

## REVISÃO SOBRE O ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO DE UM SOLO<sup>1</sup>

Ygor Duarte Pereira <sup>2</sup>, Ana Júlia Martins Gramville <sup>3</sup>, Bárbara Rabelo <sup>4</sup>, Paula Bellé Blume <sup>5</sup>, Pedro Henrique Rabelo <sup>6</sup>, Diorges Carlos Lopes <sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Pesquisa no curso de Engenharia Civil pertencente ao Programa de Educação Tutorial- PET Engenharia Civil.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil, UNIJUI. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial; ygor.pereira@sou.unijui.edu.br

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUI. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial; ana.gramville@sou.unijui.edu.br

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUI. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial; barbara.rabelo@sou.unijui.edu.br

<sup>5</sup> Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUI. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial; paula.blume@sou.unijui.edu.br

<sup>6</sup> Graduando em Engenharia Civil, UNIJUI. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial; pedro.rabelo@sou.unijui.edu.br

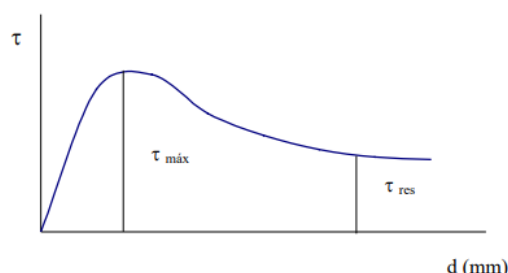
<sup>7</sup> Docente do curso de graduação em Engenharia Civil da UNIJUI. Tutor CNPq - Programa de Educação Tutorial; diorges.lopes@unijui.edu.br

### INTRODUÇÃO

De acordo com Hachich et al. (1998) e Pinto (2000), o ensaio de cisalhamento direto é o método mais antigo para determinar a resistência ao cisalhamento de um solo e é baseado no critério de Coulomb. Nesse ensaio, é aplicada uma tensão normal em um plano e a tensão cisalhante que causa a ruptura é verificada. Além disso, o ensaio de cisalhamento direto é amplamente utilizado em estudos geotécnicos para avaliar a capacidade de suporte do solo em projetos de engenharia civil. Durante o ensaio, uma amostra cilíndrica de solo é submetida à aplicação de uma força tangencial que provoca o cisalhamento da amostra. A partir dos resultados obtidos no ensaio, é possível determinar a resistência ao cisalhamento do solo e sua coesão não drenada.

A tensão cisalhante pode ser representada em função do deslocamento no sentido do cisalhamento, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Ensaio de cisalhamento direto: representação de resultado típico do ensaio.



Fonte: PINTO (2000).

Através da figura é possível identificar as tensões de ruptura ( $\tau_{\text{máx}}$ ) e a tensão residual ( $\tau_{\text{res}}$ ) que o solo ainda resiste após a ruptura. Em outras palavras, a figura representa a relação entre a tensão cisalhante e o deslocamento, permitindo visualização do comportamento do solo durante o ensaio de cisalhamento direto.

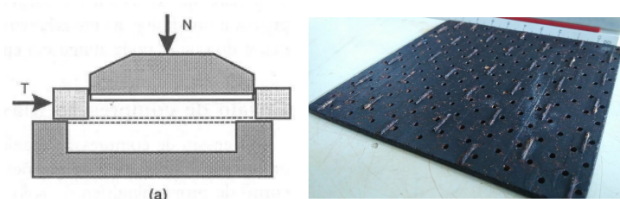
Compreende-se, portanto, a importância de se buscar o conhecimento sobre o ensaio de cisalhamento direto de um solo. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo apresentar, de forma concisa, por meio de revisão bibliográfica e estudos realizados por outros autores, como esse ensaio pode ser realizado e suas variações de acordo com as características do material estudado.

## METODOLOGIA

Este trabalho é uma investigação exploratória e elementar com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com a questão em análise, permitindo a compreensão e análise de seus aspectos. A revisão bibliográfica é o meio utilizado para obter maior conhecimento acerca do tema.

O ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo e simples ensaio para descrever os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo em termos de tensões totais (HEAD e EPPS, 2011). Apesar de ser de fácil interpretação e rápida execução, o ensaio não é apropriado para obter as características de tensão e deformação do solo (OLSON e LAI, 2004). Esse ensaio, tradicionalmente não apresenta controle da drenagem do corpo de prova, e apesar da falta de certeza sobre a drenagem, segundo Head e Eppe (2011) é comum interpretar que as tensões obtidas por esse ensaio sejam tensões drenadas, ou seja, as tensões totais são iguais às tensões efetivas (ensaio drenado). Outra limitação do ensaio, apontada por Silva (2001), é que o plano de ruptura pode não se formar na horizontal caso as pressões axiais sejam baixas ou a placa dentada (Figura 2 e 3) não crave corretamente.

Figura 2 e 3 – Esquema da caixa de cisalhamento direto e placa dentada.

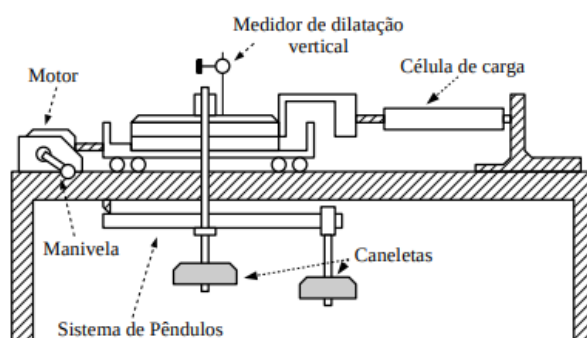


Fonte: PINTO (2000).

O equipamento necessário para realizar o ensaio de cisalhamento direto é composto por vários componentes essenciais, como a caixa de cisalhamento, as placas dentadas perfuradas, as pedras porosas, o sistema de pesos e a célula de carga, entre outros. A caixa de cisalhamento é rígida e mantém o corpo de prova confinado lateralmente em seu interior. As placas dentadas são posicionadas nas faces maiores do corpo de prova e seus dentes cravam na face do corpo de prova, impedindo o deslocamento relativo. Além disso, os furos nas placas permitem que aconteça a drenagem. As pedras porosas são posicionadas após as placas dentadas e têm a função de permitir o livre escoamento da água. O sistema de pesos é responsável pela tensão axial imposta à amostra, enquanto a célula de carga mede a força de cisalhamento.

Quanto à análise das tensões internas, apesar da aparente simplicidade, Thornton e Zhang (2003) afirmam que o exato estado de tensões no plano de ruptura é desconhecido. Além disso, Pinto (2006) afirma que o ensaio de cisalhamento direto apresenta uma complexa distribuição durante a fase de cisalhamento. O plano de cisalhamento que a amostra apresenta após o ensaio, determinado pela bipartição da caixa, pode ter sido precedido de pequenas rupturas em outras direções. Essas rupturas podem ser causadas pela rotação dos planos principais de tensão devido à força de cisalhamento aplicada.

Figura 4: Componentes básicos do equipamento de cisalhamento direto.



Fonte: Head e Epps (2011).

O ensaio de cisalhamento é realizado em duas etapas principais: consolidação e cisalhamento. Na fase de consolidação, o corpo de prova é posicionado na caixa de cisalhamento e uma tensão de consolidação é aplicada na maior face do corpo de prova. As deformações verticais são medidas e a fase de consolidação é considerada encerrada quando as deformações se estabilizam. Na fase de cisalhamento, é aplicada uma força de

cisalhamento a uma das metades da caixa de cisalhamento. Para evitar interferências da fricção, as caixas são separadas com parafusos.

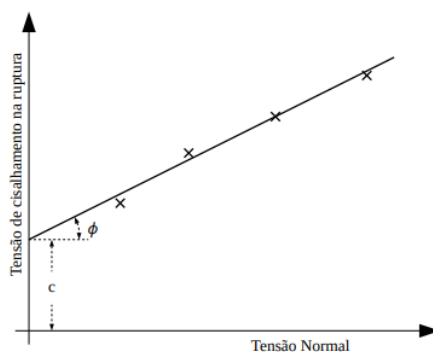
Pode ser realizado com uma força cisalhante constante, mas o mais comum é manter o deslocamento constante. Durante essa etapa, são medidas as deformações horizontais e verticais, além da tensão cisalhante. Para que o cisalhamento ocorra em um regime drenado, a velocidade deve ser controlada. A velocidade adequada depende das características de drenagem e do tamanho da amostra. A drenagem está relacionada ao coeficiente de consolidação, que pode ser obtido na fase de consolidação do ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas características do solo, é possível ocorrer um pico na resistência, que diminui com a continuação da movimentação da caixa, mantendo a resistência final. A resistência máxima ao cisalhamento deve ser considerada como a tensão de falha no ensaio de cisalhamento direto. Além disso, é recomendado traçar um gráfico semelhante que mostre o deslocamento vertical observado na amostra em função do deslocamento das caixas.

Para um mesmo solo, são realizadas medições da resistência de cisalhamento de pico em pelo menos três estágios diferentes, ou seja, em corpos de prova semelhantes com três diferentes tensões normais aplicadas. Esses valores são então plotados em um gráfico (Figura 5) que representa a resistência de cisalhamento em função da tensão normal (DAS, 2014). A partir desses pontos, é traçada uma linha de tendência, cuja inclinação é definida como a tangente do ângulo de atrito ( $\tan \phi$ ), e o valor no qual essa linha intercepta o eixo das ordenadas é definido como o intercepto coesivo ( $c'$ ), esses valores são de grande importância para o cálculo de resistência ao cisalhamento do solo ( $\tau_f$ ).  $\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \phi$

Figura 5: Envoltórias de ruptura características, obtidas por ensaios de cisalhamento direto.



Fonte: DAS (2014).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos por outras pesquisas e bibliografias, é possível obter uma compreensão mais aprofundada sobre o ensaio de cisalhamento direto, seu objetivo e seus resultados. Esse conhecimento é de grande importância para os estudos geotécnicos, que são fundamentais para a construção de edifícios, rodovias, pontes e outras estruturas. Com os resultados do ensaio de cisalhamento direto, é possível estimar o valor de resistência ao cisalhamento do solo, o que influenciará diretamente em futuros projetos. Portanto, é essencial que os engenheiros tenham conhecimento sobre essa técnica para garantir a segurança e a estabilidade de futuras edificações, obras rodoviárias, entre outras.

**Palavras-chave:** Geotecnia, Cisalhamento direto, Coesão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAS, B. M. Fundamentos de engenharia geotécnica. 7a ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2014.
- HACHICH, Waldemar et al. Fundações: teoria e prática. 2ª edição, São Paulo: Pini-ABMS/ABEF, 1998.
- HEAD, K. H.; EPPS, R. J. Manual of Soil Laboratory Testing: Vol II. Boca Raton, EUA: Whittles Publishing, 2011.
- OLSON, R.; LAI, J. Direct Shear Testing. Advanced Geotechnical Laboratory, p. 1–14, 2004.
- SILVA, R. S. Ensaio de Cisalhamento Direto: Quando a Superfície de Ruptura não Ocorre em um Plano Horizontal, 2001. Universidade Federal de Santa Catarina.
- PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/Carlos de Sousa Pinto. – São Paulo: Oficina de Textos, 2000-02-15.
- SILVA, R. S. Ensaio de Cisalhamento Direto: Quando a Superfície de Ruptura não Ocorre em um Plano Horizontal, 2001. Universidade Federal de Santa Catarina.
- THORNTON, C.; ZHANG, L. Numerical Simulations of the Direct Shear Test. Chemical Engineering & Technology, v. 26, n. 2, p. 153–156, 2003.