

# COMPORTAMENTO DE UM RESÍDUO GRANULAR REFORÇADO COM GEOCÉLULA QUANDO SUBMETIDO A ENSAIOS DE PLACA

## BEHAVIOR OF A GEOCELL-REINFORCED GRANULAR WASTE SUBMITTED TO PLATE LOAD TESTS

Favretto, Julia; *Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, juliafavretto@hotmail.com*

Miguel, Gustavo D.; *Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, gustavo2995@hotmail.com*

Donato, Maciel; *Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, mdonato@upf.br*

Floss, Márcio F.; *Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, marciofloss@upf.br*

### RESUMO

A dificuldade associada à realização de obras em solos de baixa resistência tem contribuído para o desenvolvimento de novas técnicas de estabilização de solos. Uma alternativa satisfatória para o melhoramento de solo é através da utilização de geocélulas de reforço, que aumentam a capacidade de carga do solo de fundação. A fim de reduzir o consumo de agregados naturais e reutilizar resíduos granulares como um material de engenharia, resíduos do processamento de pedras preciosas podem ser usados para preencher as geocélulas. Esta proposta visa promover uma gestão correta deste material residual e proporcionar um projeto mais sustentável. Sendo assim, este trabalho aborda a interpretação de ensaios de placa realizados sobre uma camada de resíduo disposta no topo de um leito arenoso. Foi realizada uma série de testes em laboratório a fim de investigar o aumento da resistência do solo devido ao colchão de geocélula. As camadas de areia e resíduo foram preparadas em uma caixa de teste com densidade relativa de 50% e submetidas à carregamento estático através de uma placa rígida com diâmetro de 150 mm. A carga e o recalque da placa foram medidos durante os experimentos. Foram realizados ensaios em camada de resíduos não reforçada e reforçada por geocélula com 20 cm de altura, cujos resultados foram comparados entre si e com o teste de referência realizado no solo de base.

### ABSTRACT

The difficulty associated with performing works in low resistance soils has contributed to the development of new soil stabilization techniques. A satisfactory alternative for soil improvement is by using geocell reinforcement, which increases the bearing capacity of the soil foundation. In order to reduce the consumption of natural aggregates and to reuse granular waste as an engineering material, precious gem processing waste can be used to fill the geocells. This proposal aims to promote a correct management of this residual material and provide a project more sustainable. Therefore, this work addresses the interpretation of plate load tests performed on a waste layer resting on the top of sand bed. A series of laboratory model tests was carried out to investigate the increase of soil resistance due to geocell mattress and how the stress distribution occurs inside the soil under circular loading. The layers of sand and waste were prepared in a test tank at relative density of 50% and submitted to static loading by a rigid footing with a diameter of 150 mm. Footing load and settlement were measured during the experiments. It was performed tests on unreinforced and geocell-reinforced waste layer 20 cm high, whose results were compared with each other and with the reference test carried out on the foundation soil.

### 1 - INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por espaço é uma realidade presente nas cidades em desenvolvimento, que necessitam atender à expansão de centros urbanos e polos industriais, bem como ao crescimento das obras de infraestrutura. Como consequência, surge a necessidade das indústrias da construção trabalharem com técnicas de melhoramento de solos, de modo a viabilizar obras em locais, até então, inadequados e com condições geotécnicas desfavoráveis. Solos que apresentam baixa resistência e/ou alta deformabilidade necessitam ser reforçados através de determinada técnica de estabilização.

O emprego de geocélula como elemento de reforço é uma técnica que tem se mostrado eficiente no melhoramento das características mecânicas de solos. Estudos realizados em solos reforçados com geocélulas, tomando como exemplo os conduzidos por Mandal e Gupta (1994), Dash et al. (2001) e Dash et al. (2003), sugerem que o efeito do confinamento do solo de preenchimento das células resulta em um sistema de reforço mais rígido, capaz de melhorar o desempenho e atribuir maior resistência à fundação. No geral, o preenchimento das geocélulas é dado através de materiais granulares, como areia ou pedregulho, em virtude de apresentarem melhores propriedades interfaciais e alto controle no processo de enchimento das células (Biswas e Krishna, 2017).

Uma alternativa para o preenchimento da geocélula é a utilização de resíduos de pedras preciosas. No sul do Brasil estão localizadas diversas empresas do setor de joias e pedras preciosas, cujas atividades de extração e processamento de gemas gera grande quantidade de resíduo sólido granular, na forma de refugos, peças semi-acabadas ou pouco beneficiadas. Muitas vezes, esse resíduo acaba sendo armazenado inadequadamente nos pátios das empresas, podendo causar danos ambientais (Thomé et al., 2010).

Visando a redução do consumo de agregados de origem primária e a reutilização de um material residual, o presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de geocélulas para reforço de um solo arenoso, empregando o resíduo de pedras preciosas como material de preenchimento das mesmas.

## 2 - MATERIAIS

### 2.1 - Geocélula

A geocélula empregada no estudo foi confeccionada em polipropileno, estruturada no formato diamante. As células possuem 20 cm de altura, largura e comprimento médio de 27 cm. As paredes da geocélulas são lisas, sem textura ou aberturas.

### 2.2 - Areia

O solo de base foi constituído por uma areia proveniente do município de Osório, localizado no sul do Brasil. Este material foi caracterizado por Donato (2007), indicando uma areia fina, com peso específico dos sólidos de  $26,30 \text{ kN/m}^3$ , diâmetro efetivo ( $D_{50}$ ) de 0,16 mm, sendo o coeficiente de uniformidade e de curvatura de 2,10 e 1,00, respectivamente. Os índices de vazios mínimo e máximo apresentados por Miguel e Floss (2017) são de 0,702 e 0,913, respectivamente. Na Figura 1 é apresentada uma amostra da areia e na Figura 2 sua distribuição granulométrica.



Figura 1 - Amostra da areia.

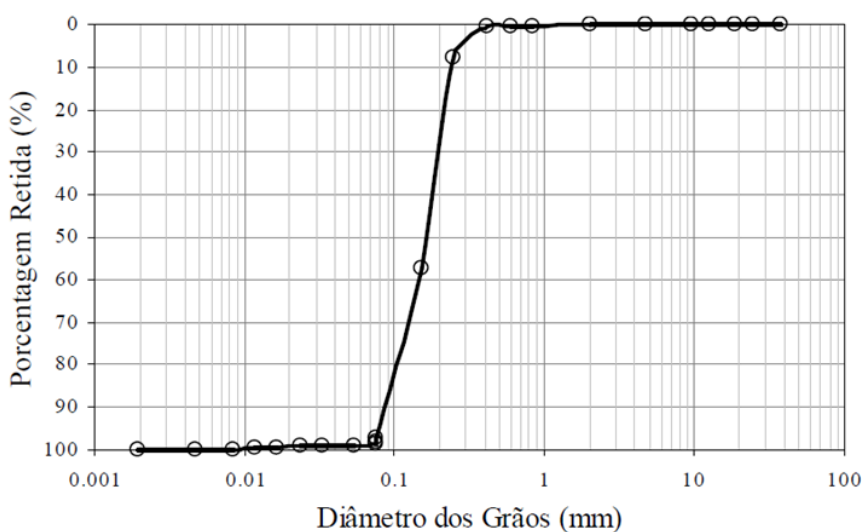


Figura 2 - Distribuição granulométrica da areia (Donato, 2007)

### 2.3 - Resíduo de pedras preciosas

O resíduo utilizado na pesquisa é oriundo do processo de rolagem de pedras preciosas e provém de empresas do setor de gemas e joias do município de Soledade, localizado no sul do Brasil. O resíduo em seu estado original foi peneirado, obtendo o material passante e retido nas peneiras 3/8 (9,50 mm) e 40 (0,42 mm), respectivamente. O material estudado foi classificado como pedregulho fino, com peso específico dos sólidos de 25,94 kN/m<sup>3</sup>, diâmetro efetivo ( $D_{50}$ ) de 3,20 mm, sendo o coeficiente de uniformidade e de curvatura de 6,15 e 1,25, respectivamente. Os índices de vazios mínimo e máximo são de 0,40 e 0,68, respectivamente. Na Figura 3 é apresentada uma amostra do resíduo e na Figura 4 sua distribuição granulométrica.



Figura 3 - Resíduo da rolagem de pedras preciosas.

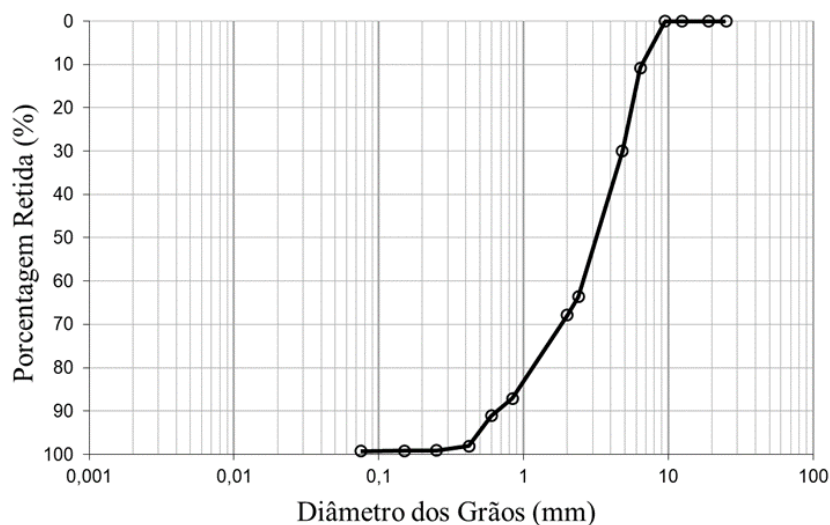


Figura 4 - Distribuição granulométrica do resíduo de pedras preciosas

### 3 - METODOLOGIA

A seguir são apresentados os procedimentos utilizados para a execução do trabalho.

Foram realizados ensaios em camada de resíduos não reforçada e reforçada por geocélula sobre um tanque de madeira de dimensões 90 x 90 x 70 cm (largura, comprimento e altura), que acomodou as camadas de solo e resíduo.

Para a confecção do solo de base, foram fixadas a umidade de 10% e densidade relativa de 50%. A moldagem do tanque de teste iniciou com o espalhamento da areia homogeneizada em uma espessura total de 40 cm, moldada e compactada manualmente em camadas de 10 cm.

A camada de reforço executada sobre o solo arenoso foi composta por geocélula com 20 cm de altura preenchida com resíduo de pedras preciosas. Com o objetivo de quantificar o aumento da resistência resultante da inserção da geocélula, também foi ensaiada uma configuração de resíduo não reforçado. As espessuras referentes às camadas de resíduo foram de igual valor às alturas das geocélulas. Sobre a

camada de resíduo, foi executado um recobrimento com o mesmo material na espessura de 2 cm para evitar contato direto entre a placa e a geocélula. As amostras de resíduo foram moldadas secas e compactadas manualmente em camada única com densidade relativa de 50%. Na Figura 5, estão ilustradas as configurações ensaiadas das camadas de resíduo sobre o solo de base.

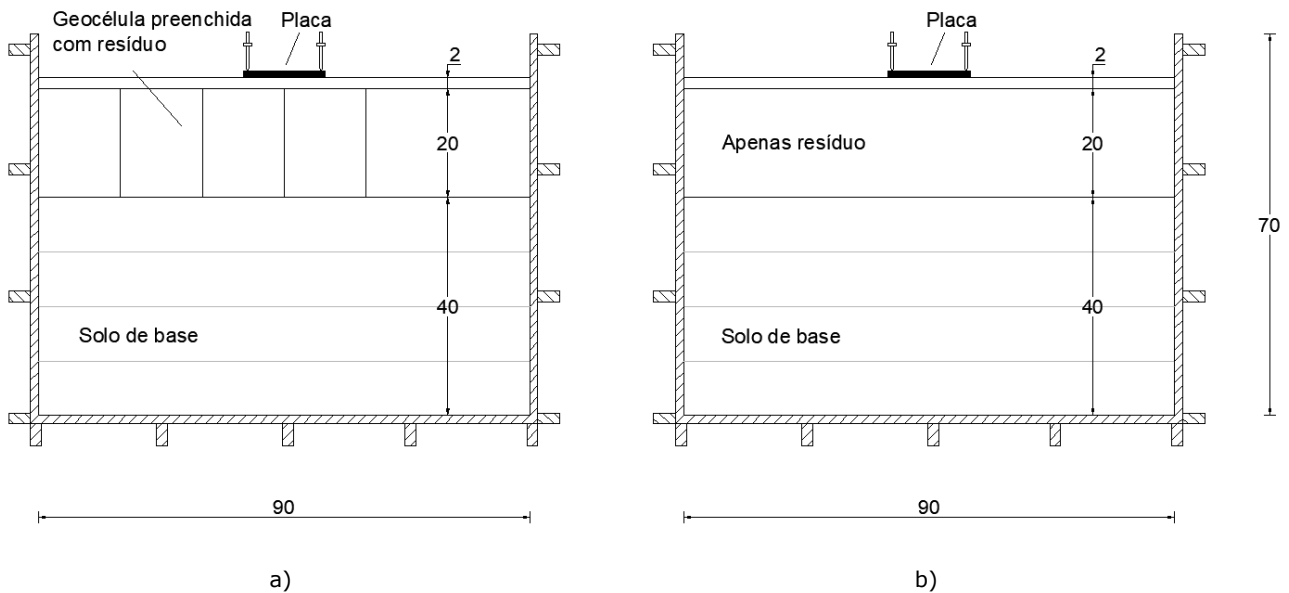


Figura 5 - Configuração das camadas de resíduo sobre o solo de base a) Reforço de geocélula preenchida com resíduo e b) Apenas resíduo.

Após a confecção das amostras, o sistema de aplicação de carga foi instalado para dar início às provas de carga. A execução do ensaio de placa seguiu as instruções da ABNT NBR 6489:1984, que normatiza as provas de carga diretas no Brasil.

A transmissão dos esforços ao solo foi dada através de uma placa rígida de aço, com 150 mm de diâmetro (D) e 12 mm de espessura, simulando a ação de uma sapata circular sobre o solo de base. Os ensaios foram realizados com carregamento lento, onde as tensões de carregamento foram aplicadas em cargas sucessivas por meio de pequenos incrementos. Um novo estágio de carregamento era realizado após verificação do critério de estabilização dos recalques resultantes do último incremento, com tolerância máxima de 5% do recalque total neste estágio, entre leituras sucessivas. Os ensaios foram conduzidos até a verificação de um recalque de 25 mm, considerando ruptura da fundação. A carga transferida para a sapata foi monitorada por uma célula de carga disposta entre o sistema de reação e o macaco hidráulico utilizado para o carregamento, já o sistema de medição dos deslocamentos foi através de réguas resistivas locadas em pontos opostos ao diâmetro da placa.

#### 4 - RESULTADOS

Os resultados foram analisados através das relações de carga (kN) e deslocamento (mm) monitoradas durante os ensaios de placa.

Na Figura 6 é apresentada a curva carga *versus* deslocamento para a configuração de fundação sem o reforço de geocélula, consistindo apenas na camada de resíduo disposta sobre o solo de base. Na Figura 7 é observado o momento da ruptura. A curva carga *versus* deslocamento resultante do ensaio com o emprego da geocélula está disposta na Figura 8, tendo sua ruptura ilustrada na Figura 9.

A comparação entre os resultados dos ensaios em camada de resíduos não reforçada e reforçada por geocélula de 20 cm de altura e, também, com o teste de referência realizado no solo arenoso de base por Miguel e Floss (2017) pode ser vista na Figura 10.

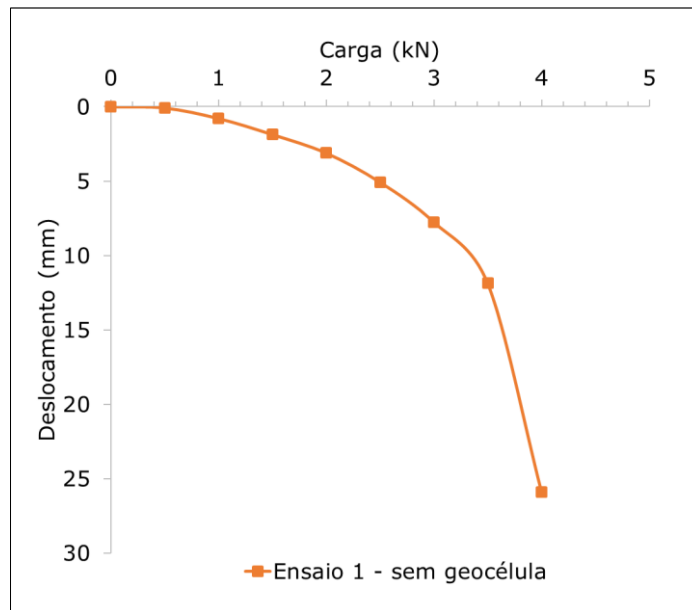


Figura 6 – Curva carga *versus* deslocamento sem a utilização de reforço



Figura 7 – Ruptura da fundação sem reforço

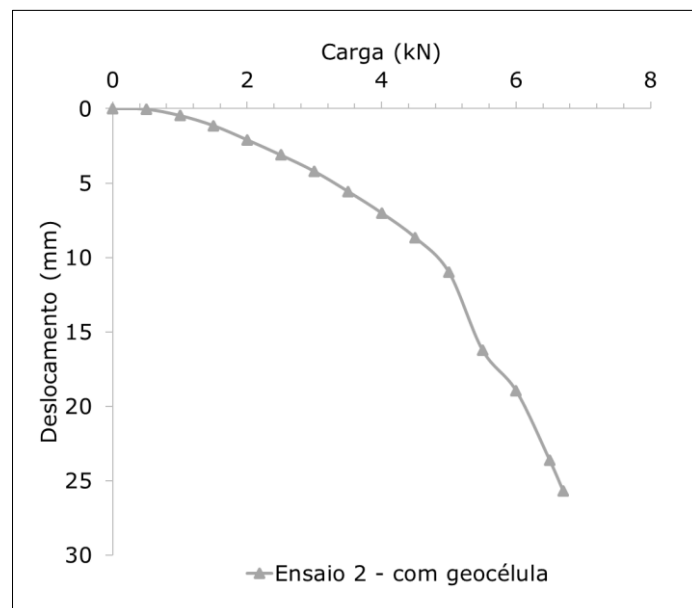


Figura 8 – Curva carga *versus* deslocamento com a utilização de reforço

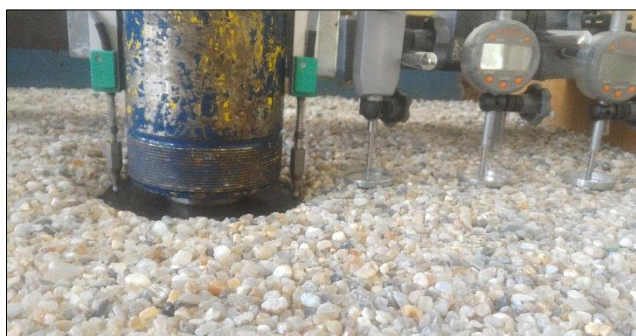


Figura 9 – Ruptura da fundação com reforço

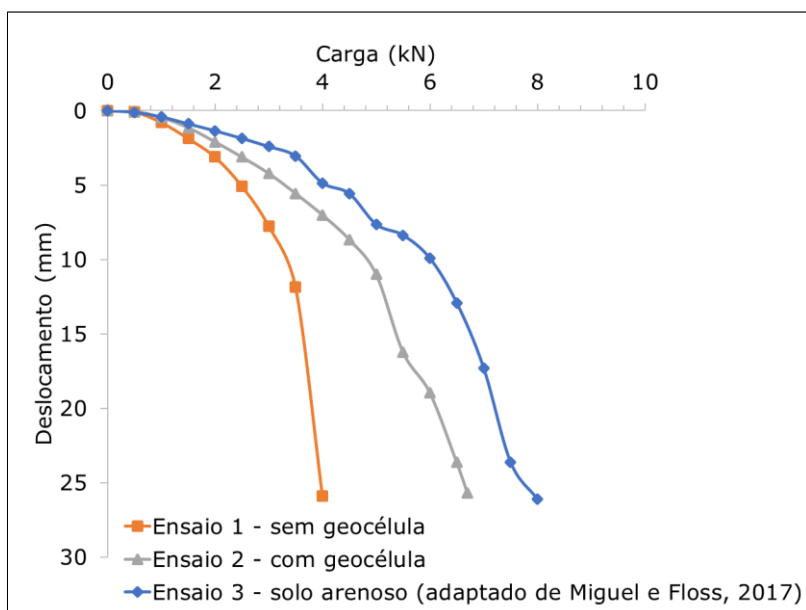


Figura 10 – Comparação entre as curvas carga *versus* deslocamento

Comparando os ensaios em camada de resíduo não reforçada e reforçada, nota-se um aumento da ordem de 1,7 vezes na carga de ruptura do solo com a inserção do reforço de geocélula. Entretanto, o sistema de reforço do solo de base composto por geocélula e resíduo de pedras preciosas apresentou resultado inferior ao observado no ensaio de referência, realizado apenas sobre a areia.

Ao longo dos ensaios, observou-se que a aplicação do carregamento gerava um rearranjo dos grãos da camada de resíduo na região da placa, resultando em um aumento dos recalques até sua estabilização para posterior mobilização da resistência. Isso explica o fato de os ensaios que continham a camada de resíduo apresentarem desempenho inferior ao observado nos ensaios com areia.

## 5 - CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados, as seguintes conclusões podem ser feitas:

- 1) O emprego da geocélula de 20 cm de altura preenchida com resíduo de pedras preciosas resultou em um aumento de cerca de 1,7 vezes na resistência da fundação.
- 2) Para a densidade relativa de 50%, a granulometria utilizada do resíduo resultou em maiores recalques devido a acomodação das partículas sob aplicação de carga.
- 3) A utilização do resíduo de pedras preciosas na faixa granulométrica e densidade estudadas não é uma alternativa adequada para aumento da resistência ou diminuição de recalques do solo de base apresentado.
- 4) Mesmo que a camada de preenchimento com resíduo não tenha sido uma solução eficiente, a utilização da geocélula aumentou a resistência da fundação, visto na comparação entre os ensaios com e sem reforço na camada de resíduo, comprovando o bom desempenho desse geossintético como elemento de reforço de solos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (1984). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6489:1984. Prova de carga direta sobre terreno de fundação. Rio de Janeiro.
- Biswas, A.; Krishna, A. M. (2017). Geocell-reinforced foundation systems: A critical review. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. p. 1-18.
- Dash, S. K.; Krishnaswamy, N. R.; Rajagopal, K. (2001). Bearing capacity of strip footings supported on geocell-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*. v. 19, p. 235-256.
- Dash, S. K.; Sireesh, S.; Sitharam, T. G. (2003). Model studies on circular footing supported on geocell reinforced sand underlain by soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*. v. 21, p. 197-219.
- Donato, M. (2007). Medidas diretas de tensão em solo reforçado com fibras de polipropileno. 2007. 146 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Mandal, J. N.; Gupta, P. (1994). Stability of geocell-reinforced soil. *Construction and Building Materials*. v. 8, n. 1.
- Miguel, G. D.; Floss, M. F. (2017). Um estudo do desempenho da geocélula quando utilizada em solos granulares. *9º Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul*.
- Thomé, A.; Abreu, A. G.; Brandli, L. L.; Fernandes, V. M. C.; Prietto, P. D. M. (2010). *Diagnóstico dos resíduos gerados pelo setor de pedras preciosas do município de Soledade/RS*. Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, p. 90-105.