

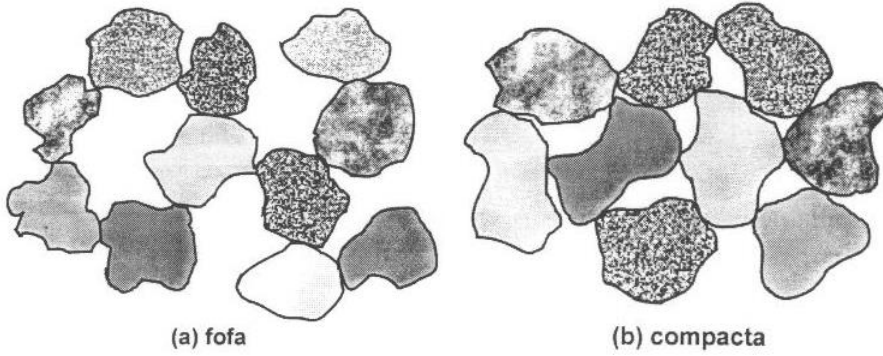
# Resistência ao Cisalhamento das Areias

Prof. Maristâni G. Spannenberg F.

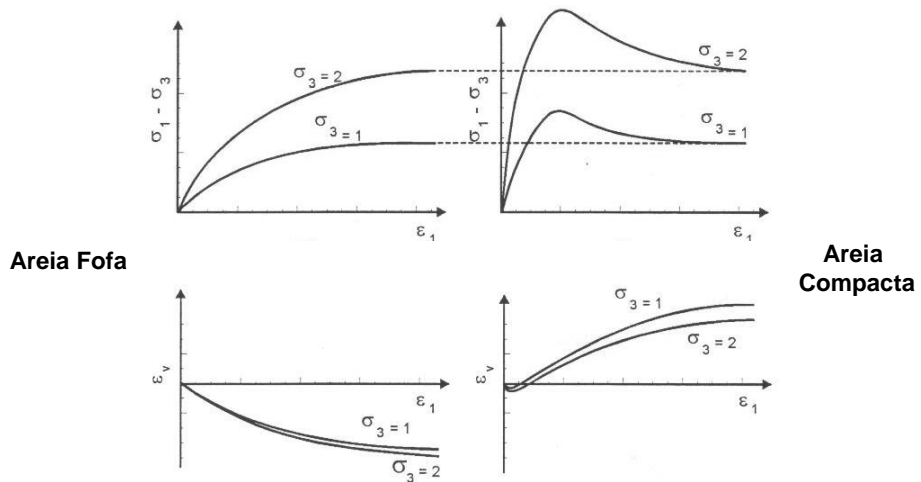
## Princípios Básicos

- Comportamento comandado pelo atrito entre as partículas
- A resistência das areias é quase sempre definida em termos de tensões efetivas (comportamento drenado).
- A resistência ao cisalhamento das areias pode ser determinada tanto em ensaios de cisalhamento direto como em ensaios de compressão triaxial (CD).

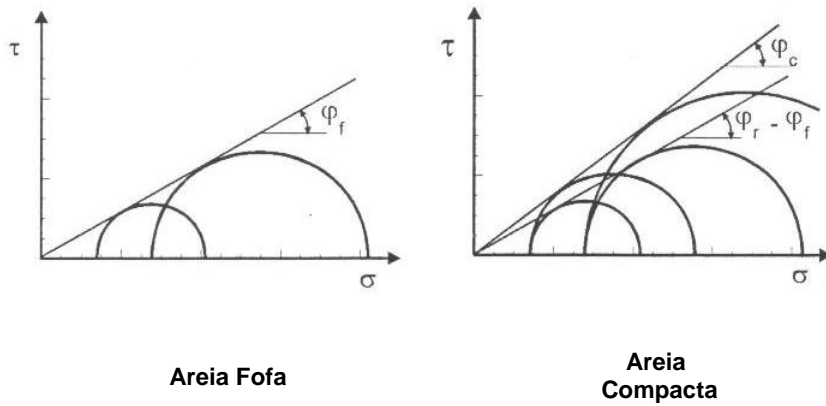
# Comportamento Típico



# Comportamento Típico



## Comportamento Típico



### Comportamento Típico: Pontos Importantes

- Influência do arranjo dos grãos.
- A dilatância nas areias compactas.
- A resistência residual é independente do índice de vazios inicial.

## Comportamento Típico: Areias Fofas

- Ensaios realizados com tensões confinantes diferentes apresentam curvas com aproximadamente o mesmo aspecto, podendo-se admitir, numa primeira aproximação, que as tensões sejam proporcionais à tensão confinante do ensaio.
- A envoltória é uma reta passando pela origem.
- A resistência é dada pelo ângulo de atrito interno efetivo.
- A areia é um material não coesivo.
- A areia fofa reduz de volume durante o cisalhamento, sendo que, para pressões confinantes maiores, a redução de volume é maior.

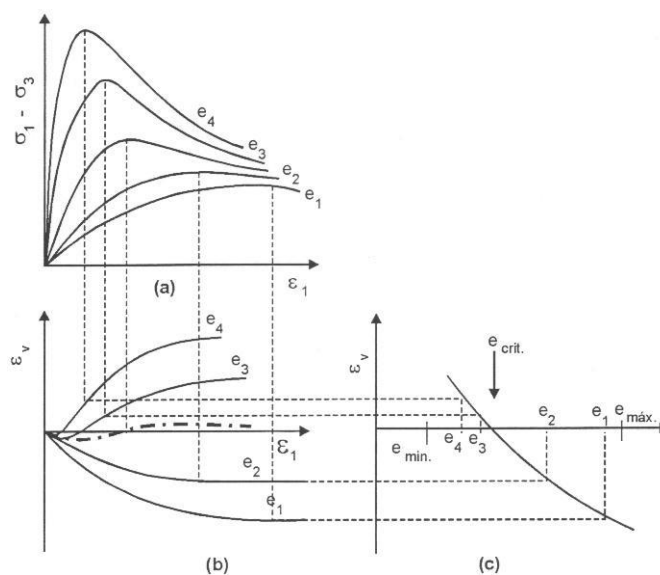
## Comportamento Típico: Areias Compactas

- A tensão desviadora cresce muito mais rapidamente com as deformações, até atingir um valor máximo, sendo este valor considerado como a resistência máxima ou resistência de pico.
- Atendida a resistência máxima, ao continuar a deformação do corpo de prova, a tensão desviadora decresce lentamente até se estabilizar em torno de um valor que é definido como a resistência residual.
- A envoltória de ruptura (estados de pico) é uma reta que passa pela origem, e a resistência de pico das areias compactas se expressa pelo ângulo de atrito interno correspondente.

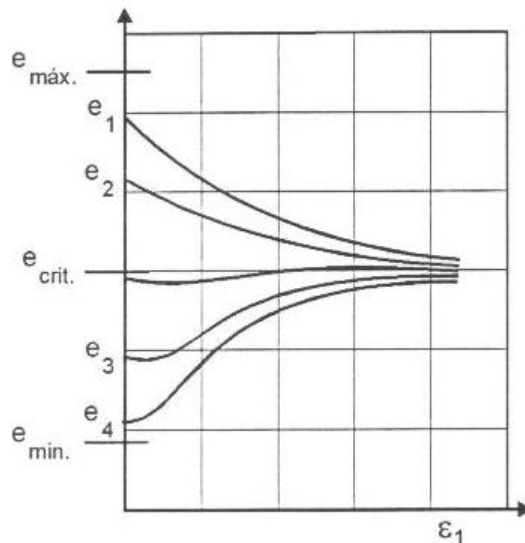
## Comportamento Típico: Areias Compactas

- Pode-se representar também uma envoltória correspondente às resistências residuais, que é retilínea, passando pela origem.
- O ângulo de atrito residual, é muito semelhante ao ângulo de atrito desta mesma areia no estado fofo, pois as resistências residuais são da ordem de grandeza das resistências máximas da mesma areia no estado fofo.
- Observa-se que os corpos de prova apresentam, inicialmente, uma redução de volume, mas, ainda antes de ser atingida a resistência máxima, o volume do corpo de prova começa a crescer, sendo que, na ruptura, o corpo de prova apresenta maior volume do que no início do carregamento.

## Índice de Vazios Crítico



## Índice de Vazios Crítico

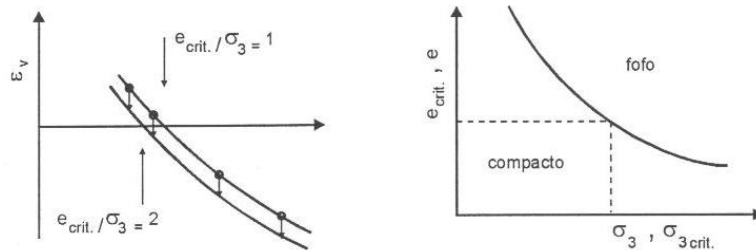


## Índice de Vazios Crítico

- Existe um índice de vazios no qual o corpo de prova não apresenta nem diminuição nem aumento de volume por ocasião da ruptura. Este índice de vazios é definido como índice de vazios crítico da areia.
- Se a areia estiver com um índice de vazios menor do que ele, ela precisará se dilatar para romper; se o índice de vazios for maior do que o crítico, a areia romperá se comprimindo.
- Após a ruptura, todos os corpos de prova tendem ao mesmo índice de vazios, que é o índice de vazios crítico.
- No estado crítico, as partículas de areia fofa passam a escorregar e rolar entre si, mantendo, na média, o mesmo índice de vazios. Nas areias compactas, vencido o entrosamento inicial, e com a criação de maior volume de vazios, a situação passa a ser semelhante à das fofas.

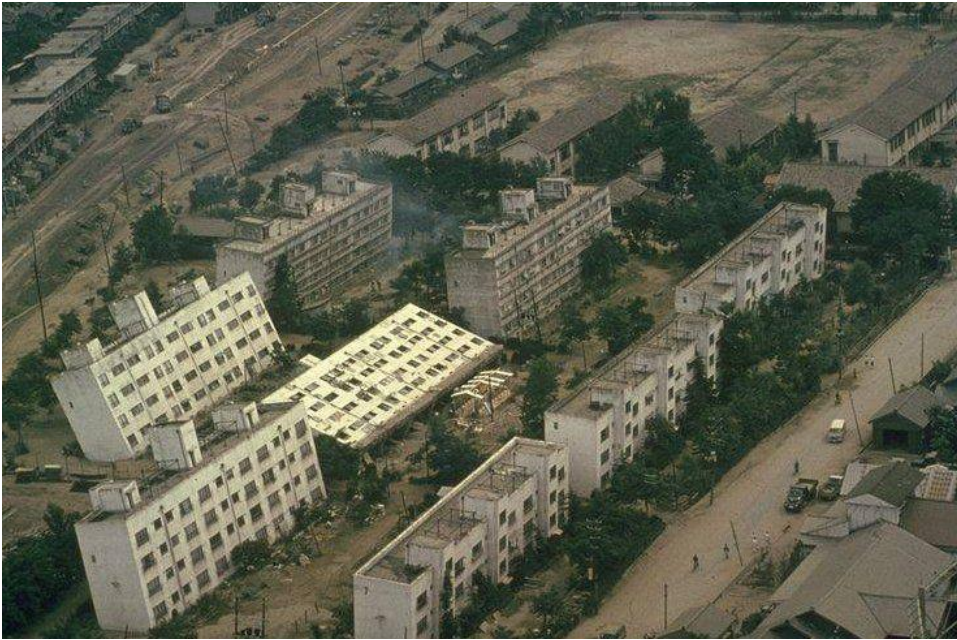
## Índice de Vazios Crítico

- O índice de vazios crítico não é uma característica intrínseca do material pois varia com a tensão de confinamento.
- Quanto maior a pressão confinante, menor o índice de vazios crítico.
- Para um determinado índice de vazios existe uma tensão confinante crítica.

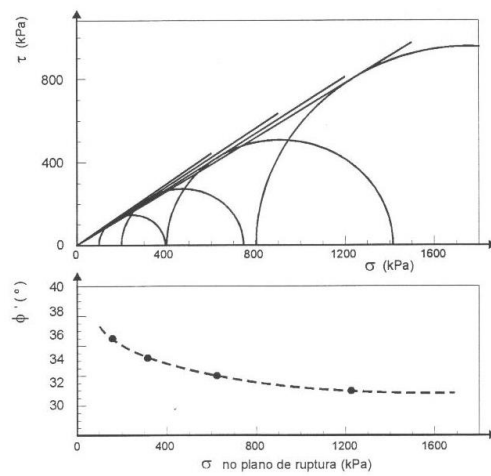


## O Fenômeno da Liquefação das Areias

- Se uma areia se encontra com índice de vazios inferior ao índice de vazios crítico, ao ser solicitada, ela tende a se dilatar. A dilatação, no caso de haver drenagem, faz-se acompanhada de penetração de água nos vazios. Se não houver tempo para que isto ocorra, a água fica sob uma sobre-pressão negativa (de sucção), do que resulta um aumento da tensão efetiva e, conseqüentemente, um aumento de resistência.
- Se a areia se encontra com um índice de vazios maior do que o crítico, ao ser carregada, ela tende a se comprimir, expulsando água de seus vazios. Não havendo tempo para que isto ocorra, a água fica sob pressão positiva, diminuindo a tensão efetiva, reduzindo significativamente a resistência. As rupturas de areias nestas condições costumam ser drásticas, pois as pressões neutras podem atingir valores tão elevados que a areia se liquefaz.



## Variação do Ângulo de Atrito com a Pressão Confinante



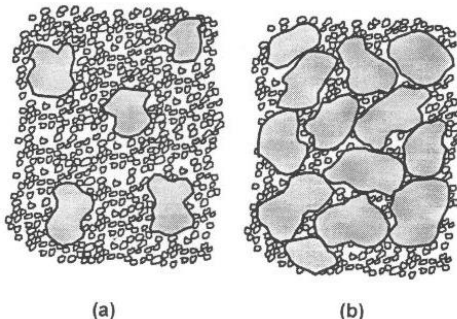


## Variação do Ângulo de Atrito com a Pressão Confinante

- Ensaios revelam que os diversos círculos de Mohr na ruptura conduzem a envoltórias de resistência curvas.
- A variação do ângulo de atrito com a pressão confinante é tanto mais sensível quanto mais compacta estiver a areia e quanto menos resistentes forem os grãos.
- Quando se expressa de uma maneira genérica o ângulo de atrito de uma areia, pressupõe-se que o valor se refere aos níveis de tensão mais comuns em obras de engenharia (100 a 400 kPa).

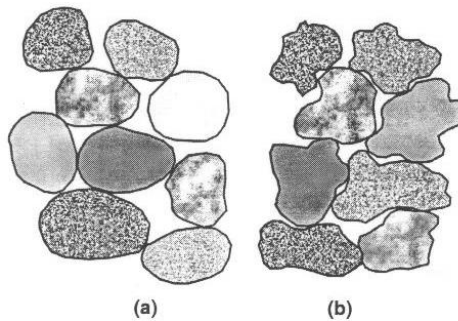
## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

- Distribuição Granulométrica
  - Quanto mais bem distribuída é uma areia, melhor o entrosamento entre as partículas e, conseqüentemente, maior o ângulo de atrito.



## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

- Formato dos Grãos
  - Areias constituídas de partículas esféricas e arredondadas têm ângulos de atrito sensivelmente menores do que as areias de grãos angulares.



## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

- Tamanho dos Grãos
  - Sendo constantes as outras características, o tamanho dos grãos *pouca influência tem na resistência das areias.*
  - No entanto, as *areias predominantemente grossas tendem a ser bem graduadas*, enquanto que as *areias predominantemente finas tendem a ser mal graduadas.*
  - As areias grossas tendem a se apresentar muito mais compactas do que as areias finas.

## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

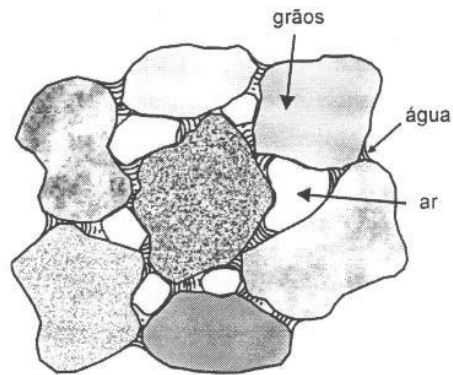
- Resistência dos Grãos
  - A quebra de partículas no processo de cisalhamento é a maior responsável pelas envoltórias de resistência curvas das areias.
- Composição Mineralógica
  - Pouca influencia e atribuída à composição mineralógica dos grãos, além de sua influência na resistência dos grãos individuais.

## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

- Presença da Água
  - O ângulo de atrito de uma areia saturada é aproximadamente igual ao da areia seca, ou um pouco menor.
  - A presença de água, em condições de não saturação, cria uma situação em que os meniscos de interfaces ar-água provocam a existência de uma pressão neutra negativa na água; é a pressão de sucção.
  - Esta tensão provoca uma tensão efetiva e a ela corresponde um ganho temporário de resistência, que desaparece com a saturação ou a secagem.
  - A sucção apresenta pequeno valor e pouco influi na resistência total, a não ser para pressões confinantes muito pequenas.

## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

- Presença da Água



## Fatores que Afetam o Valor do Ângulo de Atrito

- Estrutura da Areia
  - A anisotropia estrutural tem pequena influência sobre o ângulo de atrito.
  - As diferenças só seriam sensíveis em casos muito especiais, em areias de partículas muito alongadas.

## Envelhecimento das Areias

- A experiência tem mostrado que uma areia que se encontra no seu estado natural por muitos anos ou séculos apresenta uma deformabilidade muito menor do que quando revolvida e recolocada no mesmo índice de vazios. Este aumento de rigidez ocorre sem variação de volume e resulta da interação físico-química entre as partículas.
- Ensaaios com areias remoldadas (e é quase sempre assim que se ensaia, pois é extremamente difícil obter amostras indeformadas de areias), indicam módulos de elasticidade muito menores do que os correspondentes ao estado natural.

## Valores Típicos de Ângulos de Atrito para Areias

- Para tensões de confinamento de 100 a 200 KPa:

	Compacidade		
	fofo	a	compacto
<b>Areias bem graduadas</b>			
de grãos angulares	37º	a	47º
de grãos arredondados	30º	a	40º
<b>Areias mal graduadas</b>			
de grãos angulares	35º	a	43º
de grãos arredondados	28º	a	35º