

Análise do comportamento mecânico de solo silto-argiloso reforçado com geotêxtil

Laiana Ferreira da Costa ^[1], Paulo Germano Tavares Marinho Filho ^[2], Eduardo Antonio Guimarães Tenório ^[3], Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena ^[4]

[1] laianaferreira02@gmail.com. Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho / Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

[2] marinho.paulo05@gmail.com. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

[3] eduardo_agt123@hotmail.com. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

[4] ledach@uol.com.br. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

RESUMO

Elementos de reforço devidamente orientados num maciço de solo alteram o estado de tensões atuantes nesse maciço. A introdução de reforço não implica uma melhoria das características próprias do solo, mas uma alteração do comportamento global por meio da transferência de esforços que se dão na interface solo-reforço, resultando num melhor desempenho em termos de resistência e deformação. Tais mudanças de comportamento do conjunto solo-reforço estão sujeitas a fatores como: tipo de solo a ser reforçado; tipo de reforço utilizado; localização, orientação e alinhamento do reforço; níveis de tensões confinantes atuantes no maciço; condições de drenagem. Este artigo teve o objetivo de avaliar um solo silto-argiloso reforçado com geotêxtil por meio de ensaios triaxiais do tipo adensado não drenado (CU) sob diferentes níveis de tensão confinante (60 kPa, 100 kPa e 120 kPa) e arranjos de camadas de reforço (uma, duas e três camadas de geotêxtil), de modo a proporcionar uma melhor compreensão das características de resistência e deformação do conjunto. Concluiu-se que as amostras de solo reforçadas apresentaram um melhor desempenho tensão-deformação, principalmente nas situações de maior número de camadas de reforço, e que o efeito do geotêxtil na resistência ao cisalhamento do solo foi mais pronunciado em baixas tensões de confinamento.

Palavras-chave: Ensaio triaxial. Espaçamento de geotêxtil. Geossintético. Reforço de solo.

ABSTRACT

Reinforcement elements correctly oriented in a soil mass change the state of stresses acting on this massif. The insertion of reinforcement does not imply an improvement in the characteristics of the soil. It modifies the overall behavior through the transfer of efforts that occur at the soil-reinforcement interface, improving the performance in terms of strength and deformation. Such changes in the behavior of the soil-reinforcement are subject to factors such as the type of soil to be reinforced; type of used reinforced; location, orientation, and alignment of the reinforcement; levels of confining stresses acting in the massif; and drainage conditions. This article aims to evaluate a silt-clay soil reinforced with geotextile by means of consolidated undrained (CU) triaxial tests under different levels of confining stress (60 kPa, 100 kPa, and 120 kPa) and reinforcement layer arrangements (one, two, and three layers of geotextile), which helps a better understand the strength and deformation characteristics of the set. It has been concluded that the reinforced soil samples showed better stress-strain performance, especially in situations of a greater number of reinforcement layers, and that the effect of the geotextile in the resistance to the shear of the soil was more pronounced in low confinement stresses.

Keywords: Geosynthetic. Geotextile spacing. Reinforcement of soil. Triaxial test.

1 Introdução

Solos reforçados com geossintéticos (GRS) têm sido amplamente utilizados em projetos de engenharia geotécnica, como aterros, e na estabilidade de taludes. Segundo Nguyen *et al.* (2013), o projeto dessas estruturas ainda não foi otimizado devido à complexidade no entendimento da distribuição dos esforços no conjunto solo-reforço.

A inserção de geossintéticos em obras geotécnicas propicia uma redistribuição das tensões e deformações, melhorando as propriedades mecânicas do conjunto e, conseqüentemente, aumentando a resistência ao cisalhamento do solo. Entretanto, a eficácia do sistema dependerá do mecanismo de interação solo-reforço e de fatores como localização e alinhamento do geossintético e processo construtivo, permitindo taludes mais íngremes e com melhor estabilidade (LOPES, 2012).

Segundo Wu e Hong (2008), três conceitos podem explicar a melhoria do comportamento mecânico de solos reforçados com geossintéticos: o aumento do confinamento interno do solo, a melhoria nas propriedades de resistência ao cisalhamento devido à presença do reforço e a redução das deformações.

Várias pesquisas (CHEN; ZHANG; LI, 2014; DENINE *et al.*, 2016; NGUYEN *et al.*, 2013; PATIAS, 2005; TAFRESHI; ASAKEREH, 2007; ZHANG; JAVADI; MIN, 2006) têm investigado o efeito de geossintéticos na resistência ao cisalhamento do solo reforçado em comparação com o solo sem reforço, com o uso de ensaios triaxiais para a avaliação do comportamento resistente do conjunto.

Os estudos têm demonstrado que o uso de camadas de geossintéticos melhora o desempenho mecânico do conjunto solo-reforço, proporcionando um aumento significativo na resistência ao cisalhamento. No entanto, esses benefícios são influenciados pelos valores de pressão confinante aplicados.

Nas análises acerca da influência do número de camadas de geossintéticos no solo, as pesquisas (DENINE *et al.*, 2016; NGUYEN *et al.*, 2013) têm indicado que esse parâmetro influencia a mobilização da interface solo-reforço e o tipo de superfície de deslizamento.

Nesse contexto, este artigo tem o intuito de avaliar a resistência ao cisalhamento, por meio de ensaios triaxiais do tipo adensado não drenado (CU) de um solo silto-argiloso. A análise foi feita em diferentes níveis de tensão de confinamento (60 kPa, 100 kPa e 120 kPa) e arranjos de camadas de geotêxtil (uma,

duas e três camadas), objetivando contribuir para um melhor entendimento do comportamento resistente do conjunto solo-reforço.

2 Referencial teórico

Nos ensaios triaxiais, tem-se verificado comportamentos distintos entre solos e solos reforçados com geossintéticos em termos de resistência e deformação. De acordo com Saez (1997), dois tipos de mecanismos na interação solo-reforço podem se desenvolver no decorrer da realização do ensaio triaxial: no primeiro mecanismo, o reforço é tracionado, gerando um aumento da resistência do material; já no segundo, o solo envolvente desloca-se em relação ao reforço, gerando, também, um acréscimo de resistência, dessa vez devido ao cisalhamento na interface. O autor ainda destaca que, de forma secundária, no segundo mecanismo o geossintético também pode estar submetido a esforços de tração.

Avesani Neto e Portelinha (2016) estudaram o uso de geossintéticos no reforço de muros e taludes, com ênfase nos mecanismos do próprio reforço e no dimensionamento. Os autores concluíram que o efeito do espaçamento entre os reforços pode influenciar não somente a magnitude da força de tração requerida do reforço, mas também a localização dessas forças ao longo do comprimento do reforço.

Tafreshi e Asakereh (2007) obtiveram os valores de tensão desviadora em diferentes níveis de deformação e de confinamento, por meio de ensaios triaxiais não adensados para uma areia siltosa sem geotêxtil e com geotêxtil em configurações de uma, duas e três camadas. Os autores concluíram que as amostras com geotêxtil aumentaram a tensão desviadora e a resistência ao cisalhamento em comparação com as amostras não reforçadas e que isso se deu principalmente devido ao aumento do confinamento interno.

Nguyen *et al.* (2013) realizaram ensaios triaxiais adensados e drenados para corpos de prova de areia reforçados com geotêxtil, variando as pressões confinantes (20 kPa, 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa) e o número de camadas de geotêxtil (uma, duas e três camadas). Para as amostras de solo reforçado, os resultados desse estudo indicaram que houve aumento no pico de resistência ao cisalhamento e na deformação axial na falha e que a perda de resistência ao cisalhamento pós-pico foi menor. Os autores também observaram que as amostras de

solo reforçado apresentaram maior resistência ao cisalhamento, quando comparadas com amostras não reforçadas, após 1% a 3% da deformação axial.

Usando o ensaio triaxial não drenado, Denine *et al.* (2016) analisaram o comportamento de amostras de areia solta reforçada com geotêxtil em diferentes níveis de tensão de confinamento (50 kPa, 100 kPa e 200 kPa) e arranjos de camadas (uma, duas e três camadas). Os resultados mostraram que a inserção do geotêxtil melhora o comportamento mecânico da areia, proporcionando um aumento significativo na resistência ao cisalhamento pela adição de camadas de reforço. Os autores também comprovaram que as tensões desviadoras aumentam com a inserção do reforço e com a adição de camadas, no entanto a razão de resistência (relação entre a tensão desviadora máxima da areia reforçada e a tensão desviadora máxima da areia sem reforço) é mais pronunciada para amostras que foram submetidas a baixo valor de tensão confinante.

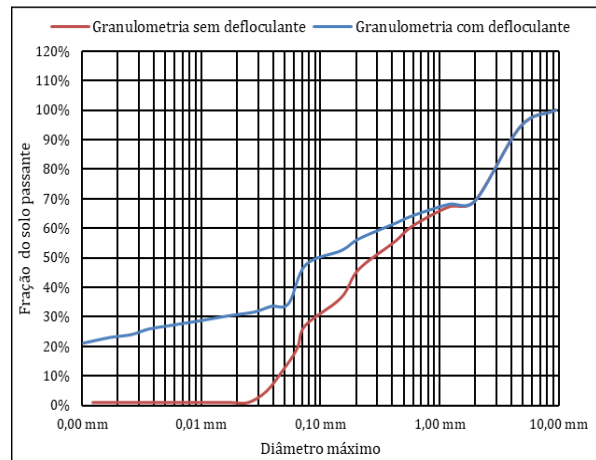
Patias (2005) realizou ensaios de compressão triaxial dos tipos não adensado-não drenado (UU) e adensado-não drenado (CU) em argilas silto-arenosas e areia fina com aproximadamente 40% de finos no seu estado natural e com a inclusão de reforços, sendo um deles um geotêxtil. A partir das comparações acerca dos resultados obtidos nos ensaios triaxiais realizados em corpos de prova reforçados e não reforçados, o autor verificou ganhos de resistência para a combinação solo fino-geotêxtil, ora em termos de ângulo de atrito interno, ora em relação à coesão.

3 Método da pesquisa

O solo utilizado nesta pesquisa foi coletado na região do município de Quebrangulo, em Alagoas, distante 115 km de Maceió. Sua caracterização física foi realizada no Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) da UFCG, possibilitando a determinação do seu limite de liquidez (46%), limite de plasticidade (22,99%), massa específica (2,70 g/cm³) e a análise granulométrica dos grãos (com defloculante e sem defloculante), mostrada na Figura 1.

O solo foi então classificado segundo a AASHTO (T.R.B.) como um solo A-7-6 e segundo a classificação unificada (S.U.C.S.), como um solo SC. No ensaio de compactação foi utilizada a energia normal, obtendo-se umidade ótima e peso específico aparente seco máximo de 21% e 16,8 kN/cm³, respectivamente.

Figura 1 – Análise granulométrica do solo estudado



Fonte: dados da pesquisa

Para a realização do ensaio triaxial adensado não drenado (CU), foram moldados corpos de prova apenas com solo, para efeito comparativo, e com a inserção do geotêxtil não tecido GEOFORT (GTX-N), cujas propriedades estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações técnicas do geotêxtil não tecido

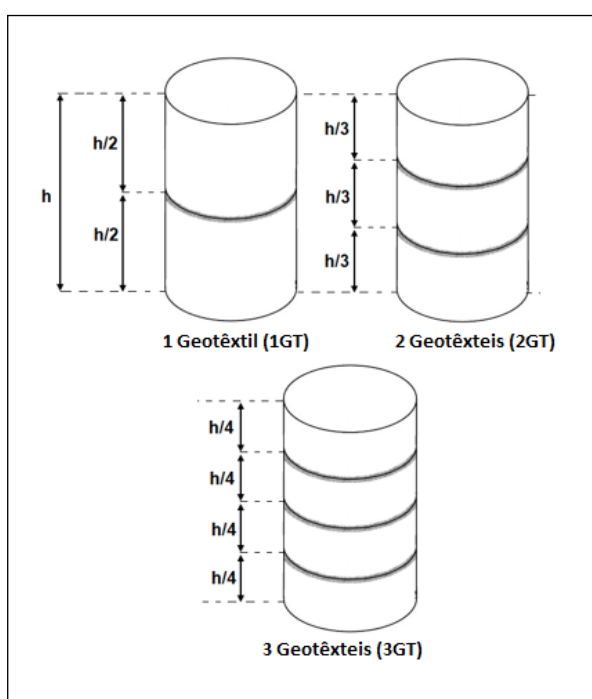
Propriedade		Norma	Unid.	GF 10/200	
MECÂNICAS	Resistência à tração em faixa larga	ABNT NBR ISO 10319/2013	T	kN/%	10 > 70
			L	kN/%	9 > 70
	Resistência ao rasgo trapezoidal	ASTM D4533/2015	T	N	260
			L	N	280
Resistência ao punção CBR	ABNT NBR ISO 12236/2013		kN	1,80	
FÍSICAS	Retenção de asfalto	Task Force 25#8		l/m ²	2
	Comprimento bobina*			m	100
	Largura bobina*			m	2,15 e 4,30
	Matéria-prima				100% poliéster ou 100% polipropileno
Ponto de fusão				100% poliéster – 260 °C/ 100% polipropileno – 165 °C	

Fonte: GEOFORT, 2019

A moldagem dos corpos de prova para realização dos ensaios triaxiais foi feita por meio de compactação estática. Os corpos de prova para os ensaios com solo puro e com solo reforçado com geotêxtil possuíam dimensões de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura.

A inserção do reforço foi realizada utilizando três modelos distintos. A Figura 2 apresenta os arranjos das camadas de geotêxtil nos corpos de prova de solo ensaiados.

Figura 2 – Arranjos das camadas de geotêxtil nos corpos de prova de solo



Fonte: elaborada pelos autores

Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D4767 (1995) em prensa triaxial da IPC Global modelo 002-2049. Os corpos de prova foram previamente saturados, utilizando-se o método seco preconizado pela ASTM D4767 (1995). A validação da saturação foi feita pelo parâmetro B de Skempton, aceitando-se como “saturados” corpos de prova com $B > 0,95$. Para assegurar a dissolução do ar presente nos corpos de prova, utilizou-se água deaerada e conduziu-se a saturação até contrapressões de 500 kPa, mesmo com o parâmetro $B > 0,95$ sendo obtido para pressões

inferiores. O cisalhamento dos corpos de prova foi avaliado mediante aplicações de tensões confinantes de 60 kPa, 100 kPa e 120 kPa () e acréscimos de tensão desviadora (). O critério de ruptura foi a máxima poro-pressão gerada durante o cisalhamento.

4 Resultados da pesquisa

A Figura 3 ilustra o aspecto do corpo de prova reforçado com três camadas de geotêxtil, deformado após o ensaio triaxial. Os demais corpos de prova reforçados apresentaram o mesmo aspecto.

Figura 3 – Aspecto do corpo de prova reforçado após ensaio triaxial

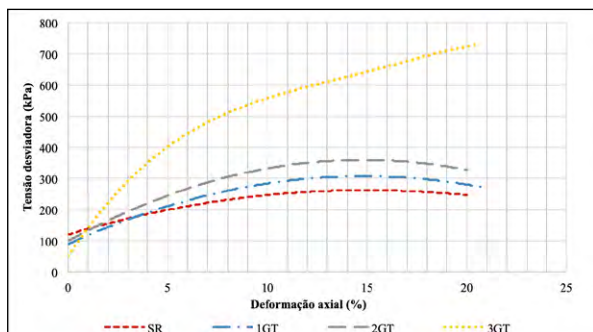


Fonte: arquivo dos autores

Visualmente, percebe-se que a ruptura se deu por meio da ocorrência de abaulamento entre as camadas de geotêxtil adjacentes. O mesmo foi observado por Nguyen *et al.* (2013).

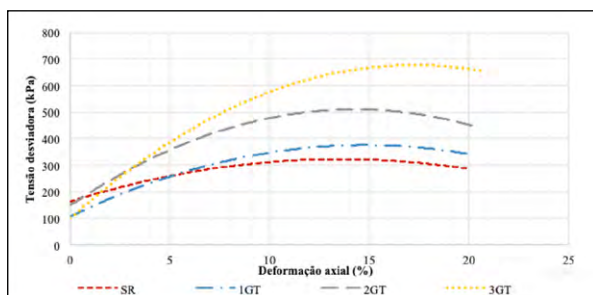
A Figura 4, a Figura 5 e a Figura 6 indicam o comportamento tensão desviadora versus deformação do solo não reforçado (SR) e dos solos reforçados com uma camada de geotêxtil (1GT), duas camadas de geotêxtil (2GT) e três camadas de geotêxtil (3GT), submetidos a tensões confinantes de 60 kPa, 100 kPa e 120 kPa.

Figura 4 – Relação tensão-deformação para $\sigma = 60$ kPa



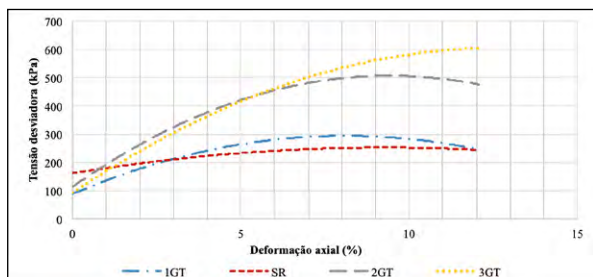
Fonte: dados da pesquisa

Figura 5 – Relação tensão-deformação para $\sigma = 100$ kPa



Fonte: elaborada pelos autores

Figura 6 – Relação tensão-deformação para $\sigma = 120$ kPa



Fonte: dados da pesquisa

Nota-se que a inserção do geotêxtil no solo promoveu um aumento da tensão desviadora e da deformação axial na ruptura para todas as situações de tensão confinante aplicada. Tal resultado está de acordo com os estudos de Denine *et al.* (2016), Haeri, Noorzad e Oskoorouchi (2000), Nguyen *et al.* (2013), Tafreshi e Asakereh (2007) e Wu e Hong (2008).

Percebe-se também que quanto maior o número de camadas de geotêxtil no corpo de prova de solo, maior a tensão desviadora do conjunto. Se o

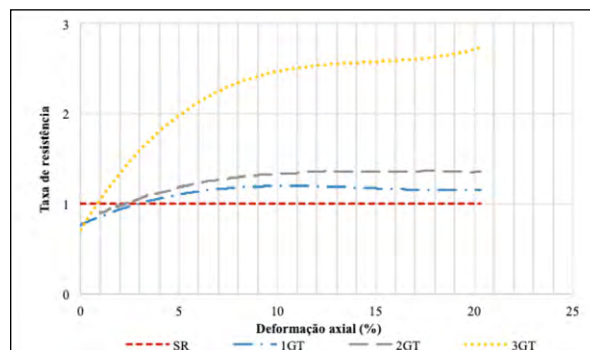
espaçamento vertical entre as camadas adjacentes de reforço diminui, o efeito do reforço no solo será similar a uma tensão adicional de confinamento atuando ao longo da altura da peça e, como consequência, os parâmetros de resistência do conjunto solo mais reforço aumentam em comparação ao solo sem reforço.

Tal afirmação pode ser comprovada nos resultados obtidos, pois se verificou que os corpos de prova com três camadas de geotêxtil – situação de menor espaçamento vertical ($h/4$) entre as camadas de reforço adjacentes – foram os que apresentaram a maior tensão desviadora e a maior deformação axial na falha, ou seja, melhor comportamento quanto à resistência ao cisalhamento.

Calculou-se a taxa de resistência sob as três diferentes tensões de confinamento aplicadas aos corpos de prova. A taxa de resistência é definida como a razão entre a tensão desviadora das amostras reforçadas e a tensão desviadora das amostras não reforçadas, sob a mesma tensão de confinamento.

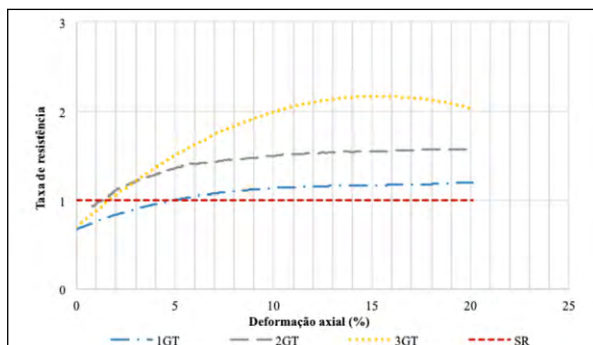
A Figura 7, a Figura 8 e a Figura 9 indicam as variações das taxas de resistência calculadas. De acordo com Denine *et al.* (2016) e Nguyen *et al.* (2013), geralmente a taxa de resistência aumenta com o aumento da deformação axial, com o aumento do número de camadas de reforço e com a diminuição da tensão confinante. O comportamento apresentado nas Figuras 7, 8 e 9 está de acordo com as constatações desses autores, pois, para todos os casos, a taxa de resistência foi maior para maiores deformações axiais e na situação em que foram utilizadas três camadas de geotêxtil e aplicada tensão confinante de 60 kPa, respectivamente.

Figura 7 – Taxa de resistência versus deformação axial para $\sigma = 60$ kPa



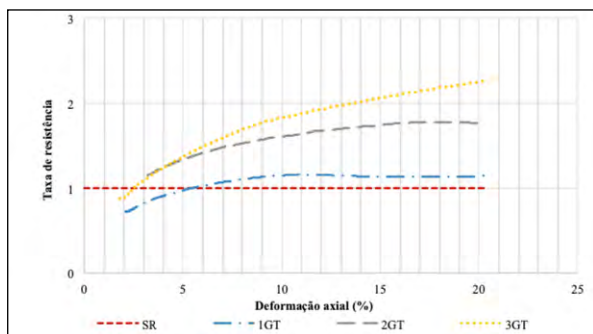
Fonte: dados da pesquisa

Figura 8 – Taxa de resistência versus deformação axial para $\sigma = 100$ kPa



Fonte: dados da pesquisa

Figura 9 – Taxa de resistência versus deformação axial para $\sigma = 120$ kPa



Fonte: dados da pesquisa

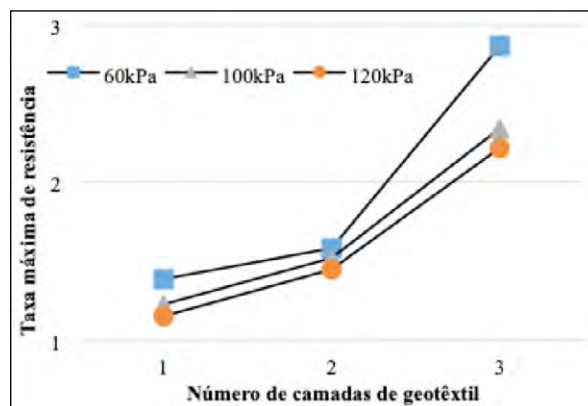
Nota-se também, de uma forma geral, que entre 1% e 3% da deformação axial, a tensão desviadora dos corpos de prova reforçados foi menor do que a tensão desviadora dos corpos de prova sem reforço, fato evidenciado pelos valores menores que 1,0 das taxas de resistência dos corpos de prova reforçados.

Ou seja, na fase inicial do ensaio, o conjunto solo mais reforço apresentou deformação axial mais acentuada sob tensões desviadoras menores quando comparado aos corpos de prova sem reforço. Nguyen *et al.* (2013) explicam que esse achado indica que, no início do cisalhamento, o geotêxtil requer uma deformação suficiente para mobilizar sua força de tração para, assim, melhorar a resistência ao cisalhamento do solo reforçado.

Observou-se também que a tensão de tração mobilizada do reforço aumentou à medida que a pressão confinante também aumentou, verificada pela maior solicitação em termos de deformação axial para atingir taxa de resistência igual a 1,0. Tal constatação também está de acordo com os estudos de Nguyen *et al.* (2013).

A Figura 10 ilustra a variação do valor máximo da taxa de resistência para cada tensão confinante analisada em função do número de camadas de reforço. Observa-se que, à medida que o número de camadas de reforço aumenta, a taxa de resistência também aumenta. Verifica-se ainda que o valor máximo da taxa de resistência para cada tensão confinante diminui à medida que a tensão confinante aumenta, estando esses resultados em concordância com os estudos de Chen, Zhang e Li (2014), Nguyen *et al.* (2013) e Zhang, Javadi e Min (2006).

Figura 10 – Taxa máxima de resistência versus número de camadas de geotêxtil



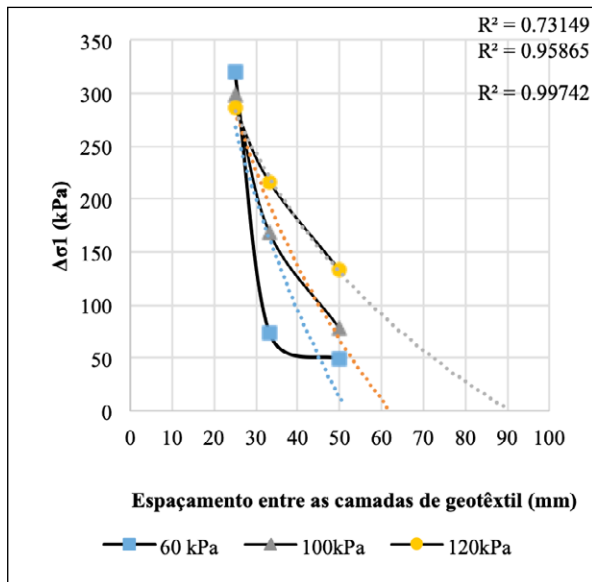
Fonte: dados da pesquisa

De acordo com Nguyen *et al.* (2013), tais verificações indicam melhoria crescente da resistência ao cisalhamento do solo com um número maior de camadas de reforço e diminuição da contribuição do reforço para a resistência ao cisalhamento total do solo reforçado quando este é submetido a elevadas tensões confinantes.

A contribuição do reforço na melhoria da resistência ao cisalhamento do solo foi avaliada também por meio da variação da tensão principal maior aplicada (σ_1). A variação da tensão principal maior é a diferença entre o solo reforçado e o solo não reforçado, sob a mesma tensão de confinamento.

A Figura 11 indica a relação entre σ_1 e o espaçamento, em mm, entre as camadas de geotêxtil. Percebe-se que, à medida que o número de camadas de reforço aumenta, também aumenta, o que pode ser comprovado pela relação inversamente proporcional entre σ_1 e o espaçamento entre as camadas de geotêxtil.

Figura 11 – $\Delta\sigma_1$ versus espaçamento entre as camadas de geotêxtil



Fonte: dados da pesquisa

A variação da tensão principal maior pode ser reduzida a zero, conforme observado na extrapolação das curvas na Figura 11 para o eixo horizontal, em certo espaçamento entre reforços, conhecido como espaçamento de influência de um reforço. Quando o espaçamento de reforço excede o espaçamento de influência, o reforço não afeta a resistência ao cisalhamento do solo reforçado.

Neste estudo, o espaçamento de influência está na faixa de 52 mm a 90 mm, equivalente a uma faixa de valores da razão espaçamento/diâmetro de 1,1 – 1,8, o que corrobora resultados de Nguyen *et al.* (2013) e Gray e Ohashi (1983). Esses últimos concluíram que geotêxteis posicionados nas relações espaçamento/diâmetro > 1 tiveram efeito insignificante no aumento da resistência ao cisalhamento do solo reforçado.

5 Conclusão

Por meio deste estudo, investigou-se o efeito da tensão de confinamento e dos arranjos de camadas de geotêxtil na resistência ao cisalhamento de um solo silto-argiloso. Com isso, concluiu-se que:

1. as amostras de solo exibiram um melhor desempenho tensão-deformação em termos de resistência ao cisalhamento pela adição do geotêxtil. Tal melhoria foi observada pelo aumento da tensão desviadora e da deformação axial na ruptura para todas as situações de

tensão confinante, sendo cada vez maior com o aumento do número de camadas de reforço;

2. o efeito do reforço na resistência ao cisalhamento do solo foi mais pronunciado em baixas tensões de confinamento;
3. em comparação com o solo não reforçado, o solo reforçado apresentou maior resistência ao cisalhamento somente após uma faixa de 1% a 3% de deformação axial, apontando que o geotêxtil necessita de uma deformação axial suficiente para mobilizar sua resistência à tração e assim contribuir para a resistência ao cisalhamento do conjunto. Observou-se ainda que o valor da deformação axial necessária para a mobilização da resistência à tração do geotêxtil aumenta com a aplicação de tensões confinantes altas.
4. a taxa de resistência aumenta com o aumento do número de camadas de reforço e com a diminuição da tensão confinante, o que mostra uma relação diretamente proporcional entre resistência ao cisalhamento do solo e número de camadas de reforço e inversamente proporcional entre resistência ao cisalhamento do solo e tensões confinantes;
5. o aumento do espaçamento entre as camadas de reforço induz uma diminuição da diferença da tensão principal maior, e, no intervalo de 1,1 a 1,8 da relação espaçamento/diâmetro, a diferença da tensão principal maior pode ser reduzida a zero e o reforço não mais atuar de forma significativa no aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

REFERÊNCIAS

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. **ASTM D4767 - 11**: Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. West Conshohocken, PA, USA: ASTM, 1995.

AVESANI NETO, J. O.; PORTELINHA, F. H. M. Aspectos gerais sobre o uso de geossintéticos em muros e taludes reforçados. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA (COBRAMSEG), 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais (...)**. Belo Horizonte: ABMS, 2016.

CHEN, X.; ZHANG, J.; LI, Z. Shear behaviour of a geogrid-reinforced coarse-grained soil based on large-scale triaxial tests. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 42, n. 4, p. 312-328, maio 2014. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2014.05.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266114414000417>. Acesso em: 13 out. 2019.

DENINE, S; DELLA, N; DLAWAR, M. R.; SADOK, F.; CANOU, J.; DUPLA, J.-C. Effect of geotextile reinforcement on shear strength of sandy soil: laboratory study. **Studia Geotechnica et Mechanica**, v. 38, n. 4, p. 3-13, jan. 2016. DOI: 10.1515/sgem-2016-0026. Disponível em: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0266114407001100>. Acesso em: 13 out. 2019.

GEOFORT. **Especificação de produto:** manta geotêxtil. São Paulo, 2019.

GRAY, D. H.; OHASHI, H. Mechanics of fiber reinforcement in sand. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 109, n. 3, p. 335-353, jul. 1983. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(335). Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:3\(335\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(335)). Acesso em: 11 out. 2019.

HAERI, S. M.; NOORZAD, R.; OSKOOROUCHI, A. M. Effect of geotextile reinforcement on the mechanical behavior of sand. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 18, n. 6, p. 385-402, mar. 2000. DOI: 10.1016/S0266-1144(00)00005-4. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(00\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(00)00005-4). Acesso em: 3 out. 2019.

LOPES, M. L. Soil-geosynthetic interaction. In: SHUKLA, S. K. **Handbook of Geosynthetic Engineering**. 2. ed. London: ICE Publishing, 2012. p. 45-66.

NGUYEN, M. D.; YANG, K. H.; LEE, S. H.; WU, C. S.; TSAI, M. H. Behavior of nonwoven-geotextile-reinforced sand and mobilization of reinforcement strain under triaxial compression. **Geosynthetics International**, v. 20, n. 3, p. 207-225, mar. 2013. DOI: 10.1680/gein.13.00012. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/gein.13.00012>. Acesso em: 10 out. 2019.

PATIAS, J. **Avaliação do uso de solos não convencionais em estruturas de solo reforçado**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SAEZ, J. A. Caracterización geomecánica de geotextiles. In: **Curso sobre técnicas generales de refuerzo del terreno y sus aplicaciones**. Madrid: CEDEX, 1997.

TAFRESHI, S. N. M.; ASAKEREH, A. Strength evaluation of wet reinforced silty sand by triaxial test. **International Journal of Civil Engineering**, v. 5, n. 4, p. 274-283, dez. 2007. Disponível em: <http://ijce.iust.ac.ir/article-1-330-en.pdf>. Acesso em: 2 out. 2019.

WU, C. S.; HONG, Y. S. The behavior of a laminated reinforced granular column. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 26, n. 4, p. 302-316, dez. 2008. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2007.12.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266114407001100>. Acesso em: 20 out. 2019.

ZHANG, M. X.; JAVADI, A. A.; MIN, X. Triaxial tests of sand reinforced with 3D inclusions. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 24, n. 4, p. 201-209, maio 2006. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2006.03.004. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-78e73fd9-0c18-3dfb-88f5-4d0464c6ca5f>. Acesso em: 24 out. 2019.