

20^a AULA

RESISTÊNCIA NÃO DRENADA DAS ARGILAS SATURADAS

1. Introdução

Como discutido na aula anterior, as argilas apresentam baixa permeabilidade e, portanto, drenagem bastante lenta. A dissipação das pressões neutras oriundas de carregamentos aplicados se dá muito lentamente, muito tempo após a aplicação do carregamento. Em muitas situações a condição crítica com relação a possibilidade de ruptura ocorre ao final do período construtivo, numa condição de carregamento ainda não drenada.

O comportamento não drenado das argilas pode ser estudado utilizando ensaios triaxiais não adensados não drenados, ensaios de compressão simples e triaxiais adensados não drenados.

2. Resistência Não Drenada a Partir de Ensaio Triaxiais Não Adensados Não Drenados e de Compressão Simples

a) Ensaio triaxiais não adensados não drenados

Como já mencionado, em todas as fases do ensaio não adensado não drenado, a pressão neutra gerada pelo carregamento no corpo de prova é impedida de se dissipar. Discute-se a seguir o que acontece quando se submete um corpo de prova de argila saturada a um ensaio desse tipo.

Primeiramente, vamos analisar o que ocorre quando se aplicam acréscimos de tensão isotrópicos (de igual valor nas três direções principais) num corpo de prova saturado,

sendo impedida a drenagem. Devido a baixíssima compressibilidade da água que está ocupando todo o volume de vazios, surge, devido ao carregamento, uma pressão neutra de valor igual ao acréscimo de tensão. De forma análoga, quando há uma redução isotrópica de tensão num solo saturado, sem possibilidade de drenagem, ocorre uma redução na pressão neutra de igual valor. Em nenhum dos dois casos há mudança na tensão efetiva, a menos que se permita a drenagem do solo.

Tome-se agora uma amostra de solo a 10 m de profundidade no terreno cujo perfil é mostrado na figura 1, com o nível d'água na superfície do terreno. Admita-se $K_0 = 0,5$. Da figura, tem-se: $u = 100$ kPa, $\sigma_v = 180$ kPa, $\sigma_h = 140$ kPa, $\sigma'_v = 80$ kPa e $\sigma'_h = 40$ kPa. A tensão confinante média na amostra é $(180 + 2 \times 140) / 3 = 153,3$ kPa e a tensão confinante efetiva média é $(80 + 2 \times 40) / 3 = 53,3$ kPa. Por ocasião da coleta da amostra, a pressão externa deixa de atuar. São removidas então duas tensões totais de 140 kPa (horizontais) e uma tensão total de 180 kPa (vertical). Admite-se que o efeito da redução das três tensões principais é semelhante à redução da tensão confinante média de 153,3 kPa. Pelo que foi dito antes, conclui-se que a amostragem produzirá uma redução na pressão neutra de 153,3 kPa. Sendo inicialmente de 100 kPa, a pressão neutra passa a ser negativa, ficando igual a -53,3 kPa. Como após a amostragem a tensão total na amostra é nula, a sua tensão efetiva em todas as direções é de 53,3 kPa. Portanto, a tensão efetiva na amostra após a coleta é igual à tensão confinante efetiva média de campo.

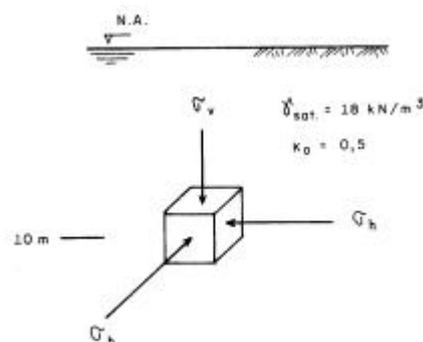


Fig. 1 – Tensões na amostra de solo no terreno

| Tensão (kPa) | Situação | | | |
|------------------|-----------------|------------------|---|---|
| | Solo no terreno | Amostra coletada | Corpo de prova 1 confinado com $\sigma_c = 100$ kPa | Corpo de prova 2 confinado com $\sigma_c = 200$ kPa |
| σ_v | 180 | 0 | 100 | 200 |
| σ_h | 140 | 0 | 100 | 200 |
| σ_c | 153,3 | 0 | 100 | 200 |
| $\Delta\sigma_c$ | - | -153,3 | +100 | +200 |
| u | 100 | 100-153,3=-53,3 | -53,3+100=46,7 | -53,3+200=146,7 |
| σ'_v | 80 | 0-(-53,3)=53,3 | 100-46,7=53,3 | 200-146,7=53,3 |
| σ'_h | 40 | 0-(-53,3)=53,3 | 100-46,7=53,3 | 200-146,7=53,3 |
| σ'_c | 53,3 | 0-(-53,3)=53,3 | 100-46,7=53,3 | 200-146,7=53,3 |

Quando se fazem ensaios do tipo adensado drenado ou adensado não drenado em corpos de prova da amostra, ao se aplicar a pressão confinante de ensaio, a pressão neutra aumenta do valor aplicado. Mas, a seguir, como se deixa adensar a amostra, as pressões neutras se anulam (adensar é sinônimo de deixar a pressão neutra cair a zero). Como se sabe, em seguida determina-se a resistência com drenagem (ensaio adensado drenado) ou sem drenagem (ensaio adensado não drenado).

Por outro lado, quando se fazem ensaios do tipo não adensado não drenado, não se permite qualquer drenagem. Assim ocorre um acréscimo de pressão neutra igual à pressão de confinamento que não é dissipado. Portanto, qualquer que seja a pressão confinante aplicada, a tensão confinante efetiva é a mesma e é a que existia antes da aplicação da pressão confinante. Sejam analisadas as pressões nos corpos de prova 1 e 2 indicados na tabela. Para a pressão confinante de ensaio de 100 kPa, o corpo de prova ficará com uma pressão neutra de $-53,3 + 100 = 46,7$ kPa, e a tensão confinante efetiva será $100 - 46,7 = 53,3$ kPa. Para a pressão confinante de ensaio de 200 kPa, o corpo de prova ficará com uma pressão neutra de $-53,3 + 200 = 146,7$ kPa e a tensão confinante efetiva será $200 - 146,7 = 53,3$ kPa. Conclui-se que em ensaios

triaxiais do tipo não adensado não drenado, em amostras saturadas, a tensão confinante efetiva após a aplicação da pressão confinante será sempre a mesma e igual, em valor absoluto, à pressão neutra negativa da amostra após a sua coleta, que por sua vez é igual à média das tensões principais efetivas que existiam no terreno.

Após o confinamento, os corpos de prova são submetidos a carregamento axial, sem drenagem. Ora, independentemente das pressões confinantes de ensaio, todos os corpos de prova estão sob a mesma pressão confinante efetiva, todos apresentarão o mesmo desempenho, e conseqüentemente, mesma resistência. Os círculos de Mohr em tensões totais terão os mesmos diâmetros, e a envoltória será uma reta horizontal, como se mostra na figura 2 a seguir. À ordenada dessa reta denomina-se de resistência não drenada (s_u), também chamada de coesão da argila.

$$\tau_{\max} = s_u$$

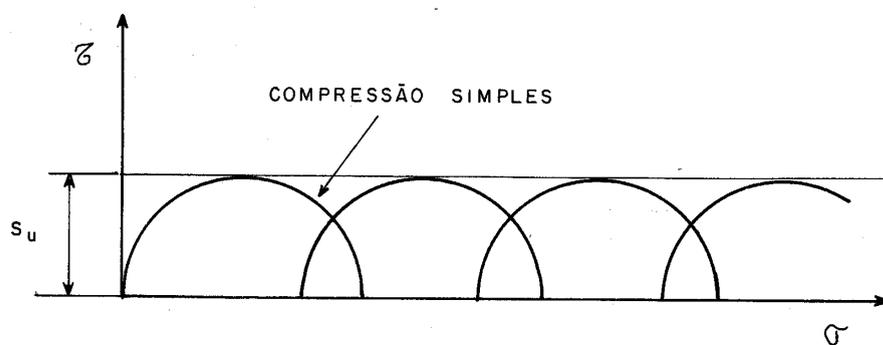


Fig. 2 – Envoltória de resistência não drenada de argilas saturadas

O comportamento das argilas em ensaios não drenados justifica a denominação de solos coesivos tradicionalmente empregada para argilas em contraposição às areias, chamadas de solos não coesivos. A resistência das argilas, no íntimo, é resultante de um fenômeno de atrito entre as partículas; a resistência que apresentam quando não confinadas é fruto da tensão confinante efetiva que existe. A impressão que se tem,

porém, é de um material que apresenta resistência mesmo que não submetido a qualquer confinamento, ou seja, de um material coesivo, ao contrário das areias.

b) Resistência não drenada a partir de ensaios de compressão simples

São denominados de ensaios de compressão simples os ensaios em que o corpo de prova é carregado axialmente sem que se aplique qualquer confinamento. Geralmente, estes ensaios são feitos com uma velocidade de carregamento que provoca a ruptura em cerca de 10 a 15 minutos. Nesse tempo, não há condições de drenagem, ou seja, de dissipação das pressões neutras que o carregamento provoca.

Assim sendo, o ensaio de compressão simples pode ser considerado como um ensaio triaxial não adensado não drenado em que a pressão confinante é igual a zero. A resistência apresentada pelo corpo de prova é resultante da tensão efetiva existente no corpo de prova e, conseqüentemente, o resultado é igual ao dos ensaios não drenados. O círculo representativo do estado de tensões na ruptura está representado na figura 2.

c) Ensaios triaxiais não adensados não drenados em termos de tensões efetivas

Nos ensaios triaxiais não adensados não drenados, podem ser instalados medidores de pressão neutra e se determinar portanto os círculos de Mohr em termos de tensões efetivas.

Neste caso, como mostra a figura 3, resulta o mesmo círculo de Mohr para todos os ensaios. O círculo único resultante é tangente a envoltória de resistência em termos de tensões efetivas analisada na aula anterior.

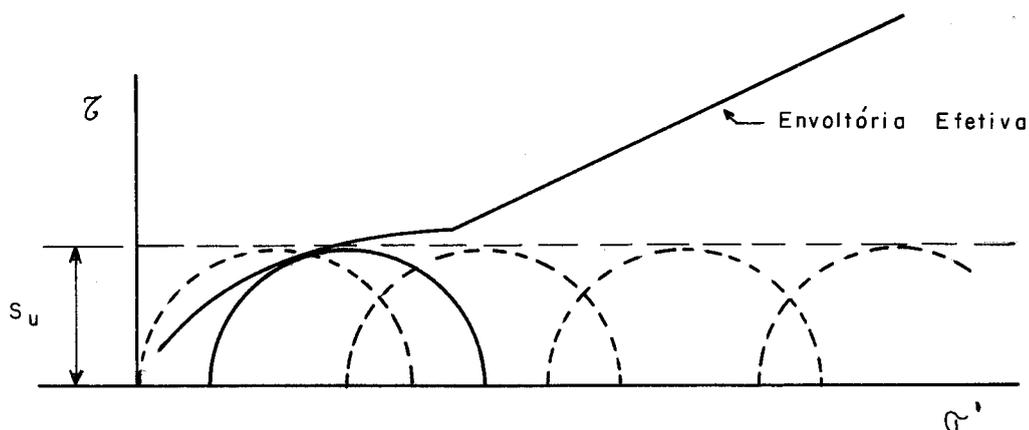


Fig. 3 – Círculos de Mohr de ensaios triaxiais não adensados não drenados em termos de tensões efetivas

3. Resistência não drenada a partir de ensaios triaxiais adensados não drenados

Nos ensaios triaxiais adensados não drenados se faz um carregamento axial não drenado em corpos de prova que estão com tensões confinantes efetivas iguais às pressões confinantes aplicadas no início do carregamento. As resistências são diferentes porque em cada ensaio a confinante efetiva no início do carregamento axial é diferente. Também no ensaio não adensado não drenado se faz um carregamento axial não drenado, mas sempre com a mesma pressão confinante efetiva, que é a tensão efetiva da amostra. É fácil concluir que o ensaio adensado não drenado, com pressão confinante igual a pressão efetiva da amostra é o que apresenta resultado igual ao dos ensaios não adensados não drenados da mesma amostra.

Assim sendo, pode-se afirmar que cada ensaio adensado não drenado indica a resistência não drenada para o estado de tensões efetivas correspondente à tensão confinante do ensaio. Para os ensaios adensados não drenados com amostras adensadas ao longo da reta virgem, os acréscimos de tensão são proporcionais às

pressões confinantes, como se verificou em aula anterior. A envoltória é uma reta passando pela origem, como se reproduz na figura 4. A cada círculo de Mohr, entretanto pode-se associar uma envoltória de resistência não drenada correspondente à confinante inicial efetiva, como mostra esta figura.

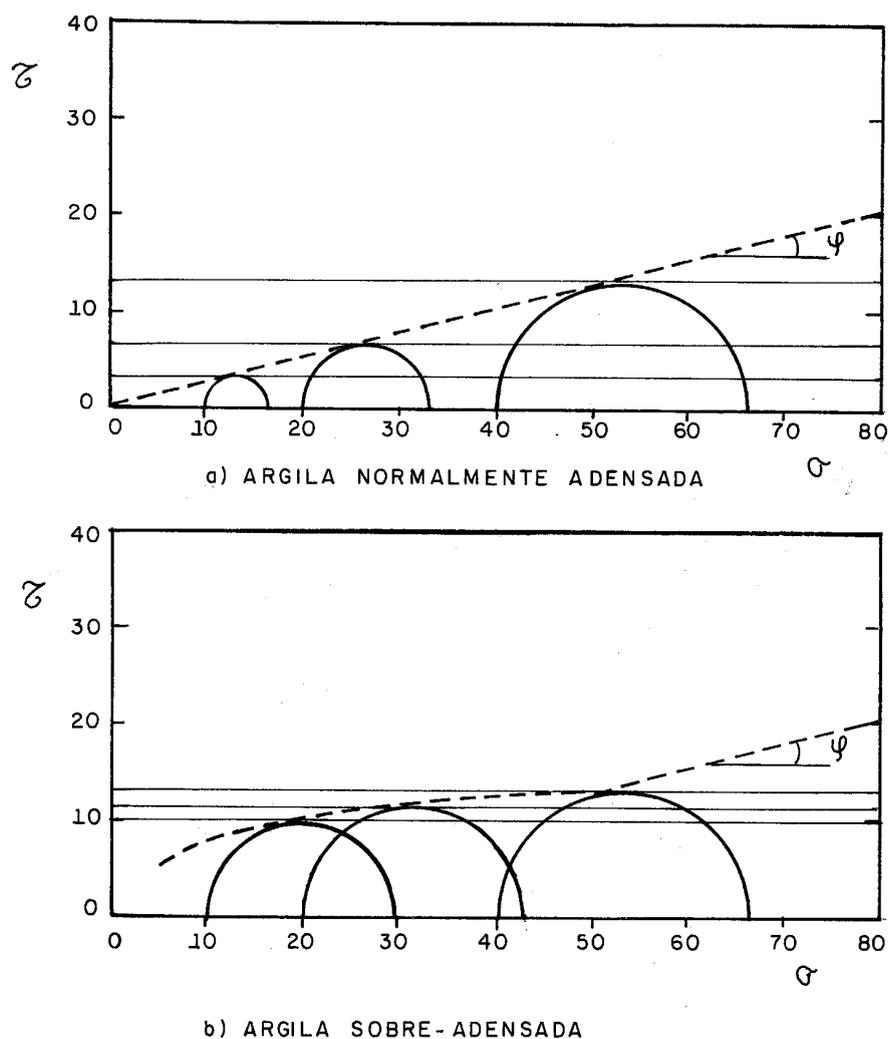


Fig. 4 – Obtenção de s_u a partir de ensaios triaxiais adensados não drenados

Para solos sobre adensados, a envoltória é curva, como se viu em aula anterior. Mas a cada situação, entretanto, ainda é válido reconhecer que o ensaio adensado não drenado indica a resistência não drenada para aquele estado de tensões e de pré-adensamento, com indicado na figura.