



Avaliação da Capacidade de Carga do Solo Reforçado com Geogrelha Natural

Emiliana de Souza Rezende Guedes
Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, emiliana.guedes@ifs.edu.br

Euler de Paula Leite Rocha
Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, euler.plr@gmail.com

Geverson de Jesus Moura
Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, geverson.moura@gmail.com

Jéssica Horta França Menezes
Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, jessicahorta.civil@gmail.com

RESUMO: Atualmente diversos estudos na construção civil estão pautados na otimização do uso dos recursos naturais. Um dos estudos é o desenvolvimento de novos materiais, associados às práticas sustentáveis. Esse trabalho tem como objetivo analisar o comportamento mecânico de um solo caracterizado como areia pura, quanto à inclusão de geogrelhas de sisal e polipropileno. Para isto, montou-se um equipamento para execução de provas de carga. Buscou-se avaliar a influência da inclusão de reforço no solo, do material do reforço e do número de reforços. Os resultados da prova de carga indicaram que a inclusão da malha de sisal no solo promoveu um aumento de 84,8% na capacidade de carga. O reforço sintético e o natural apresentaram comportamentos similares em baixo nível de carga. Contudo, acima disso, o sintético ainda promove resistência ao solo reforçado, tendo com isso uma capacidade de carga de 10,9% maior que o reforço natural.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Civil, Reforço de Solo, Prova de Carga, Sustentabilidade, Materiais Alternativos.

1 INTRODUÇÃO

Muitas obras necessitam de algum tipo de reforço ou elemento estabilizante para que possam ser construídas. Esse fato se deve à existência de solos com baixa capacidade de suporte, como os solos moles que são essencialmente compostos por argilas moles ou areias argilosas fofas de deposição recente. (SAYÃO et al., 2013).

Como alternativas disponíveis para a viabilização técnica e econômica da realização de obras de engenharia sobre solos pobres, tem-

se a remoção do material existente no local e substituição por outro com características adequadas ou a modificação e melhoria das propriedades do solo existente in loco, de modo a criar um novo material com características de resistência e deformabilidade satisfatórias. (SENEZ, 2012).

Um tipo de reforço de solo que segue essa linha são os geossintéticos. Não importa qual o tipo de obra geotécnica, uma vez que envolva problemas de ruptura por cisalhamento dos solos, os reforços com geossintéticos estão envolvidos. Quanto à classificação, os



geossintéticos podem ser divididos em alguns tipos, conforme encontrados comercialmente. Os principais tipos são: geotêxteis, geogrelhas, geomembranas, georredes, geocompostos, geocélulas, geotubos e geoexpandidos.

Segundo Sayão et al (2013) as geogrelhas, em geral, são mais resistentes que os geotêxteis, sendo utilizadas quase que exclusivamente como elementos de reforço de solo. O princípio de funcionamento e comportamento do solo reforçado com geogrelha é semelhante ao do concreto armado. O solo assim reforçado adquire um aprimoramento nas suas propriedades, principalmente em tração, em detrimento ao solo sem reforço. Assim, é conseguido um composto formado pela junção entre solo e material de reforço (NETO e FUTAI, 2016).

Este reforço é conquistado por causa da combinação entre a resistência natural de compressão do solo com a então resistência à tração da geogrelha, resultando uma estrutura resistente internamente, capaz de suportar cargas elevadas, sem sofrer deformação excessiva, uma vez que o reforço absorverá os esforços de tração e parte das tensões de cisalhamento (NETO e FUTAI, 2016).

Nos últimos anos observa-se um crescente interesse na utilização de fibras naturais como elemento de reforço para maciços de solo. Além de analisar o comportamento mecânico do solo reforçado, estes estudos buscam contribuir para a redução do impacto ambiental causado pelo uso de materiais poliméricos na construção civil.

Entre as fibras naturais estudadas, podemos citar o sisal. Este material é encontrado em abundância no Brasil, com produção concentrada na região Nordeste. O estado da Bahia é o principal produtor, com 93,5% da produção nacional (MARTIN, A. R. et al., p02, 2009).

Diante deste contexto, o presente trabalho busca avaliar o potencial de utilização de uma geogrelha natural como alternativa de reforço

do solo. Para isso, buscou-se comparar o comportamento do solo natural quando submetido a uma carga estática a um solo reforçado com geogrelha de sisal e com uma tela plástica comercial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Equipamento de prova de carga

Para a realização dos ensaios de determinação da capacidade de carga foi construído um equipamento de grande porte, que foi instalado na área externa ao lado do Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Sergipe. O equipamento é composto por: pórtico de reação, caixa de ensaios, sistema de aplicação de carga e instrumentação.

2.1.1.1 Pórtico de reação

O pórtico consiste basicamente em uma estrutura metálica formada por uma viga metálica em perfil “I” (15,2 cm x 8,8 cm x 1,0 cm) parafusada em dois pilares em perfil “I” (12,8 cm x 8,4 cm x 1,0 cm) que estão ancorados em dois blocos de concreto travados por uma viga.

A Figura 1 apresenta um corte esquemático, indicando os componentes do pórtico (viga e pilares), bem como a configuração da fundação (blocos e viga de travamento) indicando também suas dimensões. O limite de carga foi condicionado em 10 tf.

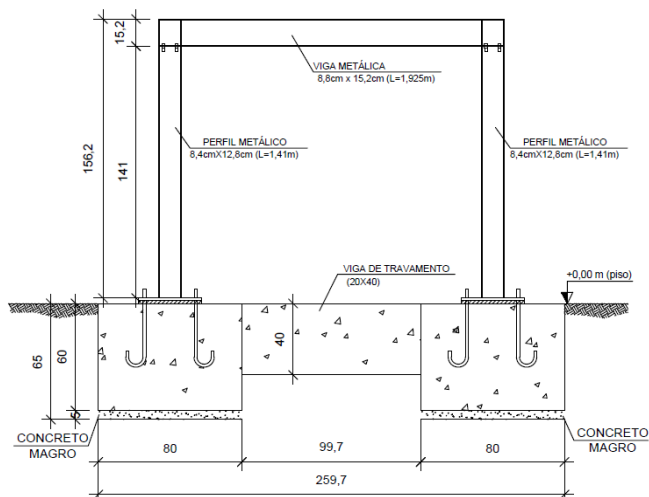


Figura 1. Corte esquemático do pórtico metálico e sua fundação (medidas em cm).

2.1.1.2. Caixa de ensaios

Para o confinamento do solo, foi proposta a confecção de uma caixa em placas de madeira compensada e plastificada, com espessura de 2,0 cm, apoiada em um estrado de madeira reforçado. A fim de enrijecer as paredes da caixa, procurou-se trabalhar com duas placas de 2,0 cm em cada face, sendo a espessura final da parede da caixa de 4,0 cm. A caixa possui seção interna (L x B) de 107 cm x 107 cm e altura interna (H) de 110 cm.

Para evitar a abertura da caixa durante a fase de carregamento, foi feito um travamento com caibros de madeira (5 cm x 5 cm) e perfis metálicos em “U” (7,5 cm x 4 cm), este último, também travado na vertical. As peças de madeira foram travadas e posicionadas com a utilização de pregos e parafusos, enquanto as peças metálicas foram unidas com a utilização de parafusos rosqueáveis. A Figura 2 apresenta uma visão geral da estrutura do pórtico de reação e caixa de ensaio.



Figura 2. Visão geral da estrutura do pórtico de reação e caixa de ensaios.

2.1.1.3. Sistema de carregamento e instrumentação

O carregamento aplicado ao solo foi feito por um macaco hidráulico com capacidade de 100 kN, acionado à distância por uma bomba manual. As cargas aplicadas em cada estágio foram monitoradas por um anel dinamométrico com capacidade de 50 kN, posicionado entre a viga de reação e o macaco hidráulico. A transmissão de tensões ao solo foi feita por meio de uma placa rígida de 30 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, posicionada logo abaixo do macaco hidráulico.

Para monitorar os recalques, foram utilizados três relógios comparadores analógicos, fixados na placa metálica por uma base magnética e tendo como referência duas vigas de alumínio. A Figura 3 apresenta os equipamentos e instrumentos utilizados no ensaio de prova de carga.



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

2.1.2 Solo

O solo utilizado como material de fundação foi coletado da área de estoque de materiais próximo ao campo de futebol do Instituto Federal de Sergipe (IFS). O material 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 Figura 4 apresenta a curva granulométrica do solo e a Tabela 1 os resultados dos ensaios de caracterização.

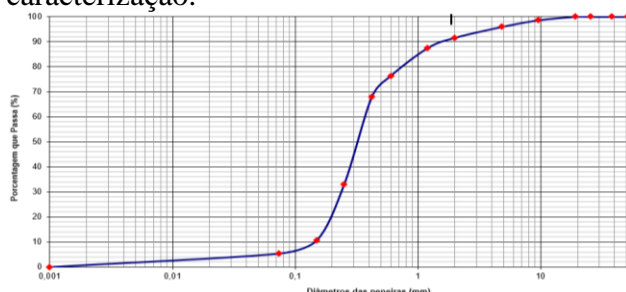


Figura 4. Curva granulométrica do solo

Tabela 1. Resultados da caracterização do solo

Propriedades
Massa específica dos sólidos: 2,666
Teor de umidade: 1,5%
Índice de vazios máximo: 1,956
Índice de vazios mínimo: 1,166

2.1.3 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, não-oleado, com diâmetro de 3,8mm, com 3 pernas e carga de ruptura de 105 kgf.

No presente trabalho procurou-se fabricar três geogrelhas de dimensões 100 cm x 100 cm, com abertura entre fios de 5 cm x 5 cm.

Para a construção das geogrelhas, utilizou-se como gabarito um estrado de madeira quadriculado. Além disso, foram instalados pregos nas extremidades para que os fios permanecessem esticados durante o processo de montagem. As ligações entre os cruzamentos dos fios foram feitas através de amarrações com nós, como pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 – Detalhe da montagem da geogrelha: (a) Gabarito e amarração, (b) Finalização.

2.1.3.2 Tela plástica

Para efeitos de comparação com os resultados do comportamento da geogrelha de sisal proposta na presente pesquisa, procurou-se analisar o comportamento do solo quando reforçado com um material polimérico utilizado para fins diversos e não como material convencional de reforço de solos.

Desta forma, foram utilizadas telas plásticas de malha hexagonal, utilizadas como cercamento e encontradas facilmente em casas de jardinagem e materiais agrícolas. A Figura 6 apresenta uma visão geral dos materiais



utilizados como reforço do solo arenoso.

As telas foram cortadas com as mesmas dimensões da geogrelha de sisal (100 cm x 100 cm), sendo a espessura do fio de 3,8 mm e a abertura da malha de 25 mm.



Figura 6 – Tela plástica utilizada como reforço: (a) Vista em detalhes e (b) Visão geral.

2.2 Métodos

A campanha experimental buscou analisar de forma comparativa: O efeito da presença de reforço no solo, do material de reforço e do número de camadas de reforço.

Para isso, foram realizados 5 (cinco) ensaios em condições distintas de configurações dos reforços.

A Tabela 2 apresenta as configurações de ensaio de acordo com o tipo e número de reforços utilizados.

Tabela 2. Configurações do ensaio.

Ensaio	Sigla	Material	Qtd de reforços
1	S	solo	-
2	STp1	solo + tela plástica	01
3	SGgS1	solo + geogrelha de sisal	01
4	SGgS2	solo + geogrelha de sisal	02
5	SGgS3	solo + geogrelha de sisal	03

A Figura 7 indica o posicionamento das linhas de reforço na caixa de ensaios.

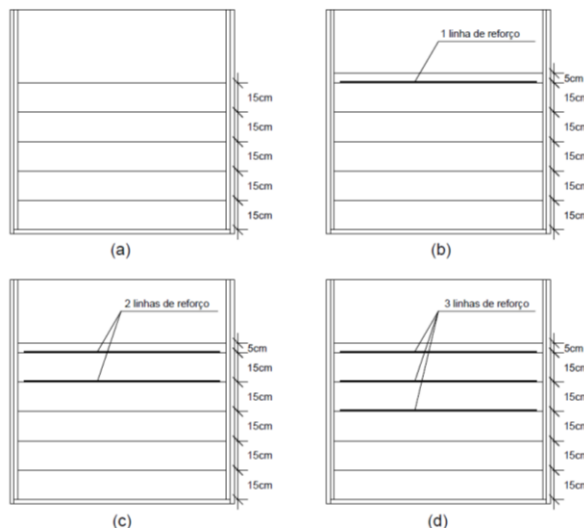


Figura 7 – Configurações das condições de ensaio: (a) solo sem reforço, (b) 01 linha de reforço, (c) 2 linhas de reforço e (d) 3 linhas de reforço.

Para execução dos ensaios, realizou-se o procedimento de enchimento e compactação das camadas de solo, sendo a altura final da camada compactada igual a 80 cm em todos os ensaios.

Para isso, foram pintadas marcações nas paredes da caixa para facilitar a visualização das camadas.

As camadas foram compactadas em alturas de 15 cm, onde foi utilizado um soquete manual de madeira com peso de 6,5 kg que caía a uma altura de 30cm. Apesar de não ter havido um controle de compactação do solo, procurou-se transferir para a caixa a mesma quantidade de material entre as camadas, como também aplicar a mesma quantidade de golpes com o soquete

Com a etapa de preparação devidamente concluída, o ensaio é iniciado ao aplicar o primeiro carregamento com o macaco hidráulico. Foram realizadas leituras de recalque nos tempos correspondentes a 01 (um) minuto, 02 (dois) minutos, 04 (quatro) minutos, 08 (oito) minutos, 15 (quinze) minutos e 30 (trinta) 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 – Prova de carga direta sobre terreno de fundação.

Os ensaios foram finalizados até que se atingisse um recalque de 25mm, observando-se a todo o instante o aparecimento de fissuras.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Serão apresentados os resultados dos ensaios de prova de carga em placa, sendo as análises feitas de acordo com os seguintes fatores de influência: inclusão de reforço no solo, material do reforço e número de reforços.

3.1 Influência da Inclusão de Reforço no Solo

A Figura 8 apresenta o comparativo entre as curvas tensão x recalque dos resultados dos ensaios sem utilização do reforço e com utilização do reforço.

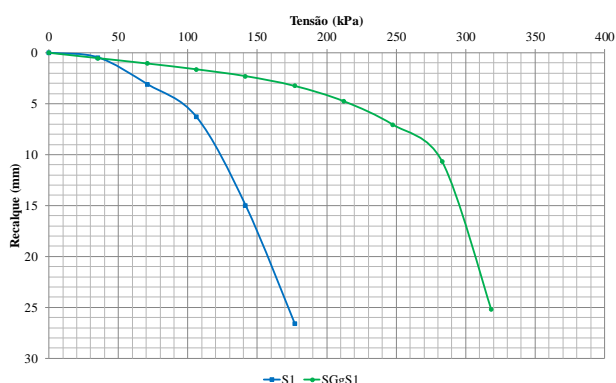


Figura 8 – Efeito do uso de reforço em um solo arenoso.

Para a condição do solo sem o uso de reforço, de acordo com a Figura 8, percebe-se que nos três primeiros estágios de carregamento, as deformações foram reduzidas, sendo que as maiores mobilizações do solo ocorreram a partir do quarto estágio de carga, correspondente à tensão de 141,5 kPa. Observa-se que neste estágio, foi quando deu início ao aparecimento de fissuras em regiões próximas à placa.

Para a condição do solo com o uso de reforço, de acordo com a Figura 8, percebe-se que as maiores deformações somente vieram a acontecer a maiores níveis de carga, ou seja, no oitavo estágio de carregamento, onde a tensão aplicada era de 282,9 kPa. Neste estágio, iniciou-se o aparecimento de fissuras nas proximidades da placa.

É notável um aumento da resistência do solo, quando da inclusão de reforço. Há uma elevação da tensão de ruptura de 172 kPa (sem reforço) para 317,9 kPa (com reforço), sendo a porcentagem de ganho de resistência igual a 84,8%.

Em relação aos recalques, constatou-se que o uso de reforço implica em uma redução dos valores de recalque, sendo que no quinto estágio de carga (12,5 kN) a redução dos recalques foi da ordem de 87,8%, para o mesmo nível de carga induzido. A Figura 9 ilustra o comparativo da evolução dos recalques.

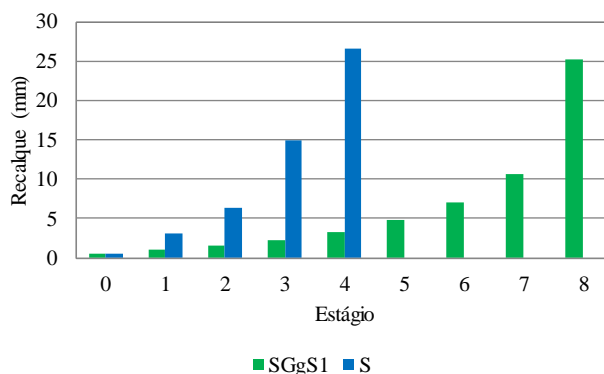


Figura 9 – Comparativo entre os recalques do solo sem reforço (S) e com reforço (SGgS1).

Os resultados comprovam que a inclusão da geogrelha de sisal no solo promove um ganho de resistência e redução dos recalques na ruptura. Isto se deve ao fato do reforço suportar parte das cargas transmitidas ao solo reforçado, quando solicitado à tração.

3.2 Influência do Material do Reforço

A Figura 10 apresenta o comparativo entre as curvas tensão x recalque dos resultados dos



ensaios com reforço sintético (tela plástica) e natural (geogrelha de sisal).

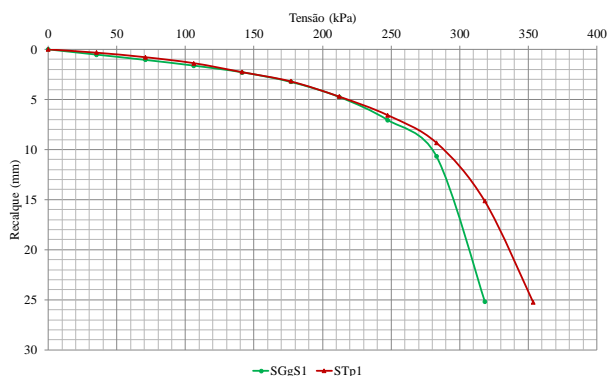


Figura 10 – Efeito do tipo de reforço.

Para o ensaio de placa em solo com reforço sintético, observa-se que a tensão de ruptura correspondente a um recalque de 25 mm atingiu a magnitude de 352,8 kPa.

As maiores deformações somente aconteceram a maiores níveis de carga (nono estágio de carregamento), correspondente a tensão aplicada de 318,3 kPa. Neste estágio deu-se início ao aparecimento de fissuras nas proximidades da placa.

De acordo com a Figura 9, percebeu-se um comportamento entre os materiais muito similar até o limite do oitavo estágio de carga (20 kN). A partir disso, o reforço natural mostrou-se mais solicitado, conduzindo a maiores recalques. Observa-se que o uso do reforço sintético implica em um acréscimo da tensão de ruptura de 317,9 kPa (reforço natural) para 352,8 kPa (reforço sintético), sendo a porcentagem de ganho de resistência de 10,9%.

Em relação aos recalques, percebe-se que o uso do reforço sintético não promove consideráveis reduções de recalque até o oitavo estágio (carga de 20 kN). É a partir desse nível de carga que o reforço sintético imprime maior rigidez ao solo, possibilitando uma redução no valor de recalque de 25,178 mm para 15,143 mm, o que equivale a uma diminuição de 39,9% dos recalques. A Figura 10 ilustra o comparativo da evolução dos recalques.

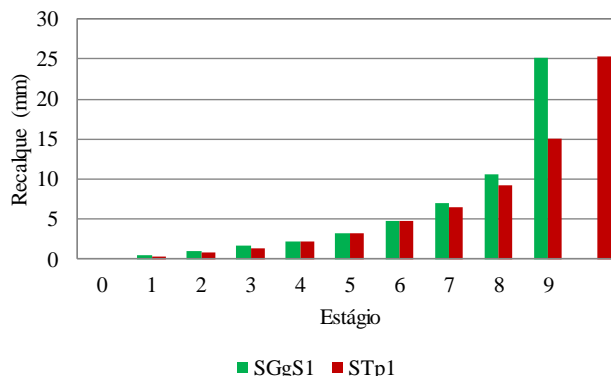


Figura 10 – Comparativo entre os recalques do solo com reforço natural (SGgS1) e com reforço sintético (STp1).

O ganho de rigidez do solo com o reforço sintético tem relação com o tipo de ligação entre as malhas do reforço. No reforço sintético as malhas são interligadas por meio de solda a quente, ao passo que no reforço natural a ligação foi feita somente por nós, que permitem a movimentação da linha em uma direção. Com isso, em maiores cargas, a geogrelha de sisal não se permite ser totalmente tracionada e transfere parte do carregamento ao solo.

3.3 Influência do Número de Reforços

A Figura 11 apresenta o comparativo entre as curvas tensão x recalque dos resultados dos ensaios com reforço 01 linha de reforço, 02 linhas de reforço e 03 linhas de reforço natural (geogrelha de sisal).

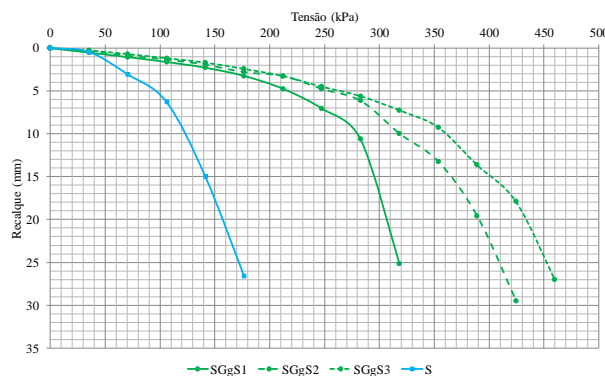


Figura 11 – Efeito do número de reforços.



Para a curva tensão x recalque obtida da configuração do solo com o uso de duas linhas de reforço de sisal a tensão de ruptura correspondente a um recalque de 25 mm atingiu o valor de 414,6 kPa. Já com três linhas de reforço a tensão de ruptura correspondente ao mesmo recalque é da ordem de 452kPa.

De acordo com a Figura 11, percebe-se que o aumento de linhas de reforço induz a um acréscimo da capacidade de suporte do solo. Observa-se que o ganho resistência é maior entre os ensaios com 01 e 02 reforços. Entre os ensaios com 02 e 03 linhas de reforços, percebeu-se que o solo reforçado se comportou praticamente da mesma forma até o oitavo estágio de carga (20 kN), sendo que a partir do nono estágio o solo reforçado com 03 linhas de reforço propiciou maior rigidez ao solo.

Observou-se que o uso de 01, 02 e 03 linhas de reforço, propiciam uma elevação na capacidade de carga do solo de, respectivamente 84,8 %, 141,0 % e 162,8%.

Em relação aos recalques, percebe-se que o aumento do número de reforços promove consideráveis reduções nos valores de recalque. Como exemplo, tendo como base a tensão de 318,3 kPa (nono estágio de carga), observa-se que os recalques passaram de 27,778 mm (01 linha de reforço) para 9,977 mm (02 linhas) e 7,269 mm (03 linhas). A Figura 12 ilustra o comparativo da evolução dos recalques para os três casos.

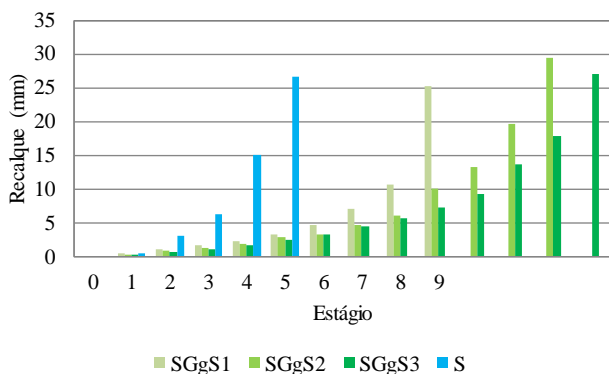


Figura 12 – Comparativo entre os recalques do solo com 01 (SGgS1), 02 (SGgS2) e 03 (SGgS3) linhas de reforço.

3.4 Comparativo entre todas as soluções

Por fim, a Figura 13 apresenta o comparativo entre todas as alternativas ensaiadas, indicando que a solução de geogrelha de sisal com 03 camadas promoveu maior ganho de capacidade de suporte do solo.

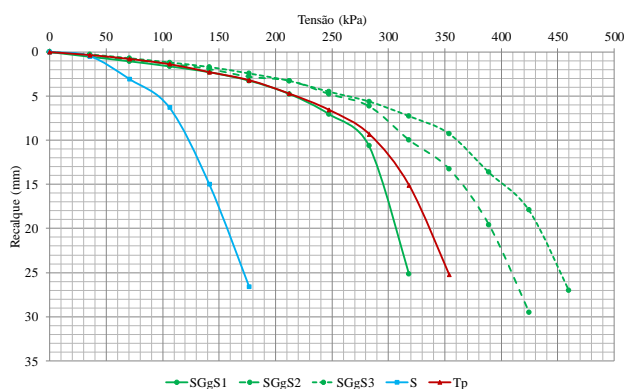


Figura 13 – Comparativo das curvas tensão x recalque para todas as configurações.

A Tabela 3 apresenta um resumo da 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.

Uso do reforço	Ensaio	Tensão (kPa)	Ganho de resistência (%)
não	S	172,0	-
sim	SGgS1	317,9	84
sim	STp1	352,8	105
sim	SGgS2	414,6	141
sim	SGgS3	452,0	162



3 CONCLUSÕES

Observa-se que o uso de cordas de sisal para confecção de geossintéticos ainda não é comum no meio técnico. Uma justificativa é que a sua durabilidade é inferior aos materiais poliméricos.

Na atualidade, com a elevada agressão ambiental e escassez de recursos naturais, é necessário que haja maiores incentivos quanto ao estudo de materiais mais sustentáveis, e que estes possam também ser utilizados na construção civil.

Em relação ao comportamento dos materiais ensaiados, percebe-se que a inclusão de reforços promove um ganho de rigidez ao solo, tendo como consequência um acréscimo em sua capacidade de carga, mesmo que esse material seja natural (geogrelha de sisal). Neste caso, a inclusão de 01 linha de geogrelha de sisal propiciou um acréscimo 84 % na resistência do solo. Os materiais naturais e sintéticos estudados neste trabalho se mostraram com comportamentos idênticos até um nível de carregamento da ordem de 250 kPa, onde, após isso, a tela plástica se comportou como inclusão de maior rigidez. Justifica-se pelo fato da geogrelha de sisal não ter sido solicitada à tração, em virtude da possibilidade de deslizamento entre as cordas. Mesmo assim, o ganho de resistência da tela plástica em relação ao sisal foi de somente 10,9 %.

Para as situações de emprego de uma, duas e três camadas de geogrelha de sisal, percebeu-se que os seus comportamentos sofreram mudanças significativas à medida que o carregamento aplicado era aumentado. A condição de reforço com melhor comportamento foi com 03 linhas de geogrelha, com acréscimo de 162% da capacidade de suporte do solo.

Vale ressaltar que, os ensaios se deram em condições de baixo nível de carga, como também com o solo em um nível de compactação inferior ao que comumente é

executado em obras de solo reforçado ($D_r > 95\%$). Desta forma, é possível que nas condições de um solo com maior grau de compactação e em níveis de carregamento maiores, os materiais se comportassem de forma diferente que os resultados apresentados neste trabalho.

Dessa forma, conclui-se que os materiais estudados (geogrelha de sisal e tela plástica) elevam em potencial as propriedades mecânicas de um solo arenoso, sendo uma alternativa de inclusão em obras com baixo nível de carga.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Sergipe pela possibilidade de uso dos laboratórios de Construção Civil e à PROPEX pelo apoio ao trabalho, através da concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- MARTIN, A. R. B.; MARTINS, M. A.; SILVA, O. R. R. F.; MATTOSO, L. H. C. (2009) *Caracterização Química e Estrutural de Fibras 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.
- SAYÃO, A., SIEIRA, A. C., SANTOS, P. (2013) *Reforço de solos - Manual técnico*. MACCAFERRI do Brasil Ltda.
- SENEZ, P. C. (2012) *Estudo do Comportamento de Solos Reforçados para Aplicação em Obras Geotécnicas - Avaliação do Comportamento de Solos Reforçados com Borracha Moída de Pneus Inservíveis para Aplicação em Obras Geotécnicas*. Relatório Resumo, PIBIC. Pontifícia Universidade Católica (PUC), Rio de Janeiro.