



Resistência ao Cisalhamento do Solo pelos Ensaios de Cisalhamento Direto e DSS: Análise Experimental e Aplicação na Estabilidade de Taludes

Lucas Ghion Zorzan

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, lucasghionzorzan@gmail.com

Roberta Bomfim Boszczowski

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, roberta.bomfim@ufpr.br

RESUMO: A resistência ao cisalhamento do solo é uma das propriedades geotécnicas de maior importância no contexto da Engenharia. Para tanto, diversos ensaios laboratoriais foram desenvolvidos para englobar diferentes condições que podem influenciar na resistência do solo. Com o objetivo de fornecer contribuições ao processo de especificação de ensaios de resistência, o presente trabalho visa explorar o comportamento mecânico do solo em dois ensaios: Cisalhamento Direto e *Direct Simple Shear*. Foram ensaiados dois solos distintos: o Solo A, de granulometria arenosa, e o Solo B, com características silto-arenosas. A análise dos resultados experimentais possibilitou apontar grandes diferenças entre os parâmetros de resistência obtidos por cada ensaio. A fim de apresentar o efeito destas diferenças com finalidade prática, foram realizadas análises paramétricas de estabilidade de taludes variando-se o ensaio de resistência, o critério de ruptura e a inclinação do talude. Essas análises ratificaram as diferenças nos modos de ruptura observados.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnia Experimental, *Direct Simple Shear*, Resistência ao Cisalhamento, Estabilidade de Taludes.

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes é um dos temas mais recorrentes da Engenharia Civil. Embora sua aplicação se estenda desde obras de infraestrutura até a estabilização de encostas naturais, seu impacto é notavelmente identificado em inúmeros movimentos de solo cujos impactos provocam incontáveis perdas de vidas humanas e recursos econômicos no Brasil. Fatores como pluviometria, condições geológicas e geotécnicas influenciam diretamente os problemas relacionados a taludes.

Dentre as propriedades geotécnicas do solo, a resistência é talvez a mais importante na problemática da estabilidade de taludes. O entendimento da resistência do solo é consideravelmente recente, sendo os principais

fundamentos da Mecânica dos Solos referentes ao primeiro quarto do século XX. Esses princípios estão quase que completamente embasados na prática laboratorial, a partir da qual são obtidos parâmetros de projeto para qualquer atividade dentro da Engenharia Geotécnica. Na atualidade, um considerável número de ensaios se propõe a fornecer valores de resistência do solo utilizando métodos e equipamentos diversos. A compreensão dos mecanismos de deformação e mobilização da resistência mostra-se, portanto, essencial no processo decisório a fim de garantir análises seguras, econômicas e precisas.

Pouco difundido no Brasil, o *Direct Simple Shear* (DSS) é um ensaio de resistência que submete o solo a condições muito semelhantes às por ele experimentadas em uma potencial superfície de ruptura. Sua aplicabilidade em



projetos de fundação, estabilidade de taludes, contenções e obras offshore, especialmente em solos moles, reforça a importância da melhor compreensão dos mecanismos e procedimentos envolvidos neste ensaio. A proposta deste estudo é estabelecer uma análise crítico-comparativa acerca dos resultados obtidos para a resistência ao cisalhamento de solos submetidos ao Cisalhamento Direto e ao *Direct Simple Shear*, fornecendo contribuições para a difusão deste último como alternativa para a avaliação da estabilidade de taludes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resistência ao Cisalhamento dos Solos

A deformação de uma massa de solo é controlada pela interação entre seus elementos constituintes, especialmente pelo deslocamento relativo entre as partículas de solo (LAMBE; WHITMAN, 1969). Dessa forma, a resistência dos solos está diretamente relacionada com a resistência ao cisalhamento existente no contato entre suas partículas.

A resistência ao movimento relativo entre partículas de solos é composta, basicamente, por duas parcelas: a friccional e a coesiva. Terzaghi (1925) apresentou as bases para a compreensão de como é mobilizada a parcela friccional a partir do contato e relacionou a força normal no contato entre os grãos e a resistência ao cisalhamento.

O solo é constituído por duas fases distintas: a fase sólida, representada pelo esqueleto mineralógico, e a fase fluida, constituída de ar e água (DAS, 2013). Quando uma massa de solo encontra-se saturada, a água ocupa todo o volume de vazios e qualquer tensão aplicada sobre ela será suportada tanto pela porção sólida quanto pela pressão desenvolvida na água (ABRAMSON et al., 2002). Esse conceito, denominado compartilhamento de cargas por Lambe e Whitman (1969), foi introduzido por

Terzaghi (1925) e mais tarde formalizado como Princípio das Tensões Efetivas. Basicamente, este Princípio refere-se ao fato de que a resistência ao cisalhamento dos solos é diretamente controlada pelo contato efetivo entre os grãos.

2.1.1 Comportamento Tensão-Deformação

O comportamento tensão-deformação dos solos é dependente de inúmeras variáveis, tais como granulometria, histórico de tensões, mineralogia, cimentação e presença de água no solo. A fim de prever o comportamento tensão-deformação do solo, diversos modelos constitutivos foram desenvolvidos, embasados em conceitos físicos e matemáticos. Considerando as inúmeras variáveis que influem sobre a curva tensão-deformação, a calibração dos modelos com resultados experimentais é a maneira mais adequada para obtenção de resultados confiáveis no dimensionamento de qualquer obra geotécnica (DELL'AVANZI, 2014).

2.1.2 Condições de Carregamento e Drenagem

A resistência do solo é dependente, dentre outros fatores, das condições de drenagem e da trajetória de carregamento (DELL'AVANZI, 2014).

Devido à elevada permeabilidade das areias e solos granulares, o volume do solo pode variar livremente durante o processo de ruptura (LAMBE; WHITMAN, 1969). Esse fenômeno caracteriza uma resposta drenada, na qual é permitida a saída da água presente nos vazios do solo e a parcela friccional de resistência é imediatamente mobilizada.

Em solos argilosos ou cuja parcela de finos é significativa, a resposta do solo é denominada não drenada (LAMBE; WHITMAN, 1969). Nessa situação, ocorre um compartilhamento do carregamento: parte da tensão é suportada pelo esqueleto mineralógico e parte pela água



existente nos vazios do solo. Com o passar do tempo, a tendência de a água sair da massa de solo solicitada faz com que o carregamento seja transferido ao esqueleto pelo fenômeno de adensamento.

Um paralelo direto entre o tipo de resposta mecânica do solo – drenada ou não drenada – e a velocidade de carregamento pode ser facilmente traçado. Uma resposta drenada é desenvolvida pelo solo durante a mobilização da resistência no caso de carregamento lento. O contrário é observado para carregamentos aplicados sob altas taxas.

2.1.3 Critério de Mohr-Coulomb

Basicamente, a ideia do critério de Mohr-Coulomb é que uma combinação de tensões normais e de tensões de cisalhamento criam uma situação mais crítica do que a consideração das máximas tensões individualmente. As propriedades que parametrizam a combinação crítica são o intercepto coesivo (c') e o ângulo de atrito interno efetivo (ϕ').

Um estado plano de tensões pode ser representado por um conjunto de pontos que mostrem a relação entre a tensão de cisalhamento (τ) e a tensão normal efetiva (σ'). A reta que ajusta o comportamento desses pontos define a Envoltória de Resistência de Mohr-Coulomb. Na Figura 1 são ilustradas a envoltória real não linear, pouco aplicável, e o ajuste proporcionado por Mohr-Coulomb.

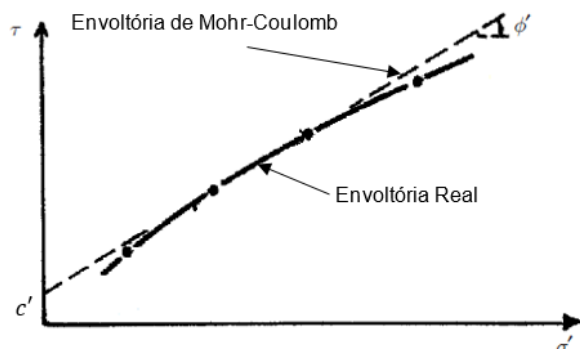


Figura 1. Envoltória teórica e ajuste de Mohr-Coulomb (Adaptado de Craig, 2013).

2.1.4 Respostas do Solo ao Cisalhamento

Conforme exposto anteriormente, a resistência do solo está essencialmente ligada com seu comportamento ao cisalhamento. Nesse processo são desenvolvidas distorções angulares e mobilizadas tensões cisalhantes (Figura 2). Este estado de tensão e deformação é conhecido como cisalhamento simples.

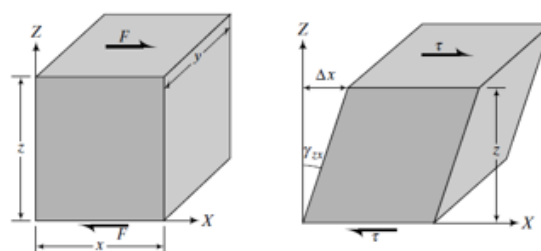
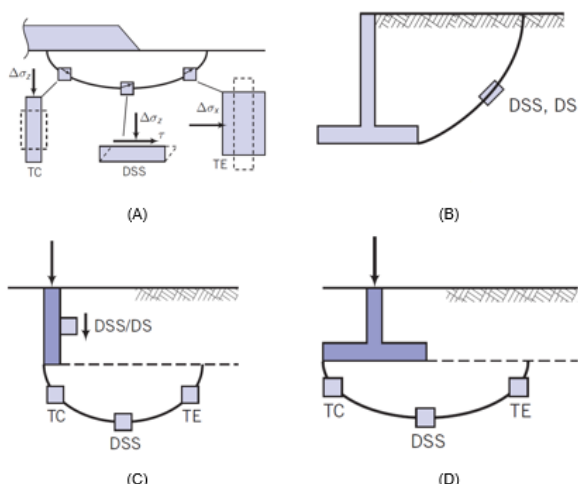


Figura 2. Comportamento do Solo ao Cisalhamento Simples (Budhu, 2008).

Budhu (1984) afirma que o estado de cisalhamento simples pode representar diversas situações usuais da Geotecnia, como no caso de carregamento dinâmicos provocados por terremotos e no cisalhamento do solo em fustes de estacas (RANDOLPH; WROTH, 1981). Para aplicações usuais, o cisalhamento simples pode ser observado nas superfícies de ruptura de taludes e muros de contenção e nos bulbos de tensão gerados tanto em fundações rasas quanto profundas (Figura 3).



DSS: *Direct Simple Shear*; TC: Compressão Triaxial; TE: Extensão Triaxial; DS: Cisalhamento Direto.

Figura 3. Possíveis Manifestações do Estado de Cisalhamento Simples: Ruptura de Taludes (A), Estruturas de Contenção (B), Carregamento de Estacas (C) e Ruptura de Sapatas (D) (Budhu, 2008).

Nos ensaios laboratoriais mais utilizados na Geotecnia, os mecanismos de ruptura para avaliação da resistência ao cisalhamento não estão necessariamente associados a uma deformação cisalhante. Em geral, são impostas condições que simulam a condição de cisalhamento, como a diferença de tensões principais nos ensaios triaxiais.

No caso dos ensaios de Cisalhamento Direto, as deformações medidas não são cisalhantes e a superfície de ruptura é imposta pelo movimento horizontal. O DSS, por outro lado, é o único ensaio laboratorial atualmente existente capaz de promover o desenvolvimento de deformações cisalhantes e simular com mais fidelidade o cisalhamento simples.

A diferença entre os mecanismos de mobilização em cada teste vem sendo estudada há décadas. Muitos autores afirmam que o DSS fornece informações mais realistas sobre o comportamento tensão-deformação do solo em eventuais superfícies de ruptura de taludes (FAKHARIAN; EVGIN, 1995).

2.2 Ensaios para Determinação da Resistência

O presente estudo tem por objetivo avaliar dois dos ensaios de resistência: o ensaio de Cisalhamento Direto e o ensaio *Direct Simple Shear*. As duas metodologias buscam representar o mesmo mecanismo de ruptura do solo, conhecida como cisalhamento simples.

2.2.1 Ensaio de Cisalhamento Direto

Em um ensaio de Cisalhamento Direto, uma tensão vertical (σ_v) é aplicada ao corpo de prova, provocando confinamento e consolidação do solo, para que em seguida o cisalhamento ocorra ao longo de uma superfície de deslizamento horizontal por meio da aplicação de uma força nesta direção. Devido à parede rígida da caixa de cisalhamento, não é permitida a ocorrência de distorções angulares no solo e o cisalhamento ocorre apenas pelo deslizamento entre dois planos.

Embora seja um ensaio com grande versatilidade e relativa facilidade de execução, o Cisalhamento Direto apresenta diversas limitações, dentre elas a mudança na área da seção transversal durante o ensaio, a não uniformidade das tensões cisalhantes, a ocorrência da ruptura progressiva e a pré-determinação de um plano de ruptura.

2.2.2 Ensaio *Direct Simple Shear*

O *Direct Simple Shear* (DSS) é um ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento dos solos. Em ensaios DSS, o solo é consolidado no estado geostático de tensões (ou seja, em K_0) devido ao confinamento provocado por anéis metálicos e em seguida cisalhado pela aplicação de uma força horizontal (Figura 4). O DSS tornou-se conhecido mundialmente para avaliação da resistência de solos em situações específicas de carregamento, como argilas moles (MEIL et al.,



2016), solos marinhos (NOWACKI et al., 2003; SCHROEDER et al., 2006) entre outros.

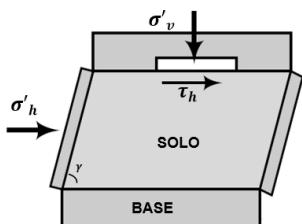


Figura 4. Mecanismo de Ruptura em ensaios DSS (Budhu, 2008).

Mayne (1985) afirma que os parâmetros de resistência obtidos com o DSS possuem significativa importância porque representam a média das resistências mobilizadas na ruptura de taludes, fundações superficiais, rupturas em solos moles e ao longo do fuste de fundações profundas. Especificamente para a problemática da estabilidade de taludes, Abramson et al. (2002) também afirmam que a resistência mobilizada no estado de cisalhamento simples representa a média entre a compressão triaxial e a extensão triaxial desenvolvidas em uma potencial superfície de ruptura (FIGURA 10). Nessa perspectiva, a avaliação da segurança de taludes utilizando parâmetros do DSS pode fornecer uma análise mais refinada e realística das condições de campo (ABRAMSON et al., 2002).

Considerado uma evolução do ensaio de Cisalhamento Direto, o ensaio DSS permite o desenvolvimento de um cisalhamento uniforme no solo, com manutenção da área constante, e pode fornecer resultados de resistência mais próximos aos observados em campo. Além disso, é permitida a rotação dos planos principais durante o cisalhamento, o que permite que a ruptura ocorra no plano de maior fraqueza.

3 INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL: METODOLOGIA

Para o cumprimento dos objetivos propostos,

realizou-se uma série de ensaios geotécnicos em solos com a finalidade de obter suas características físicas e mecânicas, possibilitando a análise dos mecanismos de solicitação e ruptura intrínsecos a cada ensaio de resistência.

Para realização da campanha de ensaios, foram utilizados dois solos distintos em sua constituição e estado natural (Solo A e Solo B). De maneira geral, sobre o Solo A possui-se maior controle das propriedades físicas enquanto que o Solo B apresenta características usualmente encontradas na ampla maioria dos solos naturais (heterogeneidade e anisotropia). O Solo A consiste em uma areia uniforme de grãos angulare. Na Figura 5 é apresentada a curva granulométrica para o Solo B, o qual classificou-se como uma areia siltosa.

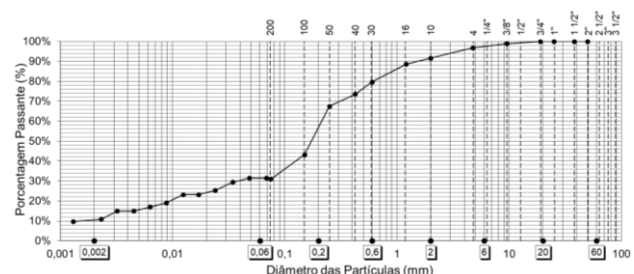


Figura 5. Curva granulométrica para o Solo B.

Para o Solo A, foram ensaiados 3 corpos de prova nas tensões de 100, 200 e 400 kPa para cada ensaio. Para o Solo B foram construídas duas envoltórias para cada ensaio com CPs ensaiados nas tensões de 100, 200, 400 e 800 kPa.

Todos os ensaios foram efetuados em duas fases: adensamento e cisalhamento. Durante a primeira fase, aplicou-se a tensão vertical de ensaio na amostra. Na segunda fase, foi imposta uma taxa de deslocamento horizontal que provocou o cisalhamento do corpo de prova.

No presente trabalho, todos os ensaios DSS foram realizados mantendo-se o volume do corpo de prova constante durante o cisalhamento. Isso torna-se possível por meio de um controlador que alivia a tensão vertical



de modo a não se verificarem mudanças na altura do corpo de prova nem excessos de poropressão.

4 INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL: RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Solo A

4.1.1 Ensaios de Cisalhamento Direto

A fase de cisalhamento foi conduzida até deformação horizontal de 20%, equivalente ao deslocamento de 12 mm. As curvas tensão-deformação obtidas neste processo (Figura 6) não apresentaram pico para nenhum nível de tensões. Este comportamento era esperado considerando-se o nível de compactidade no qual os corpos de prova foram moldados. Para todas as tensões normais pode-se identificar um patamar dúctil bem definido.

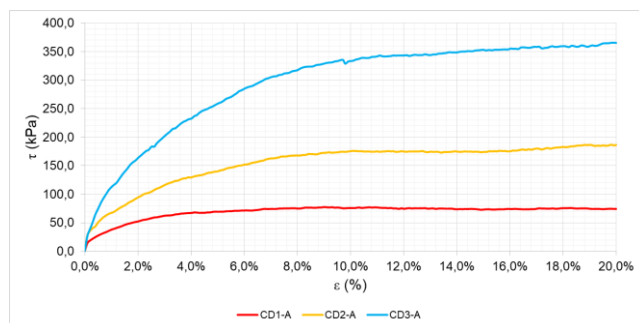


Figura 6. Curvas tensão-deformação para o Solo A – Ensaio de Cisalhamento Direto.

As envoltórias de Mohr-Coulomb para as deformações de 6% e 12% são apresentadas na Figura 7. Como esperado, percebe-se uma redução no intercepto coesivo com o aumento da deformação. Isso se deve ao fato de que para maiores níveis de deformação, a resistência por atrito corresponde à maior parcela da resistência do solo ao cisalhamento.

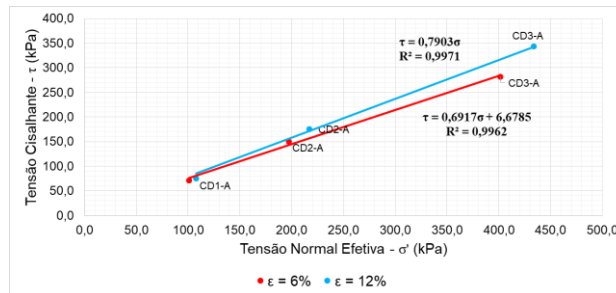


Figura 7. Envoltórias de Mohr-Coulomb para o Solo A – Ensaio de Cisalhamento Direto.

4.1.2 Ensaios DSS

Os ensaios DSS foram realizados na condição inundada (por percolação de água) a fim de permitir a análise comparativa de seus resultados com os obtidos pelo ensaio de Cisalhamento Direto. As curvas tensão cisalhante versus distorção angular são mostradas na Figura 8.

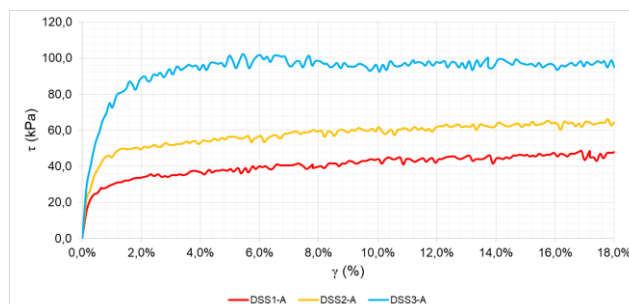


Figura 8. Curvas tensão-deformação para o Solo A – Ensaio DSS.

Percebe-se que o comportamento dúctil do solo é também verificado nas curvas obtidas pelo ensaio DSS, embora a tensão cisalhante seja significativamente menor para os valores de tensão normal equivalentes. Essa característica pode ser bem observada por meio da trajetória de tensões (Figura 9) traçada para o conjunto dos corpos de prova. Percebe-se que, de modo geral, a tensão normal reduz-se até valores inferiores à metade da tensão de ensaio.

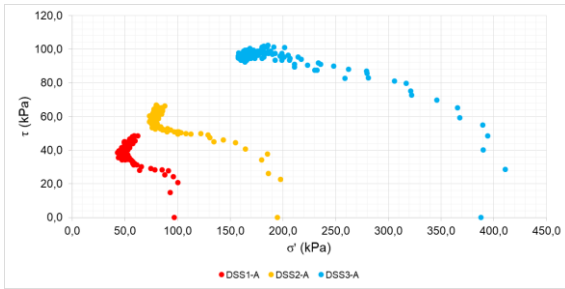


Figura 9. Trajetória de tensões para o Solo A – DSS.

A utilização da envoltória de Mohr-Coulomb não mostrou-se adequada para obtenção dos parâmetros de resistência utilizando o ensaio DSS, como será discutido posteriormente. Optou-se, portanto, pela construção da curva de variação da tensão de cisalhamento máxima obtida no ensaio DSS (τ_{DSS}) com a profundidade (Figura 10).

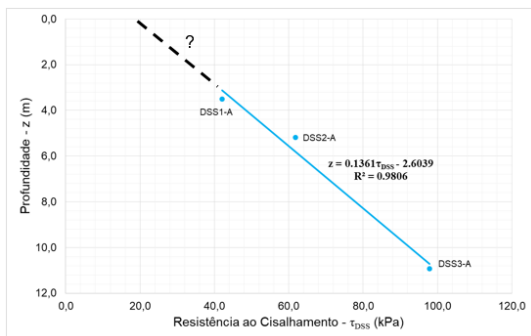


Figura 10. Variação da resistência ao cisalhamento obtida pelo DSS com a profundidade para o Solo A.

Uma vantagem exclusiva do ensaio de cisalhamento simples é a possibilidade de obtenção do módulo de elasticidade transversal (G) por meio da realização do ensaio (Figura 11). Pode-se perceber a perda de rigidez do material com o aumento do nível de deformação.

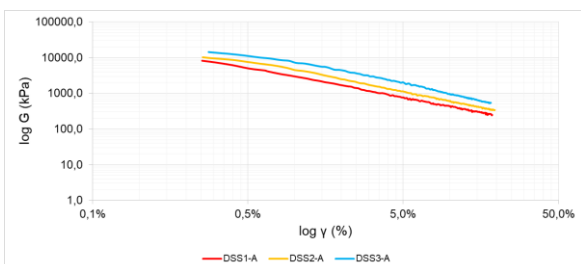


Figura 11. Curvas de Rigidez para o Solo A.

4.2 Solo B

4.2.1 Ensaios de Cisalhamento Direto

O Solo B também exibiu comportamento dúctil (característico de argilas normalmente adensadas e areias fofas) como pode ser melhor observado nas curvas da Figura 12. Alguns ensaios foram desconsiderados na construção da envoltória de resistência por apresentarem comportamento mecânico muito diferenciado na análise das curvas normalizadas pela tensão vertical. As duas envoltórias de resistência são apresentadas na Figura 13. Os coeficientes de correlação obtidos mostraram-se adequados e próximos à unidade. Percebe-se que o aumento da deformação representa um ganho em termos de ângulo de atrito efetivo e, em contrapartida, uma redução no valor do intercepto coesivo. Esse comportamento é esperado visto que uma vez vencidas as forças devidas à coesão, a resistência do solo é dada principalmente pela parcela friccional em deformações acima de 10%.

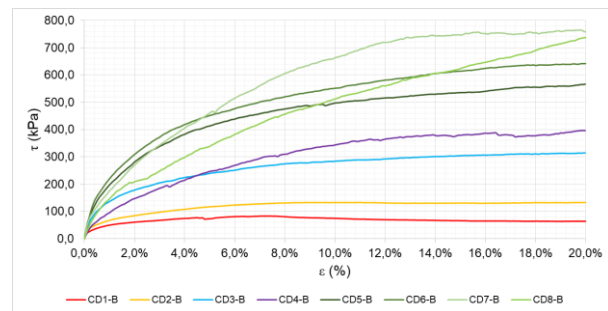


Figura 12. Curvas tensão-deformação para o Solo B – Ensaio de Cisalhamento Direto.

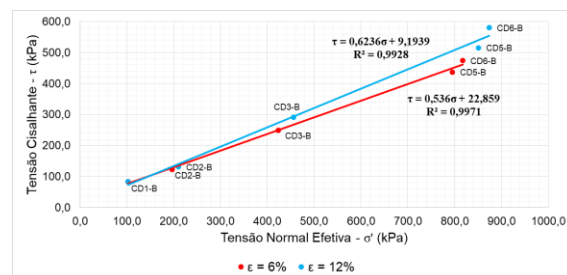


Figura 13. Envoltórias de Mohr-Coulomb para o Solo B – Ensaio de Cisalhamento Direto.



4.2.2 Ensaio DSS

De modo similar aos ensaios do Solo A, os corpos de prova DSS1-B a DSS8-B foram cisalhados mantendo-se a altura constante. As curvas tensão cisalhante *versus* distorção angular são mostradas na Figura 14.

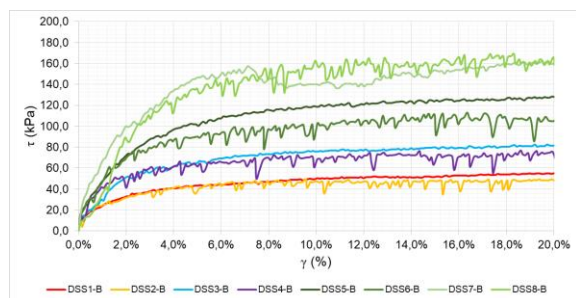


Figura 14. Curvas tensão-deformação para o Solo B – Ensaio DSS.

As curvas obtidas para um mesmo nível de tensão normal apresentaram boa correspondência. O comportamento do material pode ser melhor observado pelas trajetórias de tensões na Figura 15. Nota-se, novamente, uma expressiva redução nas tensões verticais durante o ensaio, embora em menor magnitude que para as curvas do Solo A (Figura 9).

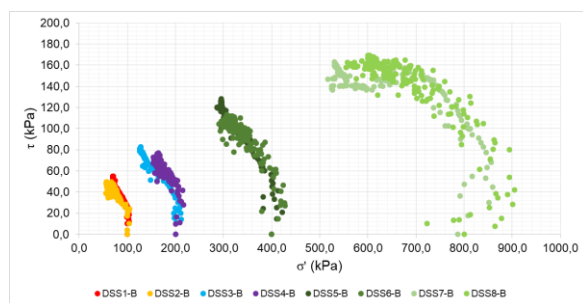


Figura 15. Trajetória de tensões para o Solo B – DSS.

As curvas que relacionam a resistência ao cisalhamento obtida pelo ensaio DSS (τ_{DSS}) com a profundidade são apresentadas na Figura 16. A diferença na inclinação das duas retas é provavelmente devida aos diferentes índices de vazios iniciais e finais dos corpos de prova do Solo B. Para a reta azul, os índices de vazios

inicial e final médios resultaram 0,856 e 0,707, respectivamente. Para a reta vermelha, esses valores foram 0,831 e 0,569. Ressalta-se, desse modo, a alta influência da heterogeneidade espacial do estado do solo nas suas propriedades mecânicas. Ainda assim, percebe-se que ambas as curvas possuem fator de ajuste apropriado. As curvas de rigidez para este solo são apresentadas na Figura 17.

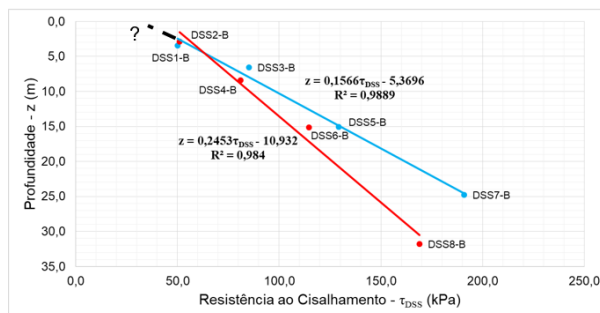


Figura 16. Variação da resistência ao cisalhamento obtida pelo DSS com a profundidade para o Solo B.

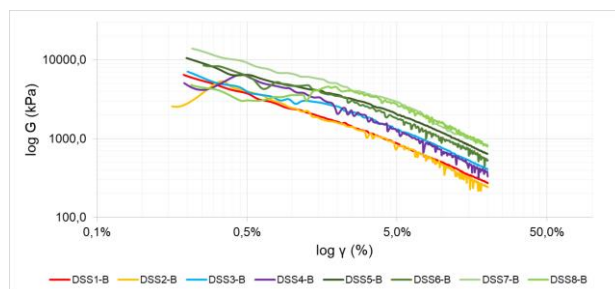


Figura 17. Curvas de Rigidez para o Solo B.

4.2 Comentários sobre os Ensaio Realizados

Verificou-se, em termos de parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, uma grande diferença entre os ensaios de Cisalhamento Direto e DSS. De modo geral, os ensaios DSS forneceram valores de ângulo de atrito baixos e interceptos coesivos pouco condizentes com as características dos solos em estudo. A Figura 18 ilustra a envoltória de Mohr-Coulomb para ensaios DSS e CD para o Solo B. Mesmo o fator de ajuste sendo adequado em ambos ensaios, os parâmetros obtidos são consideravelmente diferentes.

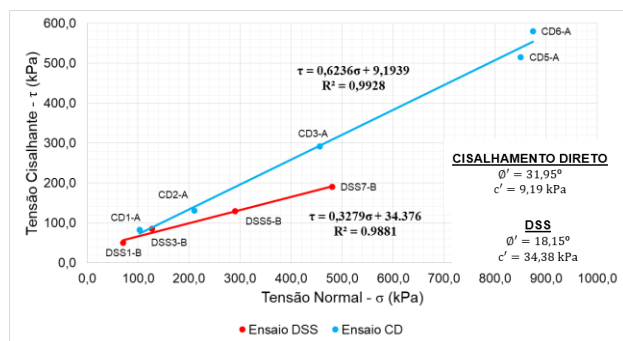


Figura 18. Envolvórias de Mohr-Coulomb obtidas para o Solo B usando ensaios de Cisalhamento Direto (em azul) e DSS (em vermelho).

Para a correta compreensão das diferenças observadas, diversos fatores devem ser levados em consideração, especialmente o modo de ruptura durante o cisalhamento nos diferentes ensaios realizados. Como o modo de deformação e o desenvolvimento das tensões cisalhantes ainda é objeto de discussão no que tange ao ensaio DSS, o maior entendimento destes mecanismos se faz necessário para aumentar a confiabilidade dos resultados. Em complemento, como explorado por Airey e Wood (1987), o efeito cumulativo da rotação dos planos em que atuam as tensões principais pode levar a uma redução da resistência do solo que ainda não é inteiramente compreendida. Este fenômeno foi observado nos ensaios aqui conduzidos.

5 APLICAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDES

Foi realizado um estudo de estabilidade de taludes em uma superfície genérica com o objetivo de avaliar parametricamente a variação dos fatores de segurança a depender dos ensaios de resistência adotados e da inclinação do talude. Para este estudo, foram considerados os resultados experimentais obtidos para o Solo B. Utilizando o método de Morgenstern & Price, foram rodadas 15 análises de estabilidade em um talude com altura de 15 m com inclinação

variando de 30° a 50°. Variou-se, nas análises, parâmetros de resistência vindos de ensaios de CD e DSS.

De modo geral, observou-se que as análises de estabilidade realizadas utilizando-se dados provenientes dos ensaios *Direct Simple Shear* considerando a variação da resistência do solo (τ_{DSS}) com a profundidade (ET-06 a ET-10) forneceu fatores de segurança mais elevados (Figura 19). No caso da utilização do critério de Mohr-Coulomb para obtenção dos parâmetros de resistência (ET-11 a ET-15), observa-se maior proximidade entre os F.S. obtidos com os resultados provenientes dos ensaios CD (ET-01 a ET-05) e DSS, especialmente para inclinações inferiores a 40°.

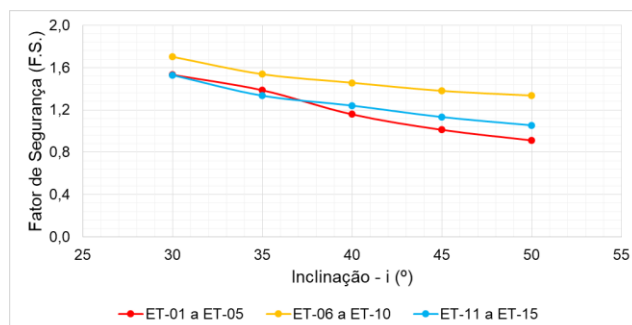


Figura 19. Variação do Fator de Segurança com a inclinação do talude para diferentes critérios de resistência.

Embora a resistência do solo seja proveniente do mesmo ensaio para as análises ET-06 a ET-15, são observadas variações significativas nos fatores de segurança ligadas à utilização de diferentes critérios de ruptura. De modo geral, o uso da variação da tensão cisalhante (τ_{DSS}) com a profundidade fornece fatores de segurança maiores do que utilizando-se parâmetros de resistência pelo ajuste de Mohr-Coulomb.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi contribuir para o entendimento da influência do mecanismo de ruptura para a escolha de ensaios



de avaliação da resistência do solo para fins de Engenharia. Especificamente, foram abordados os ensaios de Cisalhamento Direto – consagrado no meio profissional – e o *Direct Simple Shear* (DSS).

Na investigação experimental conduzida, foram analisados dois solos com características distintas. Para ambos observaram-se diferenças significativas entre a resistência do solo proveniente de cada ensaio. Como essa diferença foi observada tanto em um solo coesivo-friccional (Solo B) quanto em um solo puramente arenoso – o Solo A, no qual as diferenças entre ensaios drenados e não drenados não são significativas –, a principal hipótese levantada é a de que a variação da tensão normal e a rotação dos planos principais nos ensaios a volume constante possui grande influência na mobilização da resistência do solo ao cisalhamento.

Na opinião do autor e com base na bibliografia referenciada, os ensaios DSS podem resultar em parâmetros de resistência do solo mais próximos da realidade devido ao seu comportamento mecânico mais próximo do desenvolvido pelo solo quando solicitado. Isso se deve ao fato de que o mecanismo de ruptura por indução de distorções angulares aproxima-se mais à teoria do cisalhamento e supera diversas limitações inerentes ao Cisalhamento Direto, podendo fornecer soluções de Engenharia mais racionais. Para os estudos aqui realizados, esta hipótese necessita de confirmação experimental.

Por fim, ressalta-se a importante necessidade de compreensão dos modos de ruptura e carregamento do solo no processo decisório de especificação de ensaios de laboratório no contexto da Engenharia Civil. A grande variedade de ensaios possibilita uma gama de escolhas para diversos casos práticos. Ainda assim, a escolha da metodologia de ensaio correta está diretamente ligada a projetos e obras mais viáveis, seguras e tecnicamente corretas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMSON, L.W. et al. *Slope Stability and Stabilization Methods*. 2. ed. United States Of America: Wiley, 2001. 736 p.
- AIREY, D. W.; WOOD, D. M.. An evaluation of direct simple shear tests on clay. *Géotechnique*, [s.l.], v. 37, n. 1, p.25-35, mar. 1987. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1987.37.1.25>.
- BUDHU, M. Nonuniformities imposed by simple shear apparatus. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 21, n. 1, p. 125–137, 1984.
- BUDHU, Muni. *Soil Mechanics and Foundations*. 3. ed. United States Of America: Wiley, 2010. 780 p.
- CRAIG, R. F. *Soil Mechanics*. 8. ed. United States Of America: Crc Press, 2012. 584 p.
- DAS, Braja. *Advanced Soil Mechanics* (English Edition). 4. ed. United States Of America: Crc Press, 2013. 634 p.
- DELL'AVANZI, E. *Introdução à Previsão em Engenharia Geotécnica*. Curitiba - PR, 2014.
- FAKHARIAN, K.; EVGIN, E. Simple Shear Versus Direct Shear Tests on Interfaces during Cyclic Loading. In: *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. 1995.
- LAMBE, T. William; WHITMAN, Robert V. *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, 1969. 553 p.
- MAYNE, Paul W. A review of undrained strength in direct simple shear. *Soils And Foundations*, [s.l.], v. 25, n. 3, p.64-72, 1985. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.3208/sandf1972.25.3_64.
- MEIL, G. LE; HENDRY, M.; MARTIN, D. Direct simple shear (DSS) testing of a very stiff glaciolacustrine clay. In: *GeoVancouver*, n. December, 2016.
- NOWACKI, F.; SOLHJELL, E.; FARROKH NADIM, F.; et al. Deterministic slope stability analyses of the Sigsbee Escarpment. In: *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference, 2003.
- RANDOLPH, M. F.; WROTH, C. P.. Application of the failure state in undrained simple shear to the shaft capacity of driven piles. *Géotechnique*, [s.l.], v. 31, n. 1, p.143-157, mar. 1981. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1981.31.1.143>.
- SCHROEDER, K.; ANDERSEN, K. H.; TJOK, K.-M. Laboratory Testing and Detailed Geotechnical Design of the Mad Dog Anchors. In: *Offshore Technology Conference*, 2006. Offshore Technology Conference, 2006.
- TERZAGHI, K. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*. Leipzig und Wien: Verlag Franz Deuticke, 1925. 399 p.