

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/576

A Importância do Contato e das Correções nas Fases de Adensamento e Cisalhamento no Ensaio DSS em Solos Moles

Clarisse Tamanqueira do Couto
Mestranda COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, clarisse.couto@coc.ufrj.br

Rhamira Duarte Gautério Pascual
Doutoranda COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, rhamira.pascual@coc.ufrj.br

Graziella Maria Faquim Jannuzzi
Professora Adjunta, Escola Politécnica da UFRJ, Brasil, jannuzzi@poli.ufrj.br

RESUMO: Ensaios de cisalhamento simples (*direct simple shear, DSS*) monótono e cíclico estão sendo realizados no solo mole do depósito de Sarapuí II com o equipamento de fabricação GDS Instruments. Para materiais com baixa resistência os procedimentos de ensaio devem garantir a realização da moldagem meticulosa do corpo de prova, o correto posicionamento no equipamento, o contato (*docking*) do *top cap* com o corpo de prova, bem como considerar as devidas correções, i.e., na fase de adensamento e na fase de cisalhamento. Este trabalho apresenta um procedimento especial para realização da etapa de *docking* tendo como alvo o deslocamento. As correções foram realizadas de acordo com as normas que padronizam os ensaios ASTM D6528/17 e ASTM D8296/19. Os resultados indicam que para solos moles e muito moles cujos valores de tensão vertical de campo e resistência ao cisalhamento são muito baixos, as correções são imprescindíveis.

PALAVRAS-CHAVE: DSS cíclico, solo mole, *docking*, correção de atrito vertical, correção fase do cisalhamento.

ABSTRACT: Monotonic and cyclic direct simple shear tests (DSS) are being carried out on the Sarapuí II soft clay with the GDS Instruments equipment. For materials with low resistance, test procedures must ensure meticulous sampling of the specimen, correct positioning in the equipment, docking of the top cap with the specimen, as well as taking into account the appropriate corrections, in the consolidation phase and in the shear phase. This work presents special procedure for carrying out the docking stage with displacement as its target. The corrections were made according to ASTM D6528/17 and ASTM D8296/19. The results indicate that for soft and very soft soils whose vertical field stress and shear stress values are very low, corrections are essential.

KEYWORDS: cyclic DSS, soft soil, docking, vertical friction correction, shear phase correction.

1 INTRODUÇÃO

Ensaios de cisalhamento simples (*direct simple shear, DSS*) monótono e cíclico já consagrados internacionalmente, estão sendo utilizados cada vez mais no Brasil. O estudo do carregamento cíclico ganhou maior destaque quando associado a estruturas de fundações *offshore*, principalmente se tratando de fundações nos setores de energia eólica, óleo e gás (ANDERSEN, 2015).

Os ensaios realizados em laboratório, que melhor representam o comportamento dos solos quando submetidos a carregamentos cíclicos, são: triaxial cíclico e cisalhamento cíclico. Em ambos, realiza-se a etapa de adensamento do corpo de prova para posteriormente realizar a etapa de cisalhamento (ANDERSEN, 2015). As normas ASTM D6528/17 e ASTM D8296/19 padronizam os procedimentos dos ensaios DSS monótono e cíclico, respectivamente.

Compreendendo a necessidade de garantir resultados representativos do comportamento do solo, a presente pesquisa tem por objetivo abordar as particularidades do ensaio no que diz respeito as etapas preliminares do ensaio de DSS, o próprio estabelecimento do contato entre o *top cap* e o corpo de prova

(denominada *docking*) e as correções necessárias a serem feitas tanto na fase de adensamento quanto na fase de cisalhamento, uma vez que em se tratando de solos moles e muito moles qualquer interferência há de ser considerada no cômputo geral da análise.

2 METODOLOGIA

2.1 Equipamento

O equipamento *Direct Simplex Shear* (DSS) cíclico, fabricação GDS Instruments modelo EMDCSS I, foi recentemente adquirido pelo Laboratório de Ensaios de Campo e Instrumentação Professor Márcio Miranda Soares um dos laboratórios de Geotecnia Professor Jacques de Medina da COPPE UFRJ. Este equipamento é composto por três caixas de controle, bomba, peças para montagem do ensaio e máquina de cisalhamento simples, conforme ilustrado na sequência, Figura 1 (COUTO, 2023).

O ensaio de DSS é composto por duas etapas preliminares: contato do *top cap* com corpo de prova (*docking*) e a saturação do corpo de prova, e duas etapas principais, adensamento e cisalhamento, que pode simular eventos cujas solicitações sejam monótonas ou cíclicas.

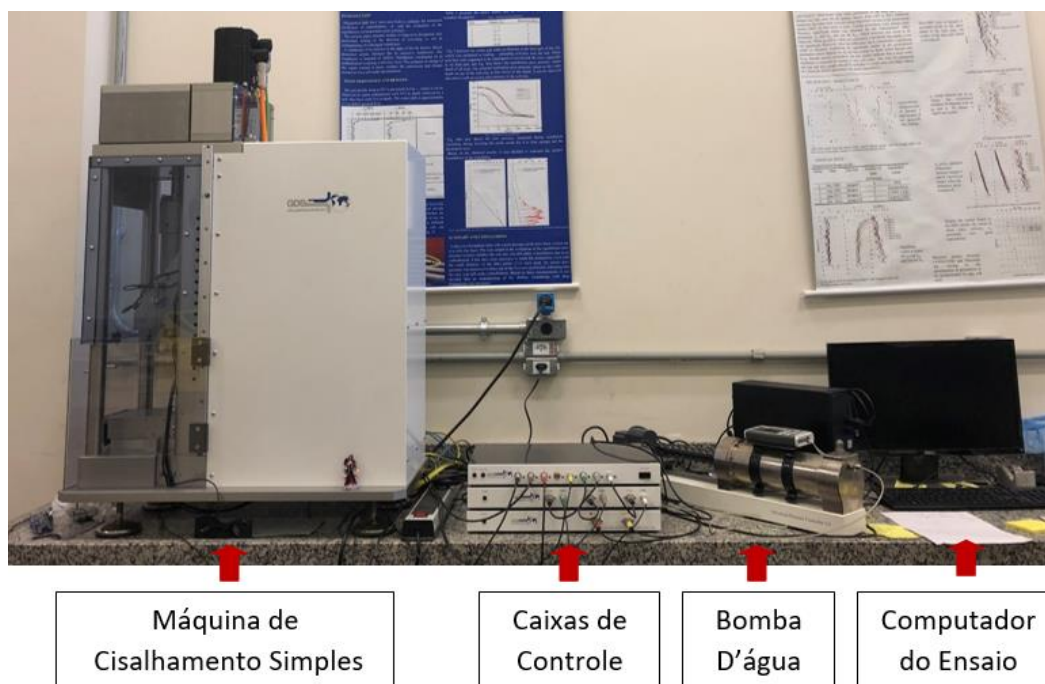


Figura 1. Equipamento DSS fabricação GDS Instruments (COUTO, 2023).

2.2 Material

O material de estudo é o solo mole do campo experimental de Sarapuí II localizado na Estação Rádio da Marinha em Duque de Caxias (RJ). Este solo é classificado como muito mole e apresenta alta plasticidade. Valores de referência são apresentados na Figura 2.

Os corpos de prova ensaiados neste trabalho foram provenientes de amostras indeformadas coletadas com o amostrador do tipo pistão estacionário NGI/GEONOR 76mm de diâmetro interno na profundidade nominal de 3m.

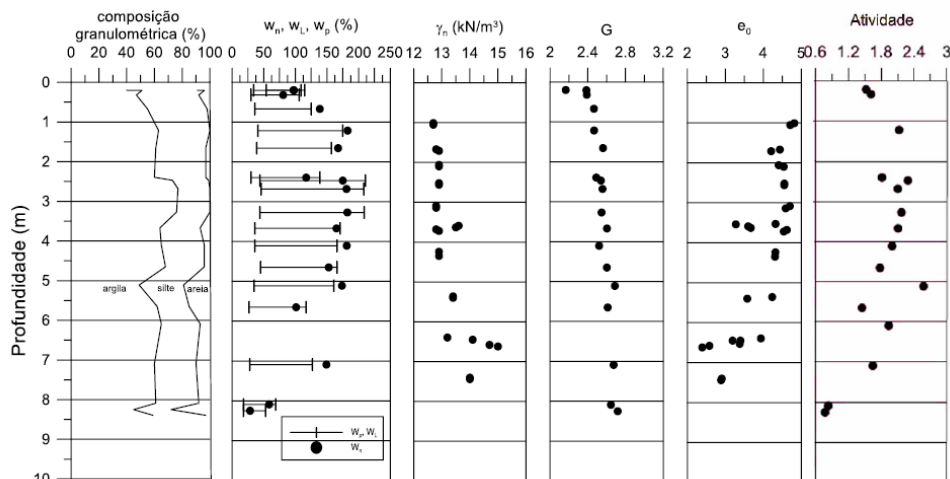


Figura 2. Composição granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade, teor de umidade natural, peso específico natural, densidade dos grãos, índice de vazios inicial e atividade (JANNUZZI *et al.*, 2015).

2.3 Procedimento Docking

Chama-se *docking* o contato estabelecido entre o *top cap* do equipamento com o corpo de prova de solo. No equipamento de fabricação GDS este procedimento pode ser realizado de duas formas distintas, são elas: (1) fornecer um alvo de carga (kN) ou (2) fornecer um alvo de deslocamento (mm) (Couto *et al.*, 2022).

Para executar esta etapa é necessário acoplar ao *top cap* o conjunto composto por pedra porosa e anéis de vedação (o-rings) na parte superior do equipamento. E na parte inferior, deve-se acoplar a base o conjunto composto pelo *bottom cap*, pedra porosa, corpo de prova e anéis justapostos, conforme ilustra a Figura 3a. Na seqüência, realiza-se a centralização do conjunto, conforme Figura 3b.

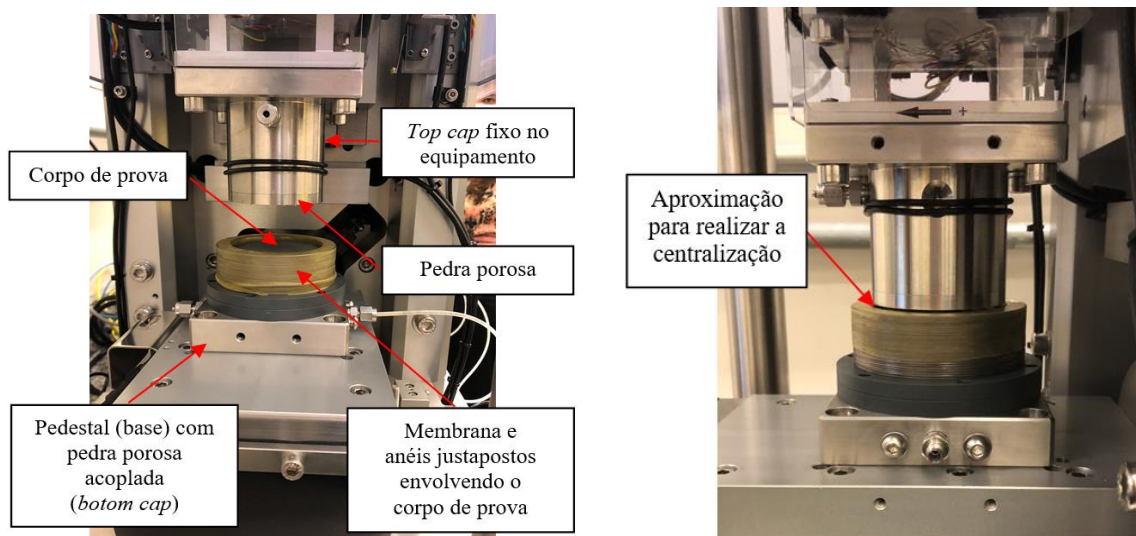


Figura 3. (a) Conjunto montado no equipamento de DSS cíclico.
 (b) Centralização entre *top cap* e *bottom cap*. (COUTO *et al.*, 2022)

A centralização do conjunto envolve a movimentação vertical do *top cap* de modo que fique perto suficientemente do topo dos anéis justapostos sem qualquer contato e a movimentação horizontal de modo que o correto alinhamento seja garantido. Salienta-se que é imprescindível realizar a etapa de aproximação com cautela, pois esta é efetuada de modo visual e o não alinhamento pode implicar em danos ao equipamento.

No procedimento seguinte, movimenta-se o *top cap* de modo mais sutil até facear o primeiro anel justaposto, Figura 4a. Finalmente, realiza-se propriamente o *docking*, Figura 4b.

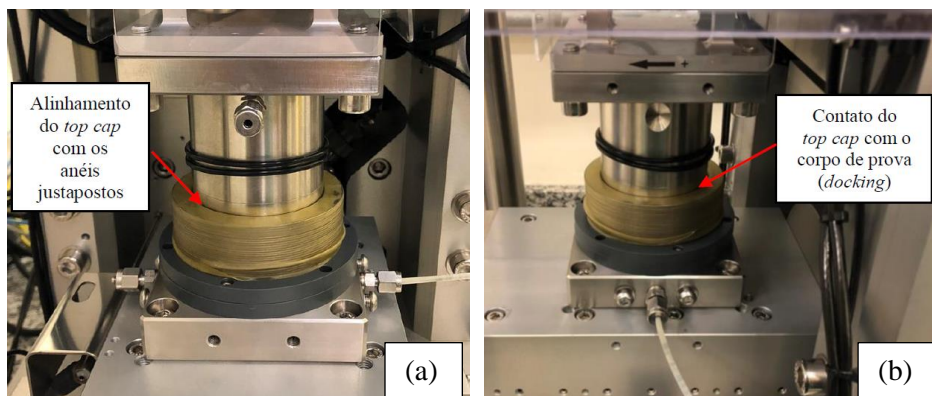


Figura 4. (a) Alinhamento do top cap com os anéis justapostos; (b) Contato do top cap com a amostra vista frontal (*docking*) (COUTO *et al.*, 2022).

Cabe salientar que o *docking* automatizado, é realizado sem que seja possível registrar os dados durante o procedimento. Contudo, para efetuar a etapa do adensamento é necessário restabelecer o contato, e para isso, configura-se o primeiro estágio do ensaio aquisitando tais dados. Na configuração desta etapa, é fornecido um alvo de carga de 20 N, valor mínimo para vencer o atrito e restabelecer o contato do top cap com o corpo de prova, porém, os valores de deslocamentos são registrados e altura do corpo de prova é devidamente corrigida antes da etapa de cisalhamento.

2.4 Correções

Para solos moles e muito moles duas correções são necessárias no equipamento da GDS: i) correção na fase de adensamento devido ao atrito vertical; ii) correção na fase de cisalhamento devido à rigidez da membrana e ao atrito dos anéis justapostos. Esses valores devem ser conhecidos e utilizados na correção dos resultados dos ensaios.

2.4.1 Correção na Fase de Adensamento

A correção na fase de adensamento é fundamental quando a carga aplicada na fase de adensamento tem a mesma magnitude da correção. A correção realizada fornece o valor do atrito vertical da movimentação do top cap. Este valor deve ser incrementado ao valor da tensão que se deseja aplicar sobre o corpo de prova nos estágios de adensamento.

O procedimento executado consiste em acoplar ao equipamento o top cap com o elemento poroso e dois o-rings e configurar um total de 21 estágios que visam a realização de 10 ciclos completos de descida e subida do equipamento.

Os gráficos de deslocamento *versus* tempo, Figura 5a, e tensão normal *versus* tempo, Figura 5b, são gerados durante a realização da correção pelo programa GDSLAB do equipamento.

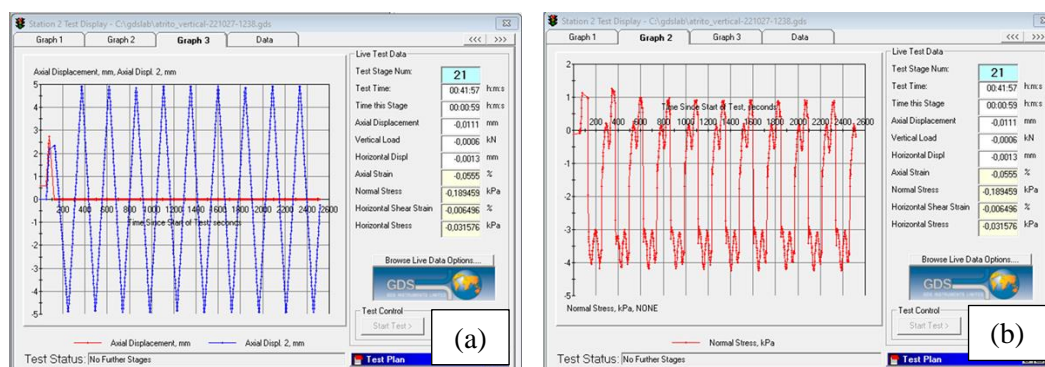


Figura 5. (a) Gráfico deslocamento vertical *versus* tempo ao final do teste de atrito vertical; (b) Gráfico tensão vertical *versus* tempo ao final do teste de atrito vertical (COUTO, 2023).

A configuração do procedimento realizado encontra-se detalhada em Couto (2023).

2.4.2 Correção na Fase de Cisalhamento

A correção na fase de cisalhamento é referente à rigidez da membrana e ao atrito dos anéis justapostos. Sua correção é indispensável e sua não realização fornece resultados superestimados de resistência não drenada do solo.

A correção da fase de cisalhamento pode ser realizada conforme descrito na sequência. Faz-se necessário acoplar ao equipamento o *top cap* com elemento poroso e dois *o-rings*, montar o *bottom cap* de maneira similar à montagem com o corpo de prova de solo, porém, colocar água no sistema ao invés de solo, Figura 6.

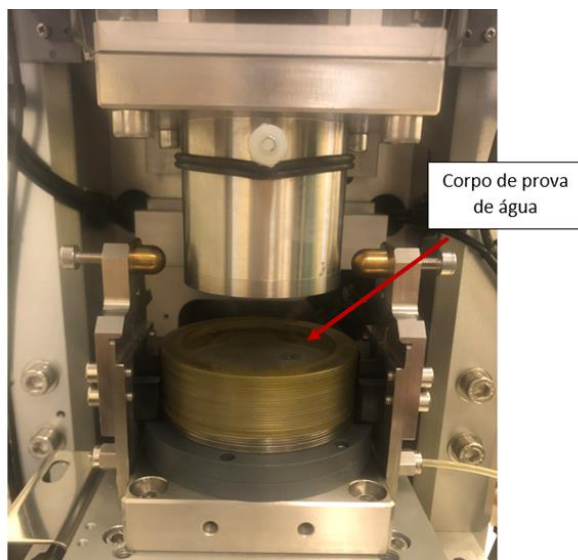


Figura 6. Pedestal montado com água para realizar teste de cisalhamento (COUTO, 2023).

O procedimento executado para correção da fase de cisalhamento consiste em realizar o alinhamento do conjunto e na sequência realizar o *docking* sem aquisição de dados. Após, configura-se 2 estágios: (i) *docking* com aquisição de dados e (ii) cisalhamento monótono. O gráfico de resistência cisalhante *versus* distorção angular pode ser visualizado no programa instantaneamente conforme ilustra a Figura 7.

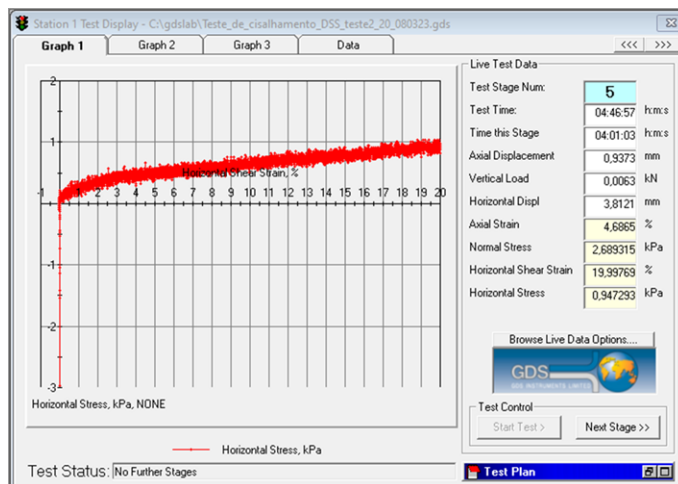


Figura 7. Gráfico resistência cisalhante *versus* distorção angular na correção do cisalhamento. (COUTO, 2023).

A configuração e os detalhes para a realização deste ensaio encontram-se em Couto (2023).

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o intuito de analisar a influência do contato do *top cap* com o corpo de prova, foram realizados dois ensaios preliminares na profundidade nominal de 3m. No primeiro foi definido um alvo de carga de 20 N e no outro um alvo de deslocamento de 3mm. Para o alvo inicial de 20 N, observou-se um deslocamento de aproximadamente a espessura de um anel, ou seja, 1mm. Para o alvo de deslocamento de 3mm, nenhuma deformação foi constatada.

Destaca-se que na etapa preliminar não é possível registrar os dados, logo o deslocamento gerado ao realizar o contato preliminar com o alvo de carga gera um erro que se propagará durante o ensaio. Assim, conclui-se que a melhor forma de se efetuar o *docking* na etapa preliminar, principalmente quando se trata de solos moles e muito moles é definindo um alvo de deslocamento de 3mm.

O resultado apresentado na Figura 8 foi obtido definindo na etapa preliminar, um alvo de 3 mm e no restabelecimento do contato um alvo de 20 N. É evidente que a soma dos dois alvos definidos gerou um deslocamento de 1mm. Assim, o valor desse deslocamento deve ser corrigido da altura do corpo de prova antes da etapa do cisalhamento. Ademais, verifica-se que se o alvo estabelecido na etapa preliminar fosse a carga de 20 N e o restabelecimento do contato também fosse definindo um alvo de 20 N, o erro na correção da altura do corpo de prova seria grande.

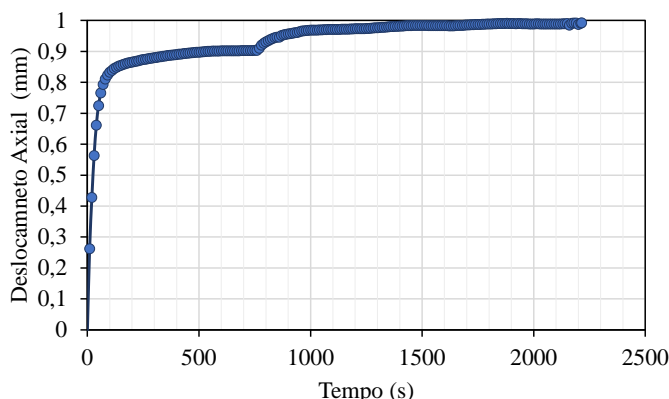


Figura 8. Restabelecimento do contato *top cap* corpo de prova (COUTO *et al.*, 2022).

Os resultados dos ensaios de correção na fase de adensamento, referente ao atrito vertical, Figura 9, indicam que é importante corrigir a carga adotando um incremento de carga para o cálculo da tensão vertical correspondente ao valor do atrito do sistema. Foram realizados 3 ensaios de atrito. Em todos os ensaios observou-se que o valor de 3,2 kPa representa o atrito vertical a ser vencido pelo sistema. Portanto, tal valor deve ser acrescido à tensão vertical na etapa de adensamento do corpo de prova.

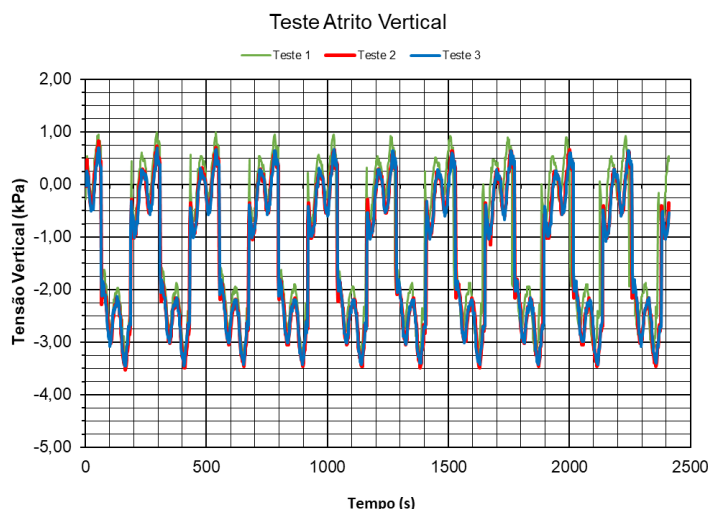


Figura 9. Testes da correção do atrito vertical *versus* tempo.

Ambas as normas ASTM D6528/17 e D8296/19 preconizam que estas correções são necessárias sempre que o atrito exceder 0,2% do valor máximo para um determinado ensaio.

A correção realizada na fase de cisalhamento é importante, principalmente quando a resistência do material é baixa, pois o valor a ser corrigido torna-se expressivo. Na figura 10 é possível observar os resultados encontrados para os ensaios realizados. Considerando uma altura do corpo de prova de 16 mm, velocidade de deformação de 5%/h e distorção angular máxima de 20%, observa-se uma correção máxima em torno de 1kPa.

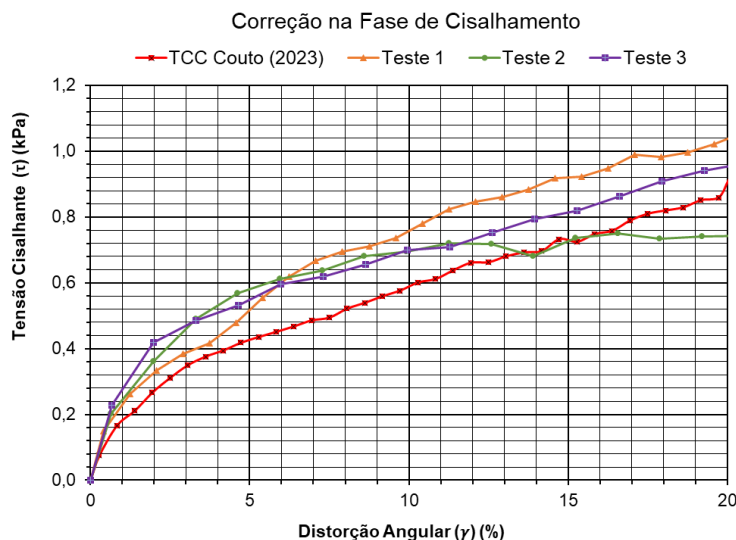


Figura 10. Curva tensão cisalhante da membrana *versus* distorção angular.

No caso dos ensaios monótonos, a norma ASTM D6528/17 recomenda que a força cisalhante medida no ensaios deve ser corrigida para a resistência do confinamento lateral sempre que este valor excede 1% do valor de ruptura medido. A Figura 11a apresenta uma curva típica de resistência ao cisalhamento *versus* distorção angular na profundidade nominal de 3m. Neste caso, a correção se faz necessária e a curva corrigida é apresentada na Figura 11b. A correção é da ordem de 10% para a resistência de pico que ocorre com distorção angular de 7%.

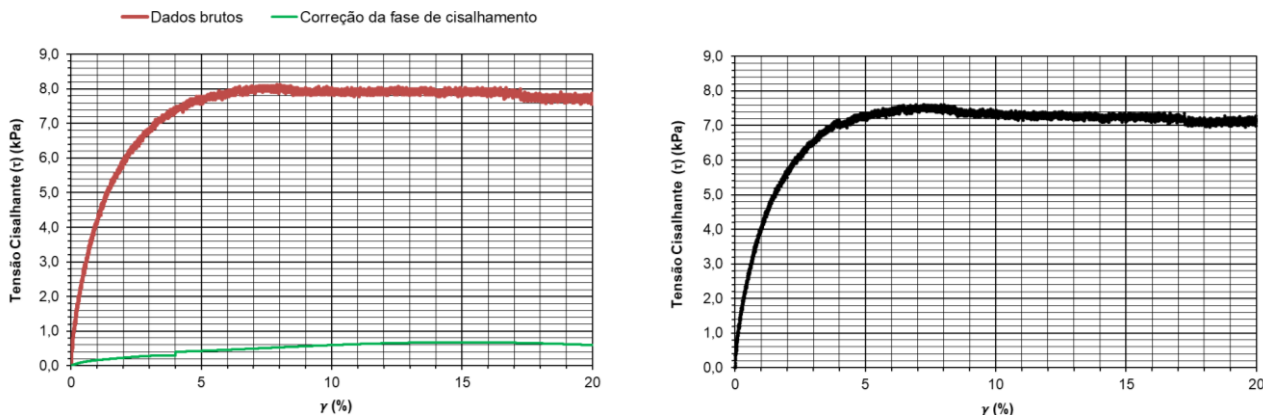


Figura 11. (a) Curva tensão cisalhante *versus* distorção angular;
 (b) Curva tensão cisalhante *versus* distorção angular corrigida.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou elucidar detalhes importantes que devem ser observados na execução de ensaios DSS monótono ou cíclico em solos moles e muito moles. Pode-se concluir para o caso analisado, argila mole de Sarapuí II, que as correções são importantes tanto na fase de adensamento quanto na de cisalhamento, conforme prescrito nas normas ASTM D6528/17 e D8296/19. Salienta-se que estabelecer o *docking* (contato entre equipamento e corpo de prova) por meio de um alvo de deslocamento resulta menor perturbação na amostra. Conclui-se que a tensão necessária para vencer o atrito vertical é de 3,2 kPa. Este valor deve ser acrescido na etapa de adensamento. No que diz respeito à fase de cisalhamento, a curva tensão cisalhante *versus* distorção angular dever ser corrigida. Esta correção é importante não somente para o cálculo da resistência não drenada, mas também para o módulo cisalhante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe técnica do Laboratório de Ensaio de Campo de Instrumentação Professor Márcio Miranda Soares, um dos laboratórios de Geotecnia Professor Jacques de Medina da COPPE/UFRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils*. ASTM Standard D6528, West Conshohocken, PA, EUA, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Consolidated Undrained Cyclic Direct Simple Shear Test under Constant Volume with Load Control or Displacement Control*. ASTM Standard D8296, West Conshohocken, PA, EUA, 2019.
- Andersen, K. H. (2015) *The Third ISSMGE McClelland Lecturer Frontiers in Offshore Geotechnics III* – Meyer (Ed.) Taylor & Francis Group, London.
- Couto, C.T. *et al.* (2022). *A importância do contato top cap - corpo de prova no ensaio de DSS – cíclico em solos moles*. In: Anais do XI Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, 2022, Santa Maria. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/geors-2022/trabalhos/a-importancia-do-contato-top-cap-corpo-de-prova-no-ensaio-de-dss-ciclico-em-solo?lang=pt-br>> Acesso em: 22 fev. 2024.
- Couto, C.T. (2023). *Direct simple shear (DSS) e cycle direct simple shear em solos moles adensados para baixas tensões*. Trabalho de conclusão de curso, UFRJ Macaé, Macaé, RJ, Brasil.
- Jannuzzi, G. M. F.; Danziger, F. A. B.; Martins, I. S. M. *Geological-geotechnical characterisation of Sarapuí II clay*. Engineering Geology, v. 190, pp. 77 - 86, 2015.