

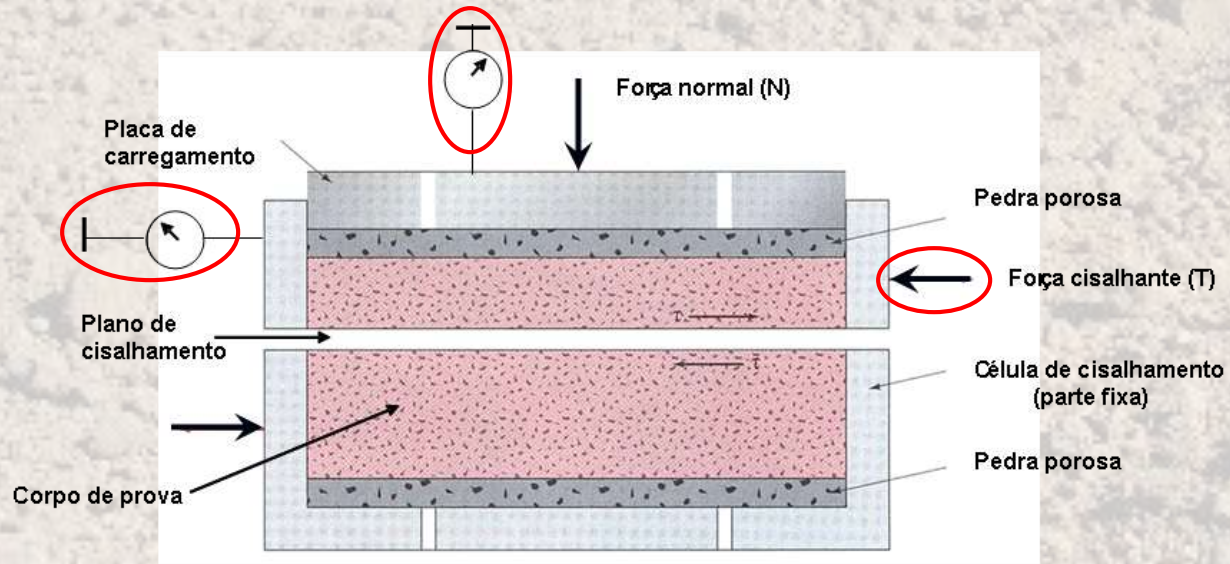


ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
PEF 3309 – Mecânica dos Solo Ambiental

Aula 13

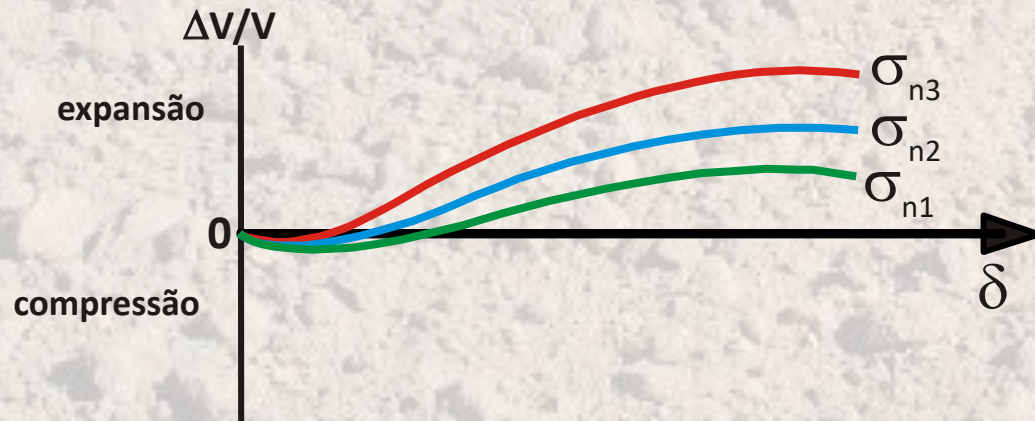
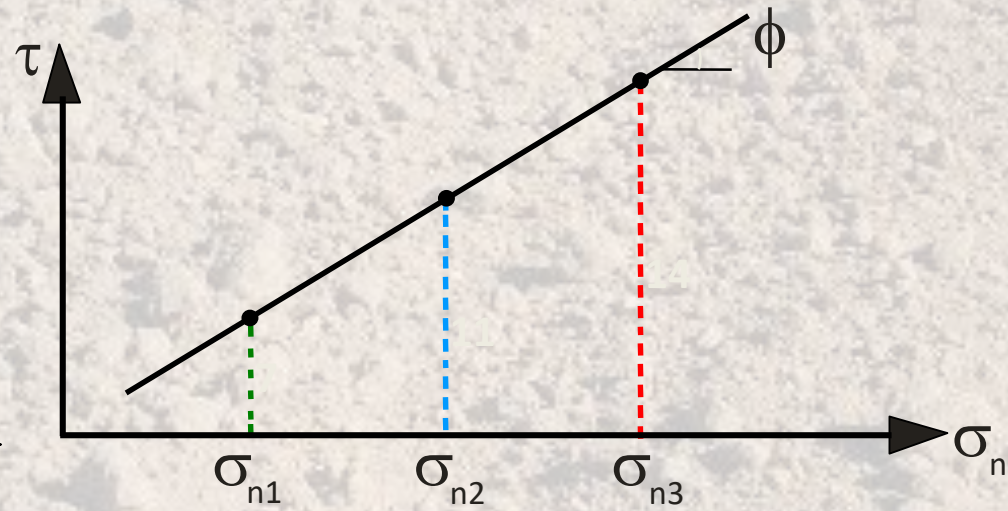
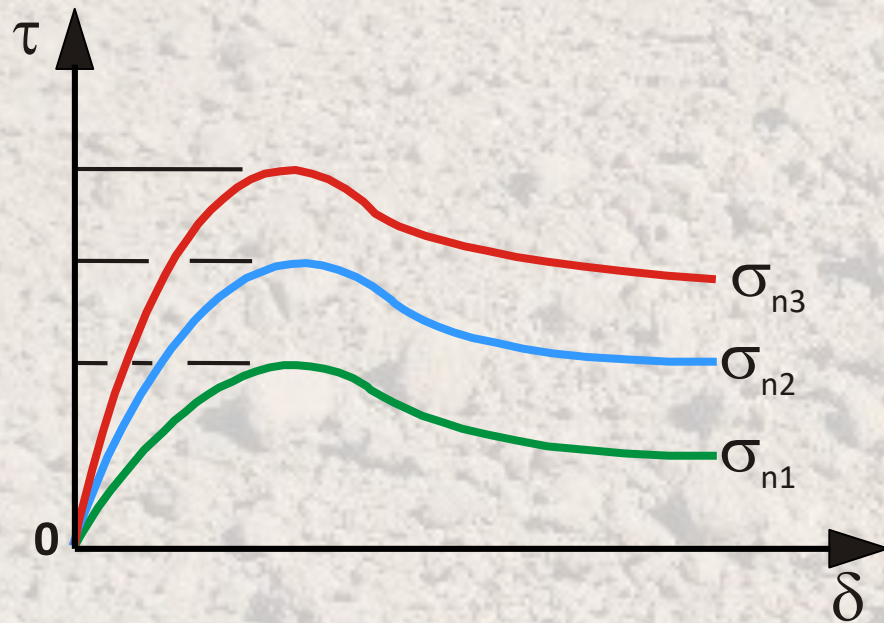
Resistência das Areias

Ensaio de cisalhamento direto (relembrando)



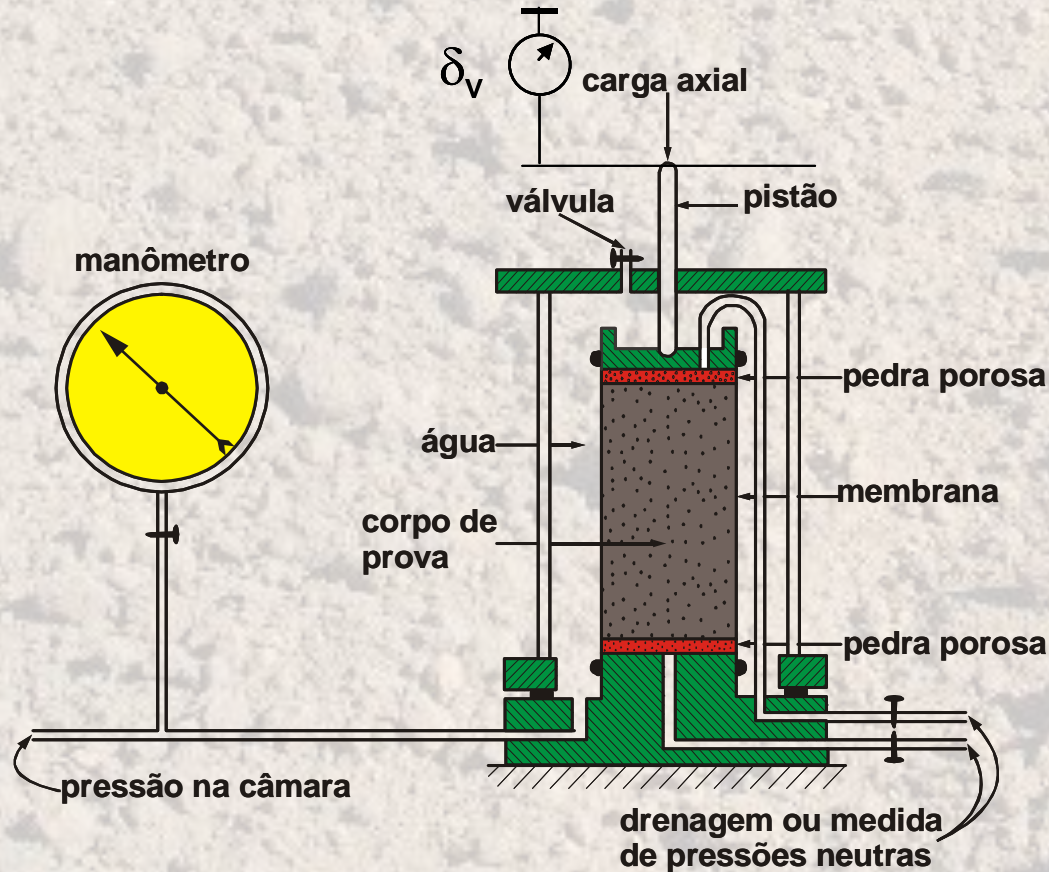
- São tomadas três leituras durante o ensaio:
 - deslocamento vertical (δ_v)
 - Força cisalhante (T)
 - deslocamento horizontal (δ_h)

Ensaio de cisalhamento direto (relembrando)



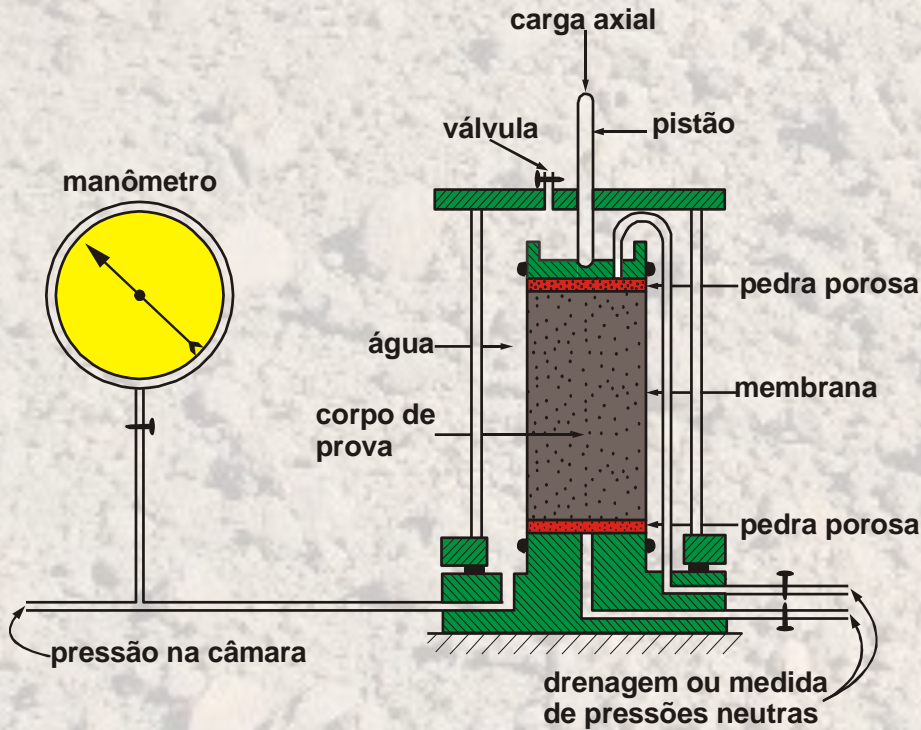
Ensaio de Compressão Triaxial (relembrando)

- As diversas conexões da câmara com o exterior permitem medir ou dissipar as pressões neutras e medir variações de volume.

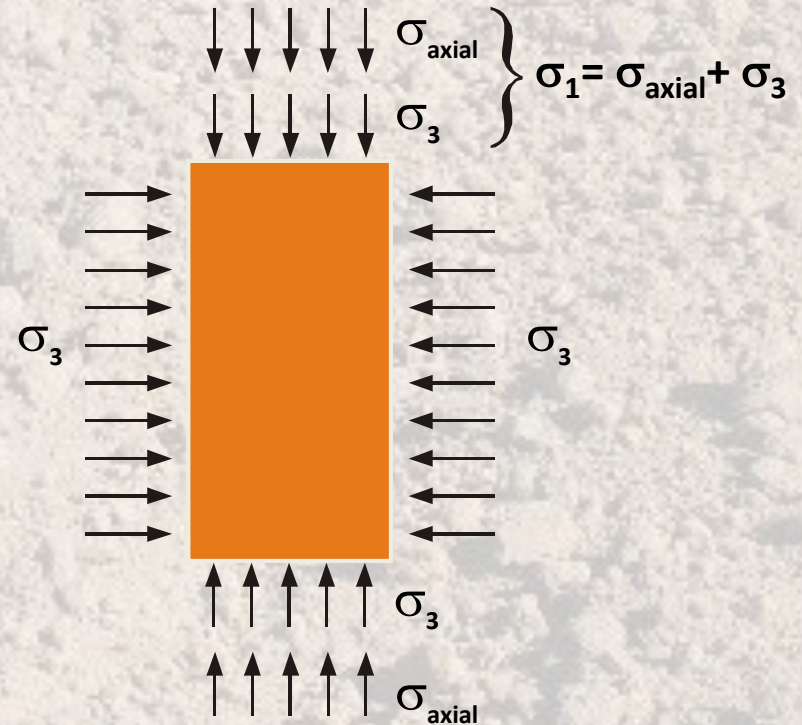


Ensaio de Compressão Triaxial (relembrando)

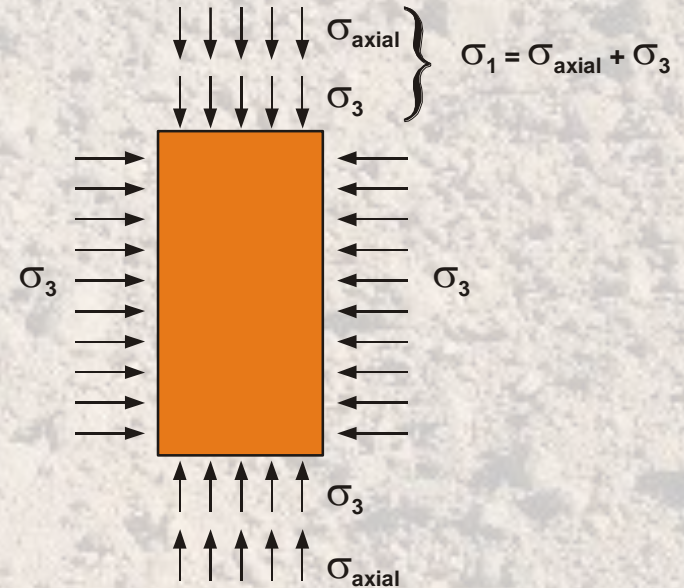
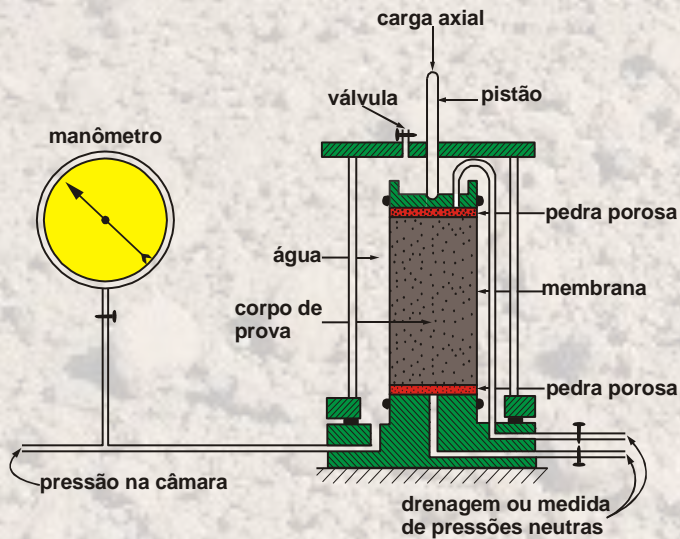
■ Esquema do ensaio



Tensões σ_1 e σ_3 no ensaio



Ensaio de Compressão Triaxial (relembrando)

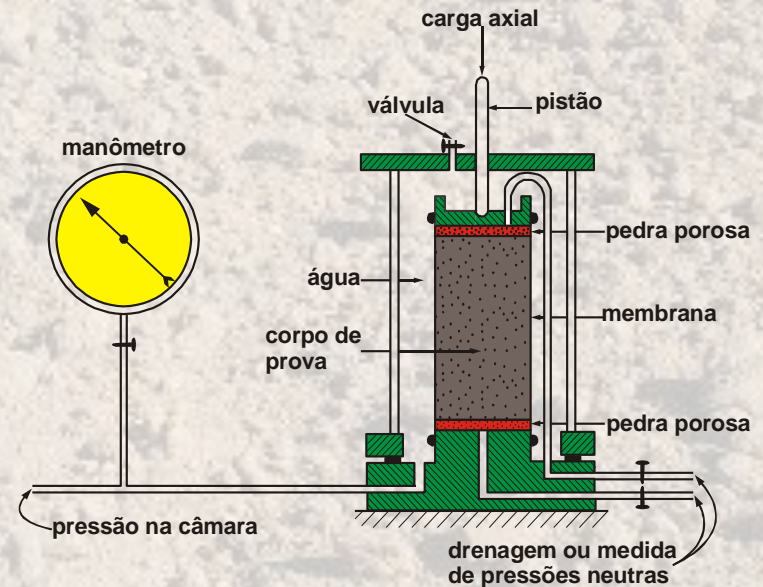


■ Fases do ensaio:

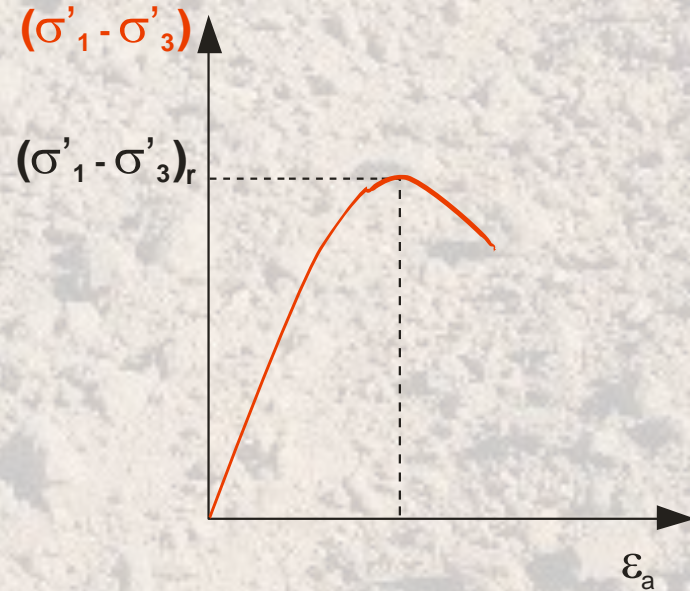
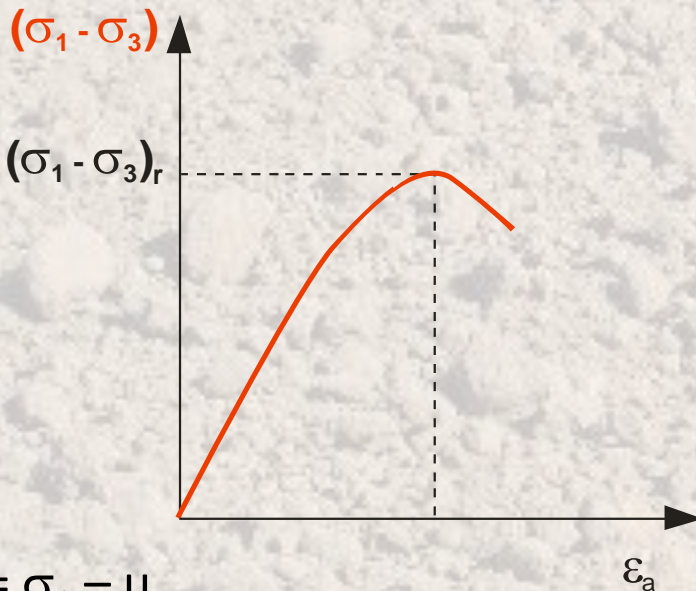
- Fase 1 – aplicação da pressão confinante (não ocorre cisalhamento).
- Fase 2 – aplicação da diferença de tensões principais (ocorre cisalhamento).

Modalidades de Ensaio de Compressão Triaxial (relembrando)

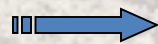
- Lento (CD)
 - Adensado, drenado
 - Medidas de variação de volume (ΔV)
 - $u = 0$
- Adensado rápido (CU)
 - Adensado (1a. fase)
 - Não drenado (2a. fase)
 - Medidas de variação de volume (ΔV) na primeira fase
 - Medidas da pressão-neutra (u) na segunda fase
- Rápido (UU)
 - Não adensado, não drenado
 - Medidas da pressão-neutra (u)



Apresentação dos Resultados de Ensaaios Triaxiais (relembrando)



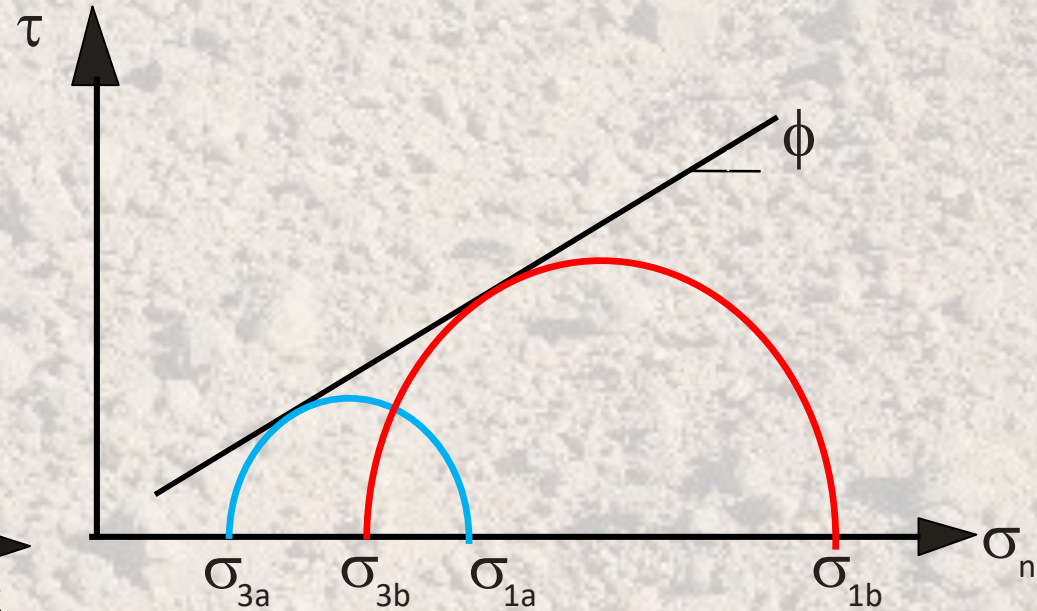
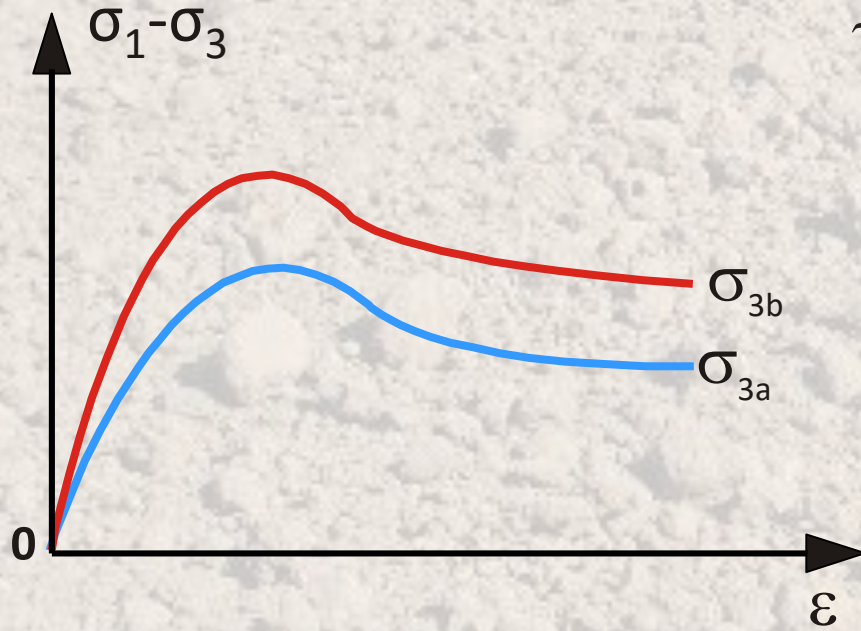
$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$$



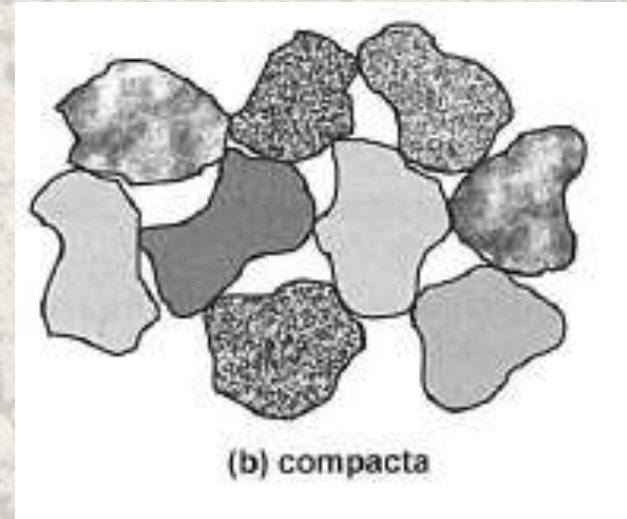
$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma'_1 - \sigma'_3)$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u$$

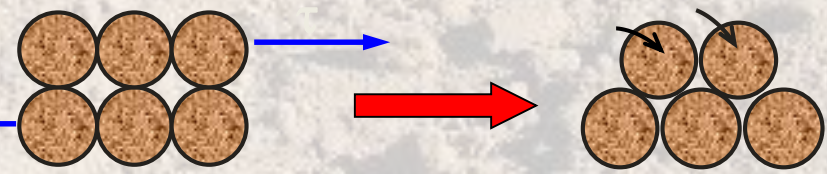
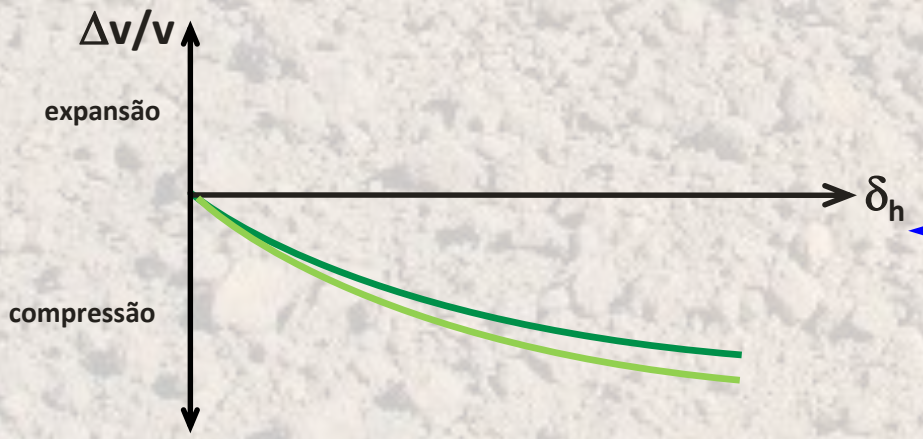
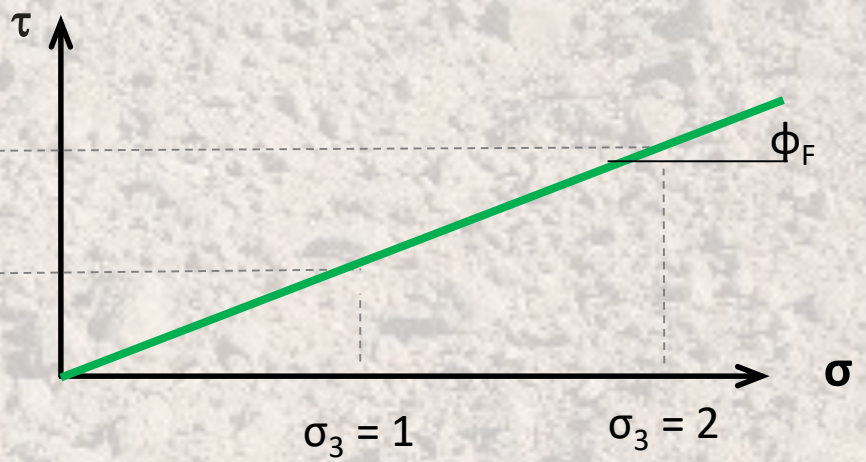
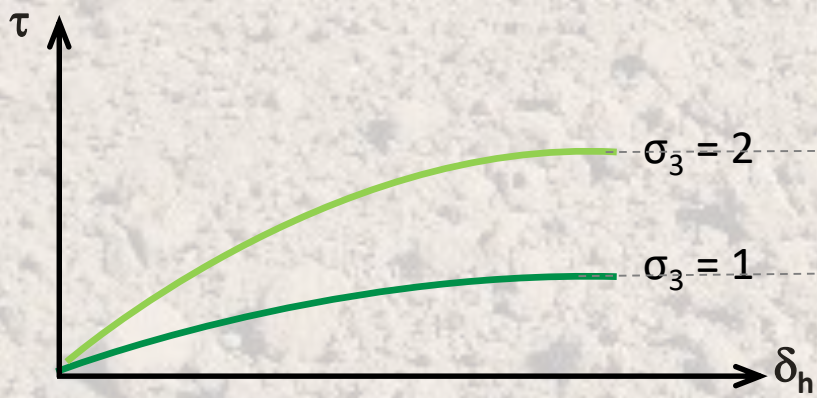
Ensaaios Triaxiais: Envoltória de Mohr-Coulomb (relembrando)



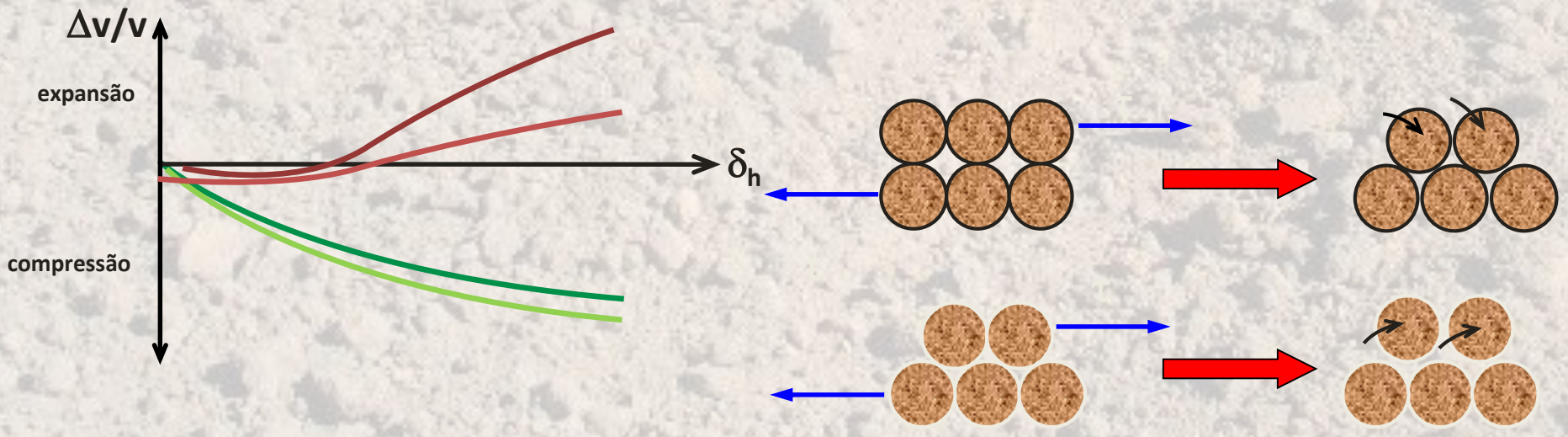
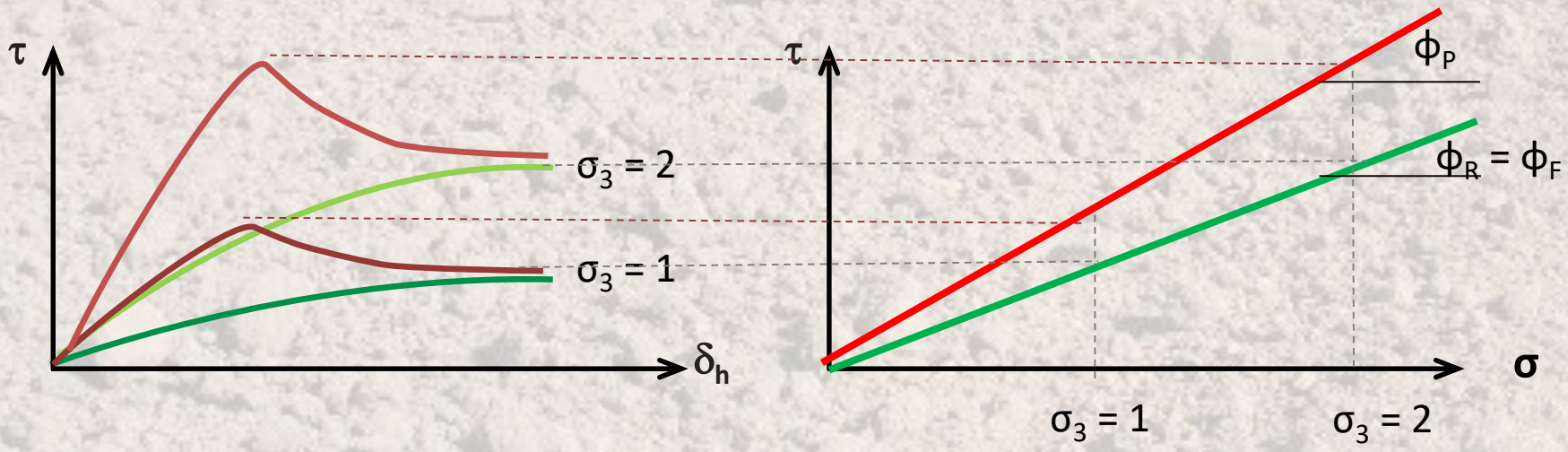
Areias Fofas x Compactas - Estrutura



Areias Fofas x Compactas - Resistência



Areias Fofas x Compactas - Resistência



Exemplo 1

Exercício 13.1 Dois ensaios de compressão triaxial foram feitos com uma areia, com os seguintes resultados: ensaio 1: $\sigma_3 = 100$ kPa, $(\sigma_1 - \sigma_3)_r = 300$ kPa; ensaio 2: $\sigma_3 = 250$ kPa, $(\sigma_1 - \sigma_3)_r = 750$ kPa. Com que tensão de cisalhamento deve ocorrer a ruptura em um ensaio de cisalhamento direto nessa areia, com a mesma compactidade, e com uma tensão normal aplicada de 250 kPa?

Exemplo 1

Exercício 13.1 Dois ensaios de compressão triaxial foram feitos com uma areia, com os seguintes resultados: ensaio 1: $\sigma_3 = 100$ kPa, $(\sigma_1 - \sigma_3)_r = 300$ kPa; ensaio 2: $\sigma_3 = 250$ kPa, $(\sigma_1 - \sigma_3)_r = 750$ kPa. Com que tensão de cisalhamento deve ocorrer a ruptura em um ensaio de cisalhamento direto nessa areia, com a mesma compactidade, e com uma tensão normal aplicada de 250 kPa?

Ensaio 1:

$\sigma_3 = 100$ kPa

$\sigma_1 - \sigma_3 = 300$ kPa

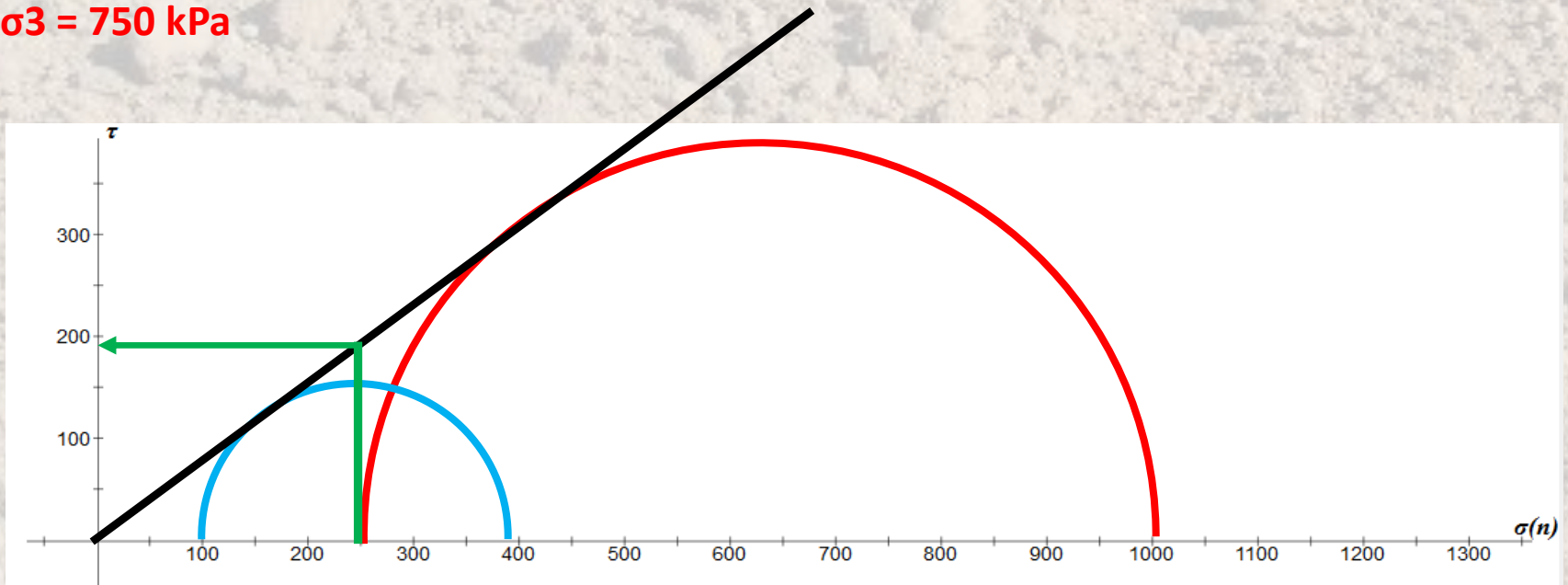
Ensaio 2:

$\sigma_3 = 250$ kPa

$\sigma_1 - \sigma_3 = 750$ kPa

Ensaio cisalhamento direto:

$\sigma = 250$ kPa



Exemplo 2

Exercício 13.2 Dois ensaios de cisalhamento direto foram realizados com uma areia, obtendo-se os seguintes resultados: ensaio 1: tensão normal = 100 kPa; tensão cisalhante na ruptura = 65 kPa; ensaio 2: tensão normal = 250 kPa; tensão cisalhante na ruptura = 162,5 kPa. Em um ensaio de compressão triaxial drenado, com essa areia no mesmo estado de compactação, e com pressão confinante de 100 kPa, com que tensão desviadora ocorrerá a ruptura?

Exemplo 2

Exercício 13.2 Dois ensaios de cisalhamento direto foram realizados com uma areia, obtendo-se os seguintes resultados: ensaio 1: tensão normal = 100 kPa; tensão cisalhante na ruptura = 65 kPa; ensaio 2: tensão normal = 250 kPa; tensão cisalhante na ruptura = 162,5 kPa. Em um ensaio de compressão triaxial drenado, com essa areia no mesmo estado de compactidade, e com pressão confinante de 100 kPa, com que tensão desviadora ocorrerá a ruptura?

Ensaio 1:

$\sigma = 100$ kPa

$\tau = 65$ kPa

Ensaio triaxial:

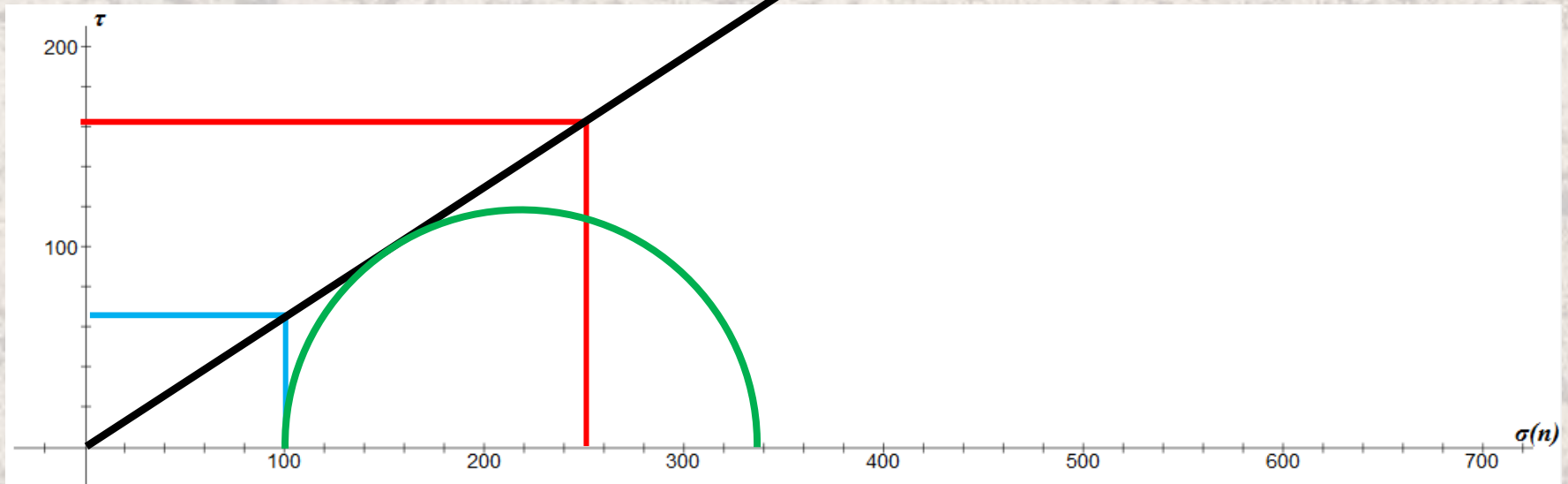
$\sigma_3 = 100$ kPa

$\sigma_1 - \sigma_3 = 300$ kPa

Ensaio 2:

$\sigma = 250$ kPa

$\tau = 162,5$ kPa

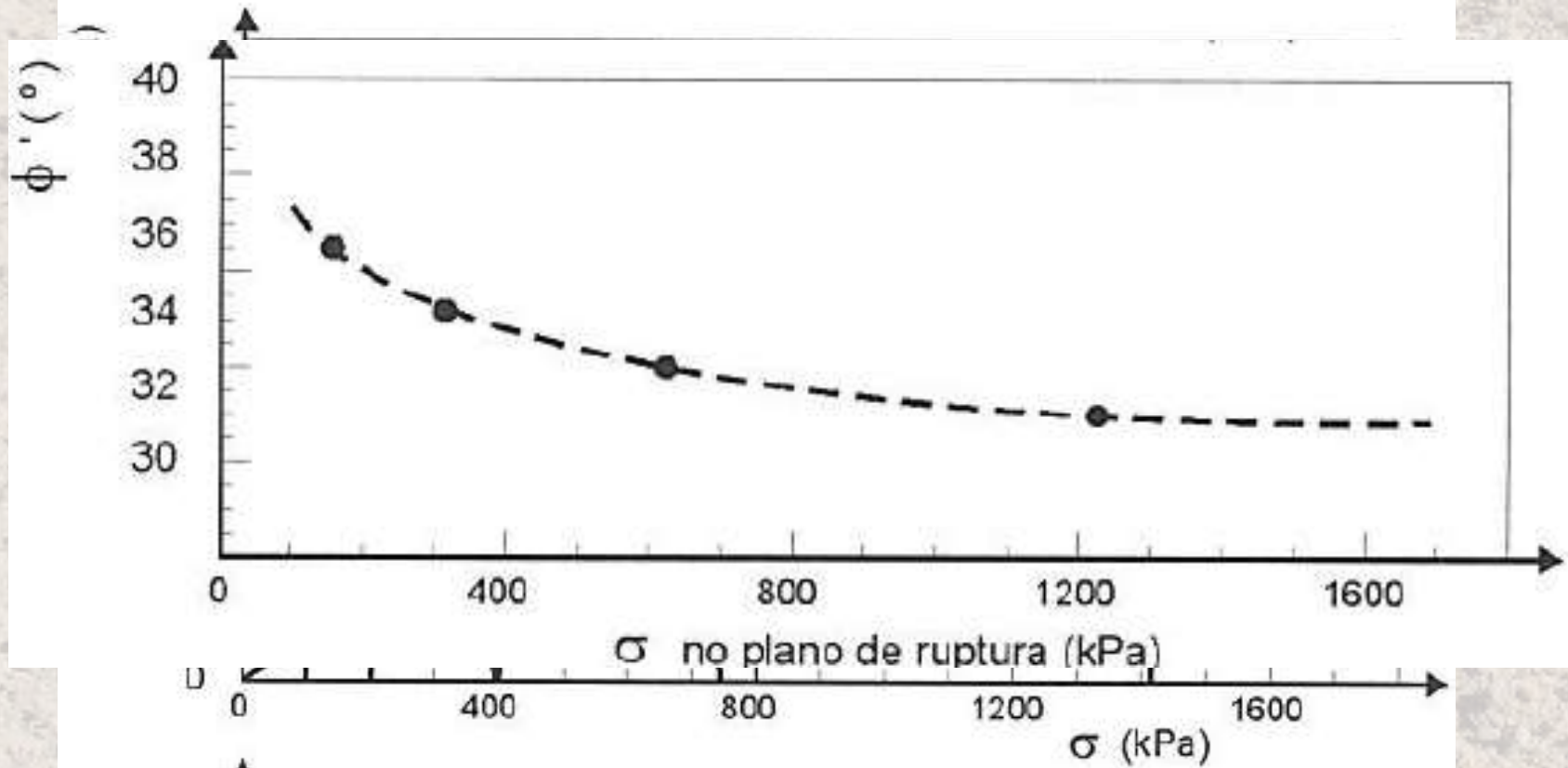


Ângulo de atrito - fatores que interferem

	Compacidade		
	fofo	a	compacto
Areias bem-graduadas			
de grãos angulares	37°	a	47°
de grãos arredondados	30°	a	40°
Areias malgraduadas			
de grãos angulares	35°	a	43°
de grãos arredondados	28°	a	35°

- Presença de água

Ângulo de atrito x Confinamento

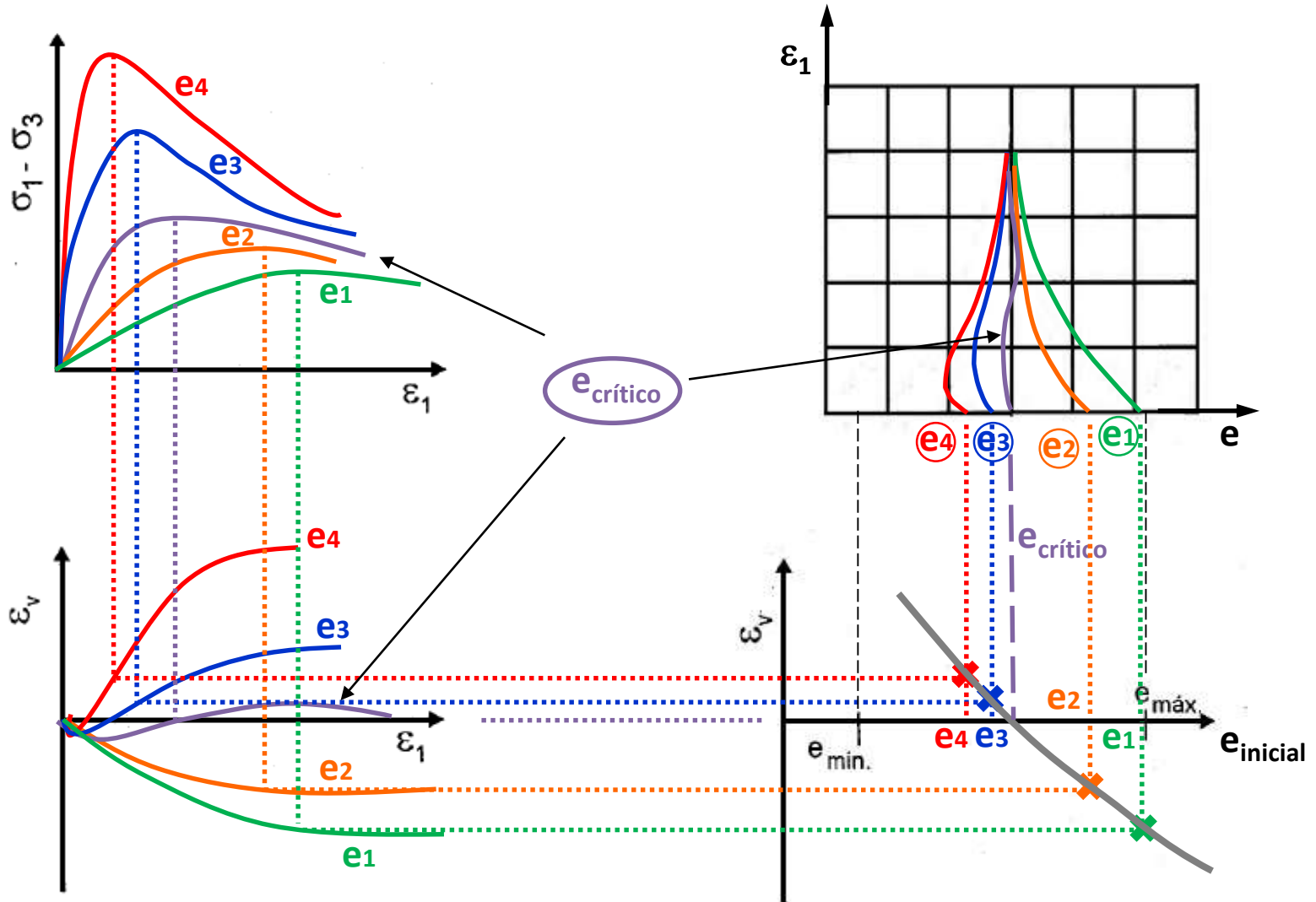


Exemplo 3

Exercício 13.5 Duas areias apresentam partículas com igual formato. A areia A tem coeficiente de não uniformidade $CNU = 5,5$ e a areia B tem $CNU = 2,7$, ou seja, a areia A é mais bem-graduada que a areia B. Quando compactadas com a mesma energia:

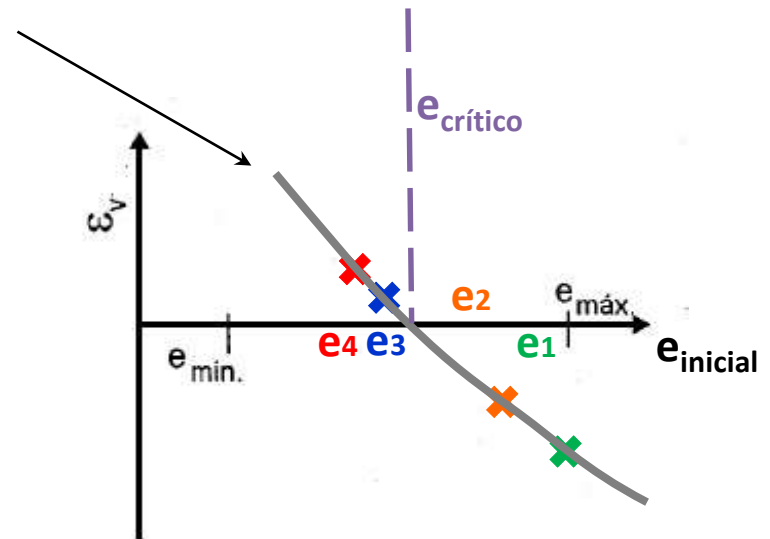
- a) qual das duas fica com maior peso específico?
- b) qual das duas apresenta maior ângulo de atrito interno?

Mesma areia
dada σ_3 (cte em todos os ensaios)
 e_{inicial} - variável



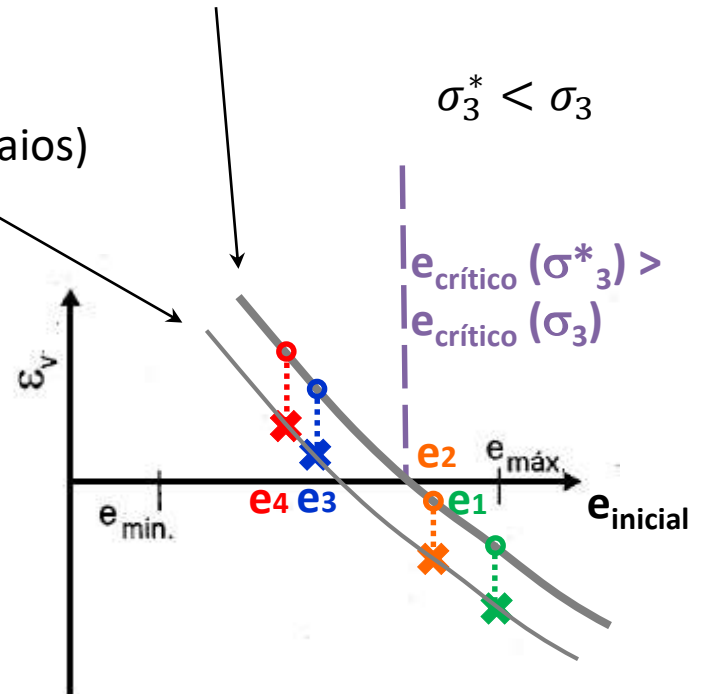
Mesma areia
dada σ_3 (cte em todos os ensaios)
 e_{inicial} - variável

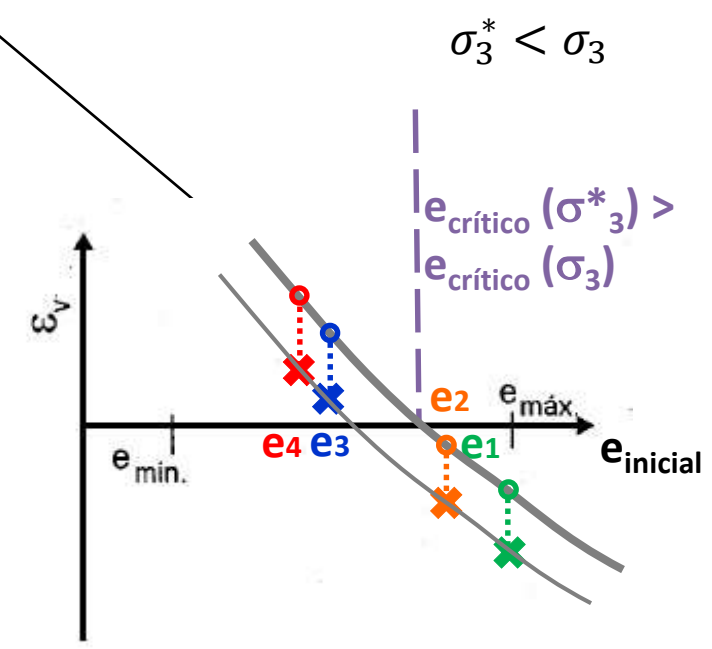
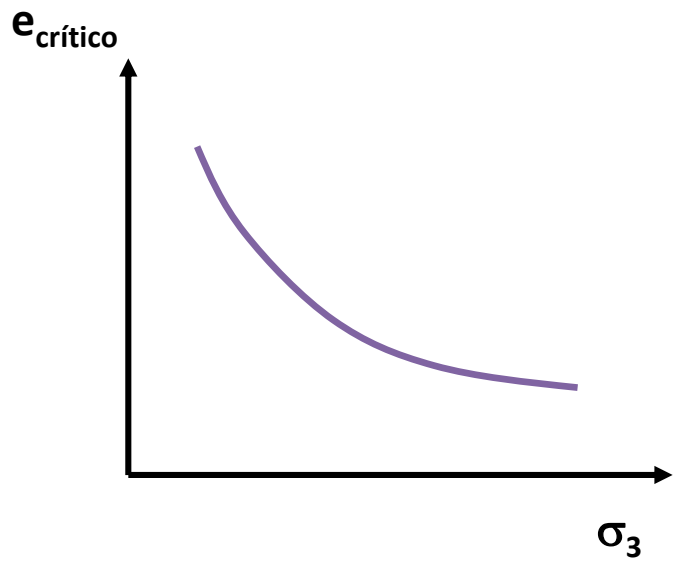
Mesma areia
 σ_3^* menor (cte todos os ensaios)
 e_{inicial} variável



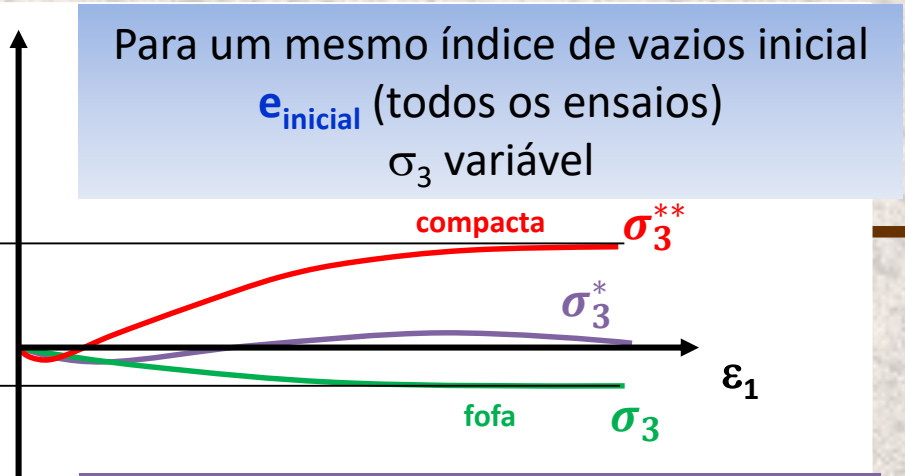
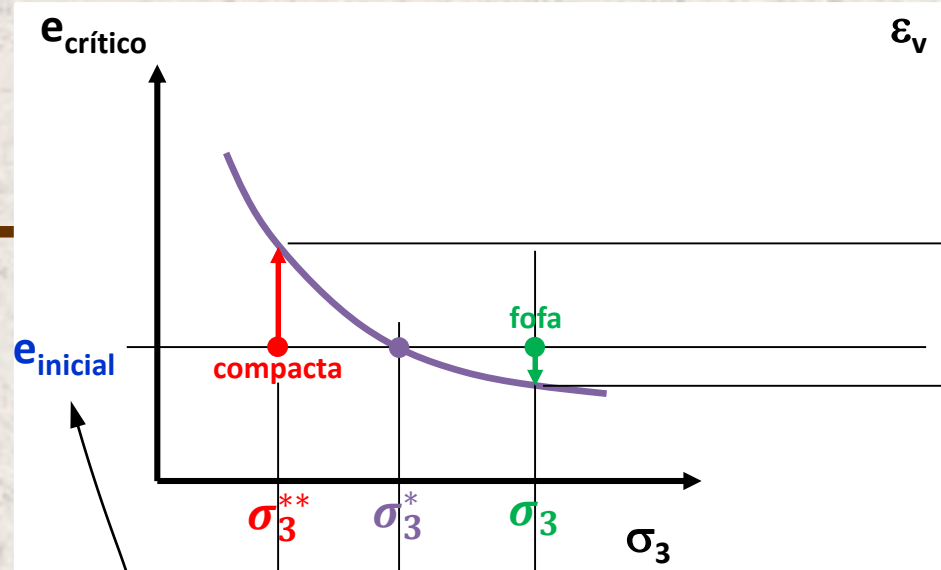
Mesma areia
 σ_3^* menor (cte todos os ensaios)
 e_{inicial} variável

Mesma areia
dada σ_3 (cte em todos os ensaios)
 e_{inicial} - variável

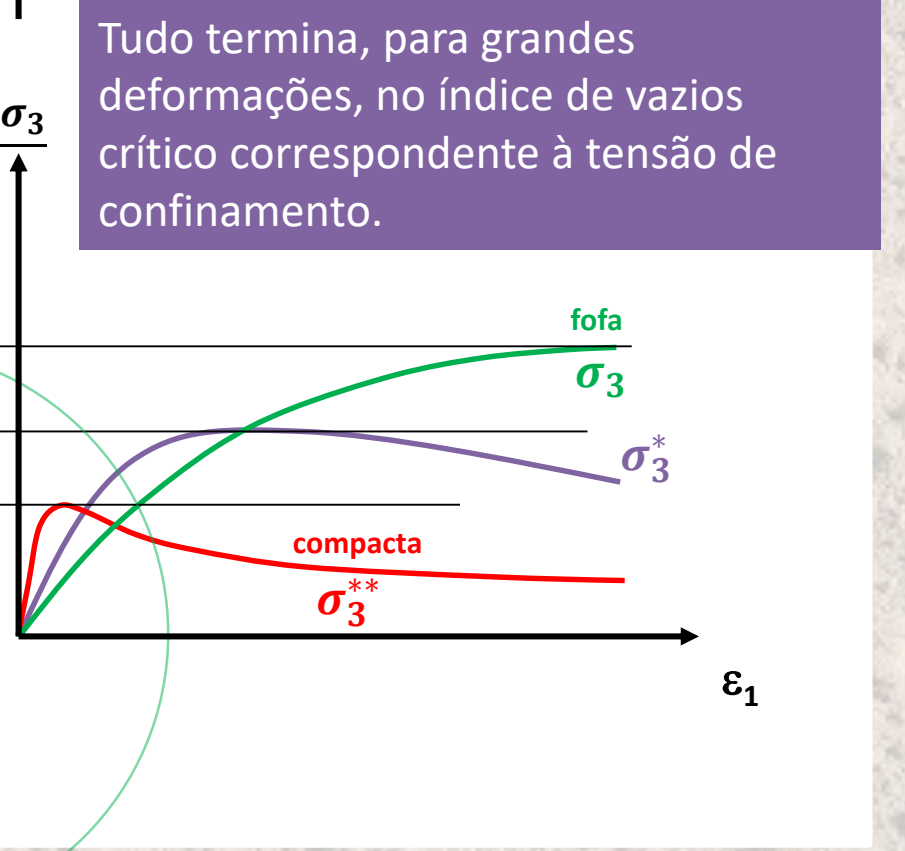
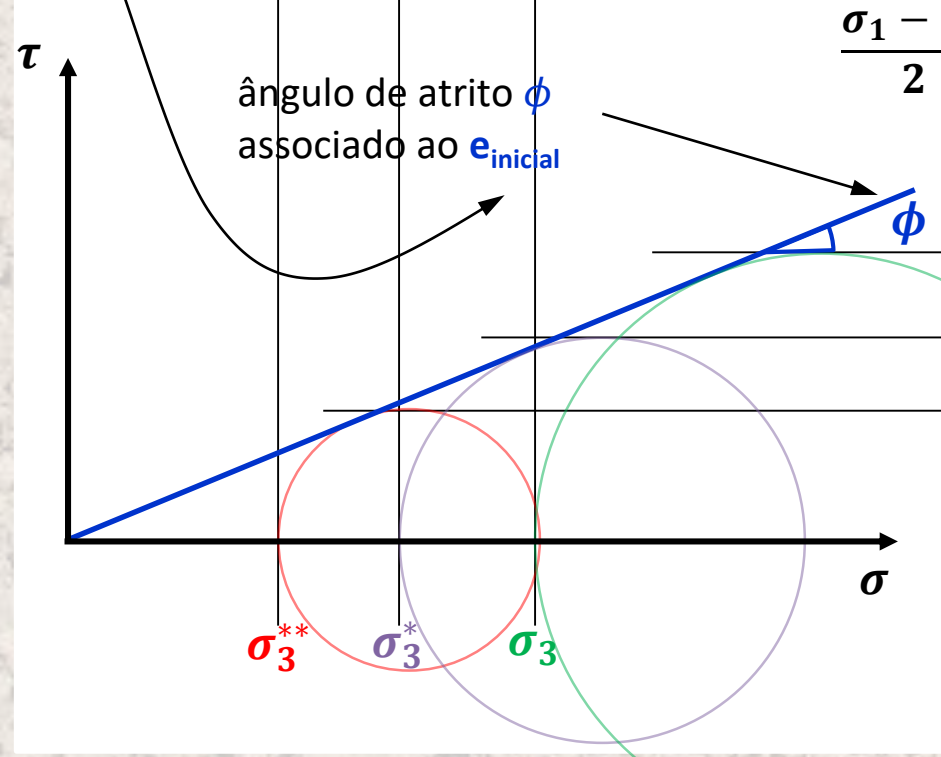


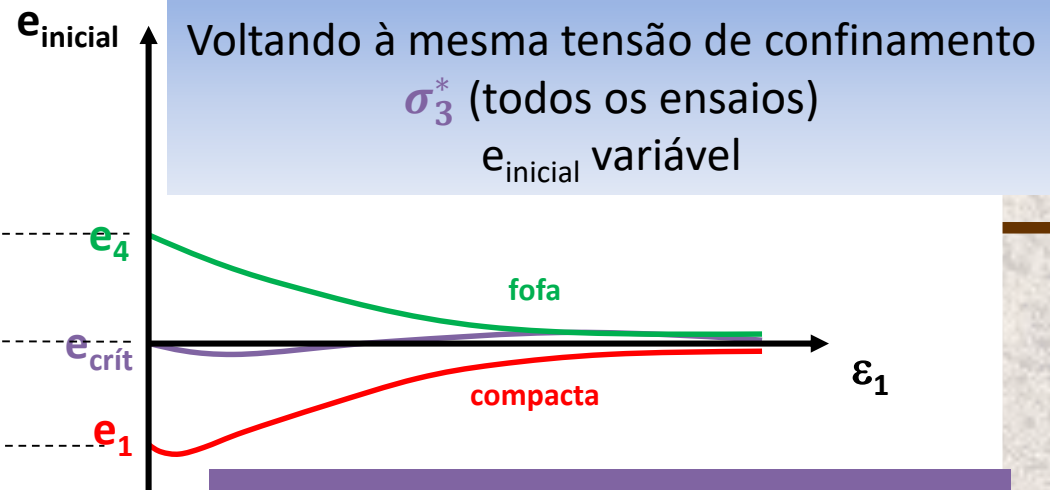
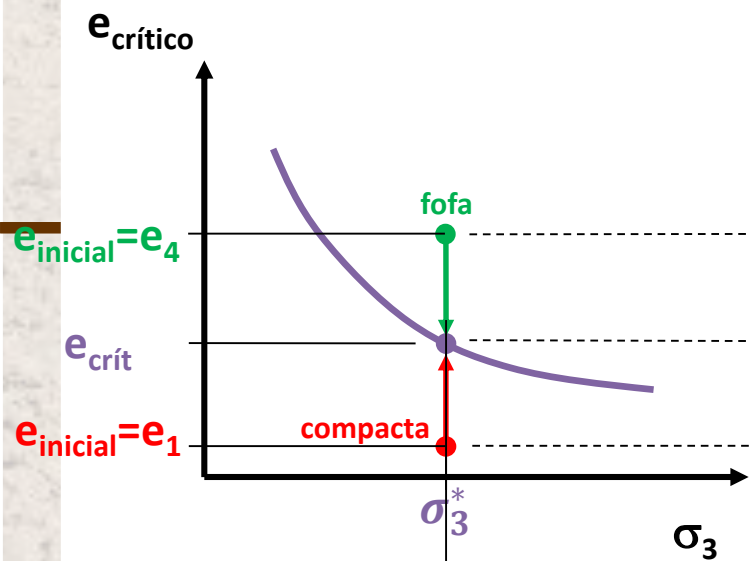


Para um mesmo índice de vazios inicial $e_{inicial}$ (todos os ensaios) σ_3 variável

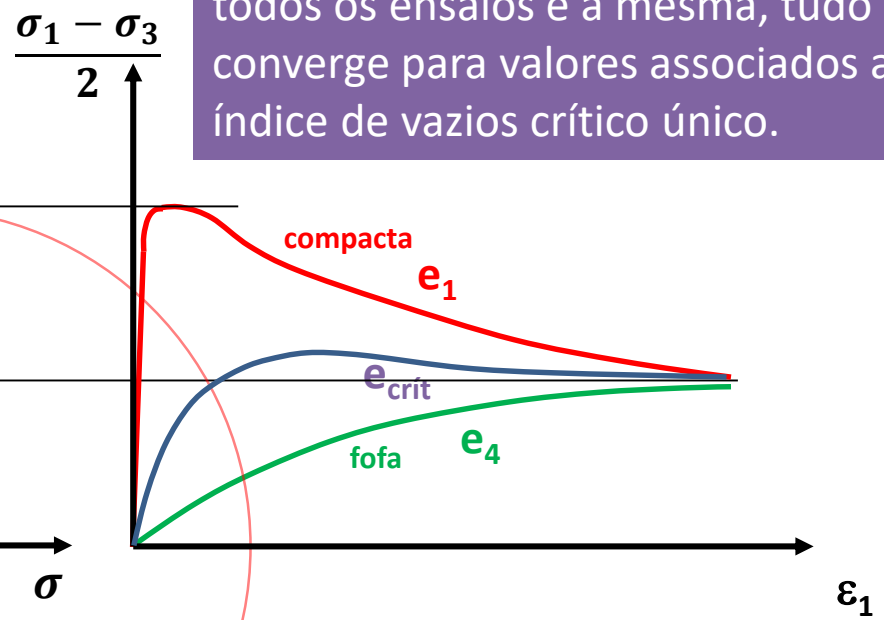
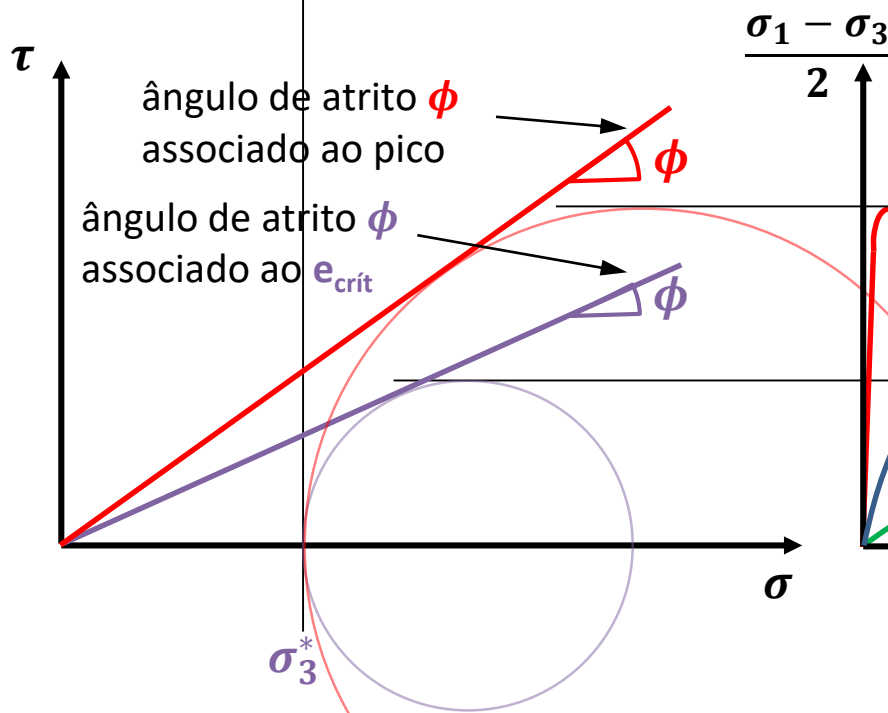


Tudo termina, para grandes deformações, no índice de vazios crítico correspondente à tensão de confinamento.





Quando a tensão de confinamento de todos os ensaios é a mesma, tudo converge para valores associados ao índice de vazios crítico único.



Índice de Vazios Crítico - Importância

- Areias finas com $e > e_{\text{critico}}$
- Impossibilidade de drenagem

• Solicitação de vibrações

LIQUEFAÇÃO

- Tremores de terra
- Impactos elevados
- Fundações de equipamentos

Exemplo 4

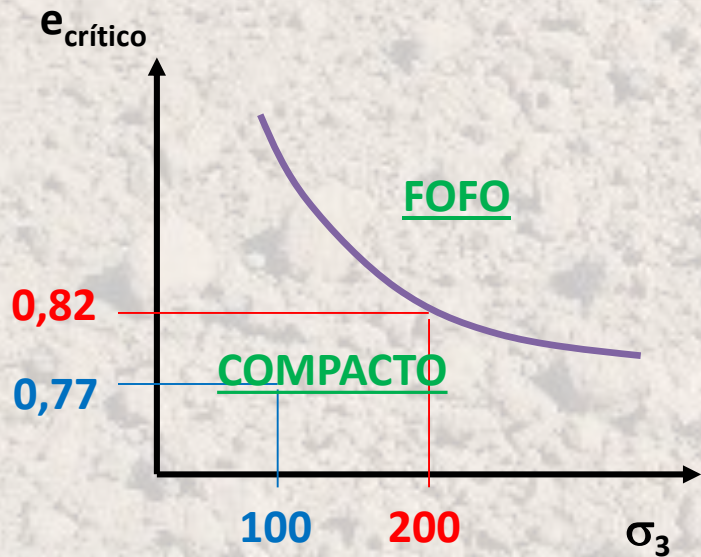
Exercício 13.3 Uma areia média, de grãos angulares, de compacidade média, apresenta $e_{\min} = 0,67$ e $e_{\max} = 1,03$. Foi determinado, por uma série de ensaios triaxiais drenados, com pressão confinante de 200 kPa, um índice de vazios crítico de 0,82. Preparou-se, a seguir, outro corpo de prova, com índice de vazios igual a 0,77, e, com ele, será realizado um ensaio triaxial drenado, com pressão confinante de 100 kPa. Escolha uma das opções abaixo e justifique:

- Pode-se afirmar que, na ruptura, o corpo de prova terá diminuído de volume.
- Pode-se afirmar que, na ruptura, o corpo de prova terá se dilatado.
- Com os dados disponíveis, não é possível afirmar se o corpo de prova irá se dilatar ou se comprimir durante o carregamento.

Exemplo 4

Exercício 13.3 Uma areia média, de grãos angulares, de compactidade média, apresenta $e_{\min} = 0,67$ e $e_{\max} = 1,03$. Foi determinado, por uma série de ensaios triaxiais drenados, com pressão confinante de 200 kPa, um índice de vazios crítico de 0,82. Preparou-se, a seguir, outro corpo de prova, com índice de vazios igual a 0,77, e, com ele, será realizado um ensaio triaxial drenado, com pressão confinante de 100 kPa. Escolha uma das opções abaixo e justifique:

- a) Pode-se afirmar que, na ruptura, o corpo de prova terá diminuído de volume.
- b) Pode-se afirmar que, na ruptura, o corpo de prova terá se dilatado.
- c) Com os dados disponíveis, não é possível afirmar se o corpo de prova irá se dilatar ou se comprimir durante o carregamento.



Ensaio 1:

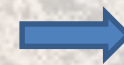
$\sigma_3 = 200$ kPa

$e_{\text{crítico}} = 0,82$ kPa

Ensaio 2:

$\sigma_3 = 100$ kPa

$e = 0,77$



Dilatar