais responsáveis pelo crescimento da poluição ao redor do mundo. Por esse motivo, é importante que novos materiais sejam estudados de forma assídua em substituição àqueles que mais agridem o meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo principal analisar de forma comparativa o comportamento de um solo arenoso quanto à inclusão de geogrelhas de polipropileno e geogrelhas confeccionadas com cordas de sisal. A campanha experimental foi constituída pelos ensaios de análise granulométrica, massa específica dos sólidos, índice de vazios, e capacidade de carga. Neste último, buscou-se verificar a influência do tipo e número de reforços no comportamento mecânico do solo. Os resultados apontaram que uma única geogrelha de sisal é capaz de aumentar em 84,8% a capacidade de carga do solo, comportando-se similarmente ao reforço sintético. Nota-se que o emprego de mais camadas de reforço contribui significativamente para um aumento da capacidade de suporte e redução das deformações do solo, podendo atingir um aumento de até 162% quando inseridas três linhas de reforço.

Palavras-Chave: Sisal, capacidade de carga, geogrelha, reforço.

INTRODUÇÃO

Na construção civil, é de suma importância que as condições geotécnicas do terreno onde uma obra está sendo executada sejam observadas. Isso se dá, principalmente, ao fato de que em

determinados casos, haverá a necessidade de se construir o empreendimento em um local desfavorável, cujo solo apresenta recalques excessivos e baixa capacidade de suporte. Tal comportamento é comum aos solos moles, que são essencialmente compostos por argilas moles ou areias argilosas fofas de deposição recente.

Para contornar esse tipo de situação, a engenharia geotécnica dispõe de técnicas de reforço ou estabilização de solos, que proporcionam um aumento significativo na capacidade de suporte do maciço de fundação, e conseqüente diminuição da sua compressibilidade. Uma prática comum que vem se estendendo ao longo dos últimos anos é o uso de geossintéticos como reforço de solo, que segundo a NBR 12553, podem ser definidos como produtos poliméricos (sintéticos ou naturais), industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, dentre as quais se destacam: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial.

Dentre os diversos tipos de geossintéticos encontrados no mercado, as geogrelhas são as mais utilizadas quando se trata de reforço de obras de terra. De forma simples, Benevenuto *et al.* (2017) explicam que as geogrelhas desempenham no solo o mesmo papel que o aço exerce no concreto armado, sendo capazes de resistir os esforços de tração gerados pelos carregamentos aplicados. Neto e Futai (2016) explicam que o comportamento descrito da geogrelha em junção com a resistência natural do solo a compressão resultam em uma estrutura

capaz de suportar elevados carregamentos sem sofrer grandes deformações. Isso porque a estrutura reforçada passa a resistir não só aos esforços de tração, mas também a uma parcela das tensões de cisalhamento que são aplicadas.

Mais recentemente, estudiosos buscam implementar o uso de fibras naturais como elemento de reforço para maciços de solo. Tal prática, além de melhorar o comportamento mecânico do solo reforçado, contribui na redução do impacto ambiental causado pelo uso de materiais poliméricos na construção civil. Dentre as fibras naturais estudadas, destaca-se o sisal. Segundo Martin *et al.* (2009), o sisal pode ser produzido por uma diversidade de plantas, e é encontrado em abundância no Brasil. Sua produção é concentrada na região nordeste, sendo o estado da Bahia o principal fabricante, responsável por cerca de 93,5% da produção nacional.

Em função disso, este trabalho buscou avaliar o comportamento mecânico de uma geogrelha natural, feita de cordas de sisal.

Para isso, o solo natural e solo reforçado com a geogrelha de sisal foram submetidos a um carregamento estático e os seus resultados foram comparados ao de um solo reforçado com uma tela plástica comercial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Equipamento de Prova de Carga

Para a execução dos ensaios de determinação da capacidade de carga do solo, foi projetado e construído um equipamento de prova de carga em placa, que foi montado na área externa ao lado do Laboratório de Mecânica dos Solos do IFS - Campus Aracaju (sala 27- A). O equipamento é composto por um pórtico de reação, uma caixa de ensaios, e um sistema de aplicação de carga e instrumentação.

2.1.1.1 Pórtico de reação

O pórtico é formado por três perfis metálicos em “I” (uma viga de 15,2cm x 8,8cm x 1,0cm

e dois pilares de 12,8 cm x 8,4 cm x 1,0 cm) e ancorado em dois blocos de concreto.

2.1.1.2 Caixa de ensaios

Para o confinamento do solo, foi construída uma caixa em placas de madeira compensada e plastificada, tendo paredes com uma espessura final de 4,0cm. A caixa possui seção interna (LxB) de 107cm x 107cm e altura interna (H) de 110cm. Externamente, foram utilizados caibros de madeira (5cm x 5cm) e perfis metálicos em “U” (7,5cm x 4cm), travando a caixa tanto na horizontal quanto na vertical.

2.1.1.3 Sistema de carregamento e instrumentação

Os carregamentos foram aplicados no solo através de um macaco hidráulico com capacidade de 100kN, acionado à distância por uma bomba manual. Para o monitoramento das cargas, foi utilizado um anel dinamométrico com capacidade de 50kN, posicionado entre a viga de reação e o macaco hidráulico. Além disso, utilizou-se uma placa rígida de 30cm de diâmetro e 2,5cm de altura para transmitir as tensões aplicadas ao solo, e três relógios comparadores analógicos para monitorar os valores de recalques. A Figura 1 apresenta os equipamentos e instrumentos citados em funcionamento.



Figura 1: Equipamentos e instrumentação utilizados no ensaio: (1) Placa metálica, (2) Macaco hidráulico, (3) Anel de carga e (4) Relógio comparador.

Fonte: Os autores, 2019.

2.1.2 O solo

O material que foi utilizado como maciço de fundação foi coletado da área de estoque de materiais próximo ao campo de futebol do Instituto Federal de Sergipe (IFS). O solo foi caracterizado através dos ensaios de análise granulométrica, massa específica dos sólidos e índice de vazios (máximo e mínimo), sendo este uma areia com pouco pedregulho. A Tabela 1 os resultados dos ensaios de caracterização.

Tabela 1: Resultados da caracterização do solo.
Fonte: Os autores, 2019.

Propriedade	Valor
Massa específica dos sólidos	2,666
Teor de umidade	1,5%
Índice de vazios máximo	1,956

2.1.3 Os reforços

2.1.3.1 Geogrelha de sisal

Como material para a geogrelha natural, utilizou-se o fio de sisal F-500/3 da marca Vonder, vendido em lojas de materiais de construção e produtos agropecuários. Foram produzidas três geogrelhas com dimensões 100cm x 100cm, e abertura entre fios de 5cm².

2.1.3.2 Tela plástica

Para efeitos de comparação, também foram utilizadas telas plásticas com fios de 3,8 mm, abertura da malha de 25 mm, e mesmas dimensões da geogrelha de sisal (100cm x 100cm).

2.2 Métodos

O ensaio de capacidade de carga consistiu na aplicação de carregamentos estáticos tanto ao solo natural quanto ao solo reforçado. O ensaio seguiu as diretrizes expostas na NBR 6489 – Prova de Carga Direta Sobre Terreno de Fundação (ABNT, 1984), com exceção na dimensão da placa, visto a limitação dada pela caixa de ensaio.

A campanha experimental foi realizada de forma comparativa, selecionando 5 (cinco) configurações distintas do posicionamento dos elementos de reforço. A Tabela 2 apresenta as configurações de ensaio de acordo com o tipo e número de reforços utilizados.

Tabela 2: Configurações dos ensaios e características dos reforços utilizados. **Fonte:** Os autores, 2019.

Código	Dados do Reforço	
	Tipo	Quantidade de reforços
S	Solo Natural	-
STp1	Tela Plástica	01
SGgS1	Geogrelha de Sisal	01
SGgS2	Geogrelha de Sisal	02
SGgS3	Geogrelha de Sisal	03

Para execução dos ensaios, a caixa foi preenchida com sucessivas camadas de areia.

Onde cada camada foi compactada manualmente até atingir uma altura máxima de 15cm, sendo altura final igual a 80cm para todas as configurações adotadas. A altura de cada camada foi respeitada com auxílio de demarcações no interior da caixa de madeira.

Como não houve um controle de compactação nesse estudo, buscou-se utilizar aproximadamente a mesma quantidade de material entre as camadas e aplicar a mesma quantidade de golpes com o soquete. As linhas de reforço foram instaladas a 15cm de distância uma da outra, estando a primeira geogrelha localizada 5cm abaixo da cota final da areia compactada.

Ao atingir a altura final de 80cm de solo compactado, eram instalados os itens de aplicação de carga e instrumentação, tomando-se os devidos cuidados para que a placa rígida permanecesse nivelada e centralizada ao eixo de carregamento. Em seguida, os instrumentos de monitoramento de carga e deslocamentos verticais eram zerados.

Ao finalizar a etapa de preparação, iniciaram-se os ensaios, aplicando o primeiro carregamento com o macaco hidráulico e fazendo leituras de recalque nos tempos

correspondentes a 01 (um) minuto, 02 (dois) minutos, 04 (quatro) minutos, 08 (oito) minutos, 15 (quinze) minutos e 30 (trinte) minutos.

Um novo estágio de carregamento era dado após verificada a estabilização de recalques, com tolerância máxima de 5% do recalque total no estágio atual, entre leituras sucessivas, de acordo com a NBR 6489. Os ensaios eram finalizados quando se atingisse um recalque de 25mm, observando-se a todo o instante o aparecimento de fissuras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, é apresentado um comparativo entre todas as alternativas ensaiadas (Figura 2), indicando que a solução de geogrelha de sisal com 03 camadas promoveu maior ganho de capacidade de suporte do solo.

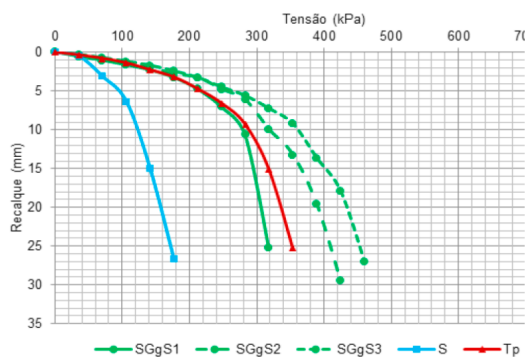


Figura 2: Comparativo das curvas tensão x recalque para todas as configurações. **Fonte:** Os autores, 2019.

A Tabela 3 exhibe um resumo dos valores de capacidade de carga para um recalque de 25 mm das cinco configurações propostas. É apresentado também o ganho de resistência, quando comparado com o solo sem reforço.

Tabela 3: Resumo dos resultados. **Fonte:** Os autores, 2019.

Material	Tensão (kPa)	% de ganho de resistência
Areia pura	172,0	-
01 geogrelha de sisal	317,9	84 %
01 tela plástica	352,8	105 %
02 geogrelhas de sisal	414,6	141 %
03 geogrelhas de sisal	452,0	162 %

Ressalta-se que as geogrelhas feitas de cordas de sisal ainda não são muito utilizadas em meio técnico. Uma justificativa é que a sua durabilidade é inferior aos materiais poliméricos. Ainda assim, é necessário que haja incentivo quanto a utilização de materiais sustentáveis na construção civil, principalmente devido a elevada agressão ambiental provocada por materiais convencionais e a escassez de recursos naturais.

Analisando o comportamento dos materiais ensaiados, tem-se que todas as configurações garantiram um aumento de capacidade de carga ao solo. A inclusão de uma linha de geogrelha de sisal propiciou um acréscimo 84 % na resistência do solo. Em comparação com a tela plástica, ambos apresentaram comportamentos idênticos até um nível de carregamento da ordem de 250kPa. Após esse nível, a tela plástica apresentou resultados insignificamente maiores. Essa diferença pode ser justificada pelo processo de fabricação das geogrelhas naturais, onde os nós ficaram livres para movimentação durante o carregamento. Na Figura 2 pode-se perceber que a quantidade de linhas de reforço inserida no solo influencia substancialmente na rigidez final do conjunto. Em resumo, uma maior quantidade de geogrelhas, garante ao solo uma maior capacidade de carga. Isso é comprovado pela configuração SGgS3, que conseguiu elevar a capacidade de suporte do solo em 162%.

Assim, o presente trabalho conclui que os materiais estudados (geogrelha de sisal e tela plástica) têm grande potencial para elevar as propriedades mecânicas de um solo arenoso, sendo uma alternativa de inclusão em obras com baixo nível de carga.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12553: Geossintéticos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6489: Prova de Carga

Direta Sobre Terreno de Fundação. Rio de Janeiro, 1984.

BENEVENUTO, F. H.; JUNIOR, W. S.; NETO, M. M. C. Uso dos Geossintéticos na Construção Civil. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade Unitoledo, 2017.

MARTIN, A. R. B.; MARTINS, M. A.; SILVA, O. R. R. F.; MATTOSO, L. H. C. (2009). Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade Agave sisalana. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 19, nº 1, p. 40-46.

NETO, J. O. A.; FUTAI, M. M. (2016). Aspectos gerais do uso de geossintéticos em reforço de aterros sobre solos moles. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas COBRAMSEG 2016 — 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil © ABMS.