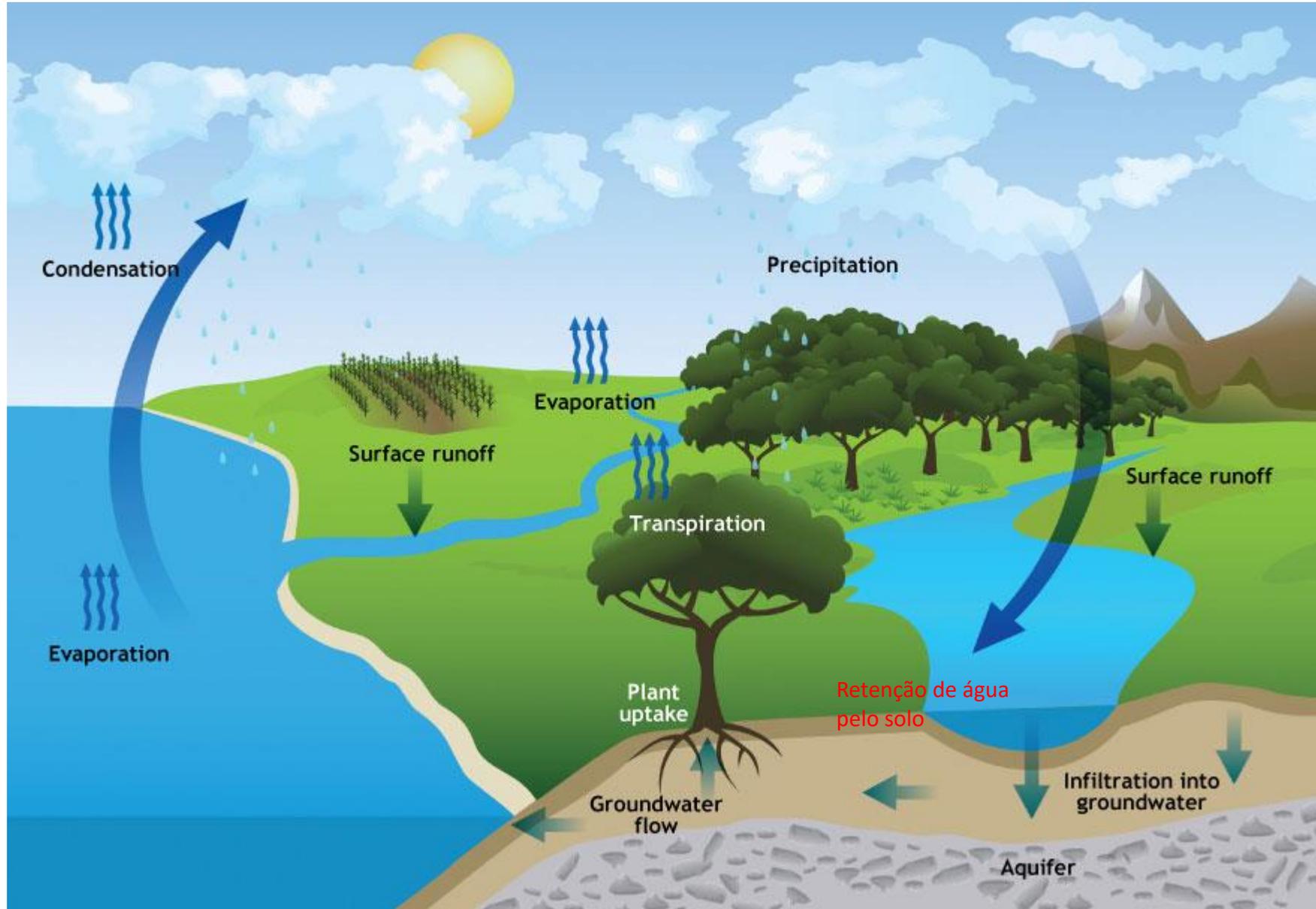


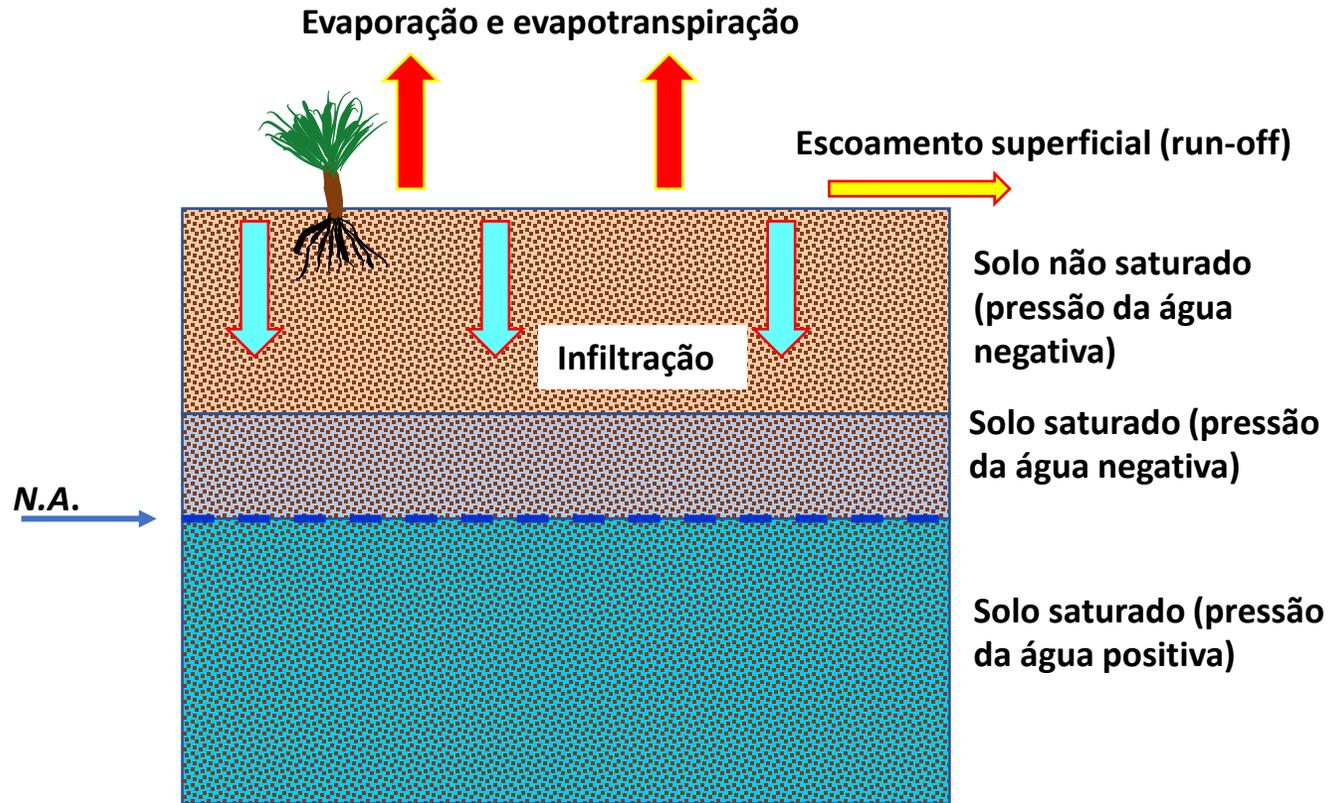
Água nos Solos

Princípio das Tensões Efetivas

O ciclo da água

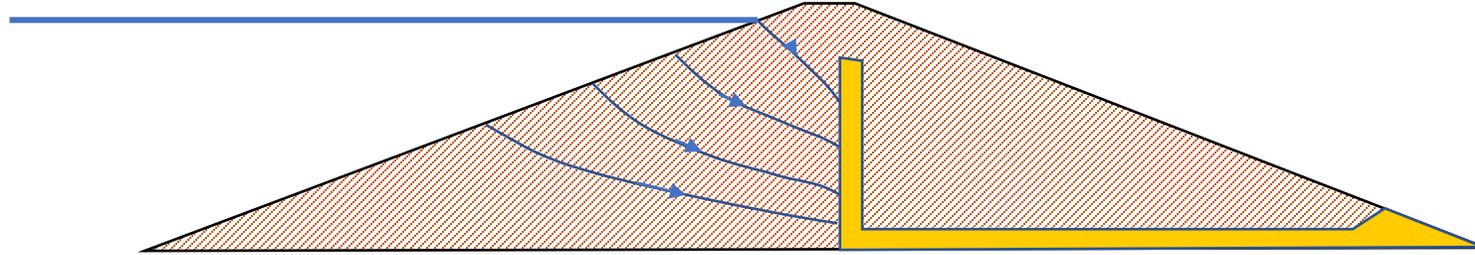


A água no solo

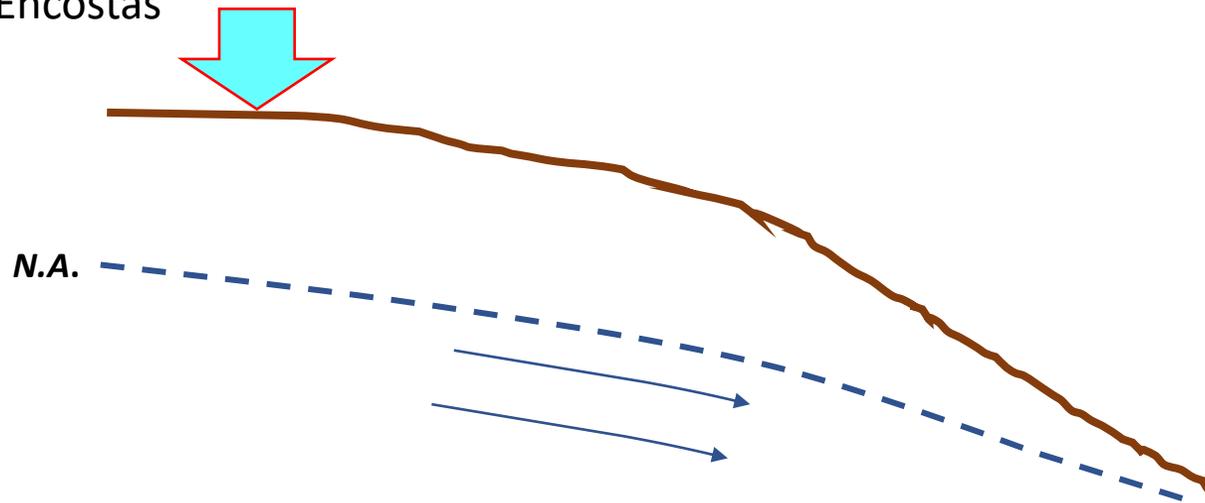


A água no solo

Barragens

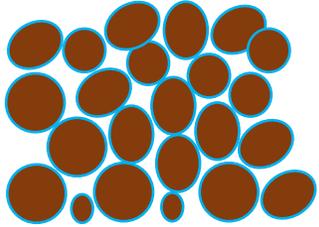


Encostas

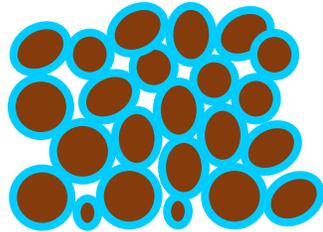


A água no solo

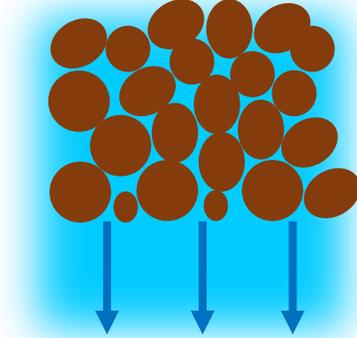
Água higroscópica



Água capilar



Água gravitacional

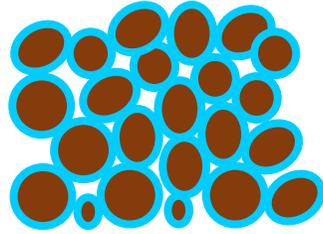


Ponto de murchamento

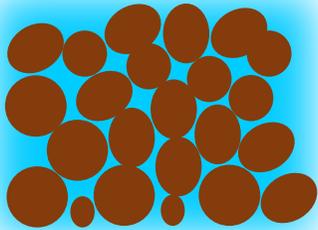
Capacidade de campo



A água no solo



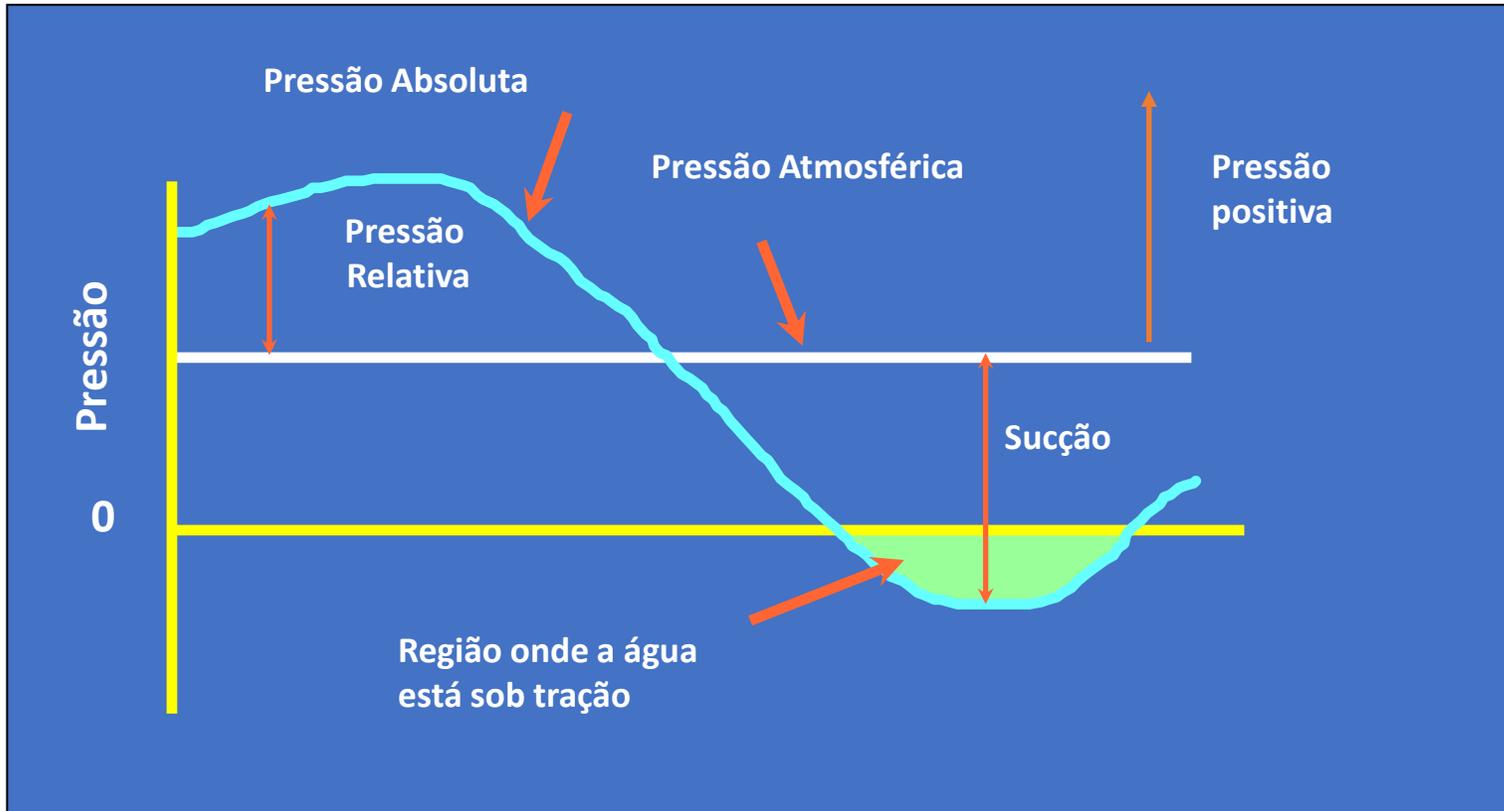
$S < 100\%$



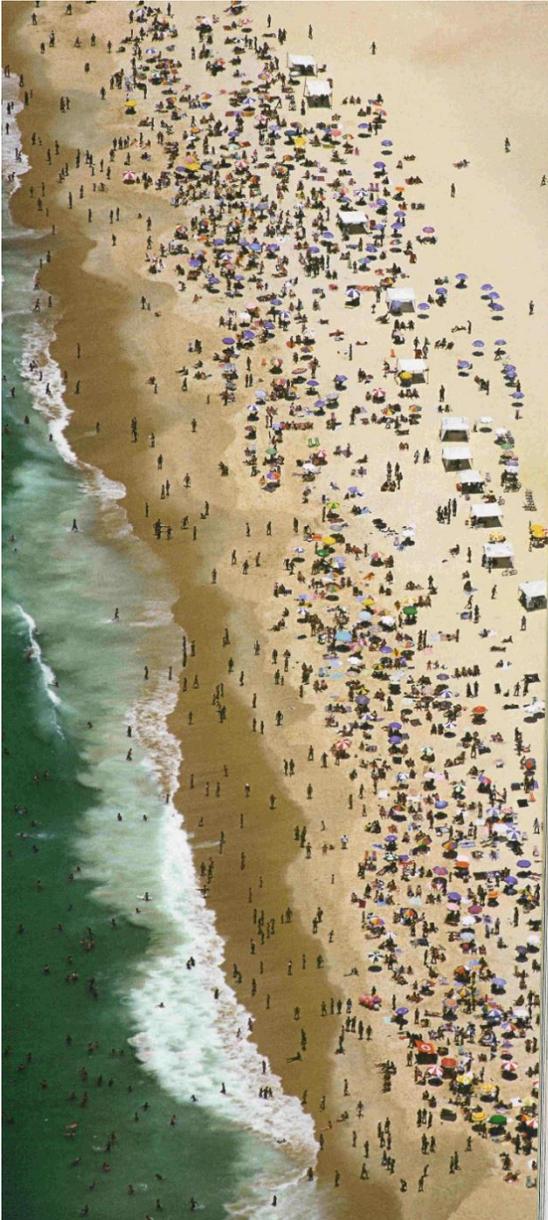
$S = 100\%$

$$S_e = wG$$

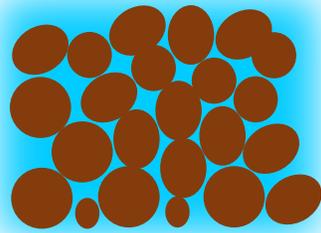
Pressão na água



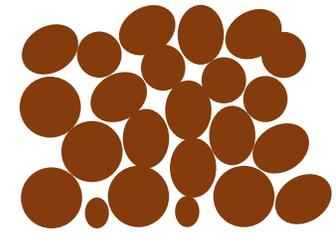
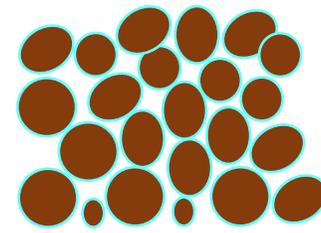
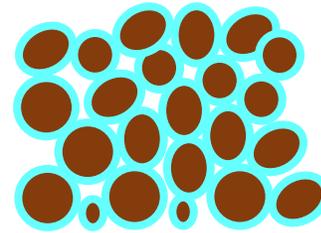
Capilaridade, Retenção de Água e Resistência



Saturado



Seco

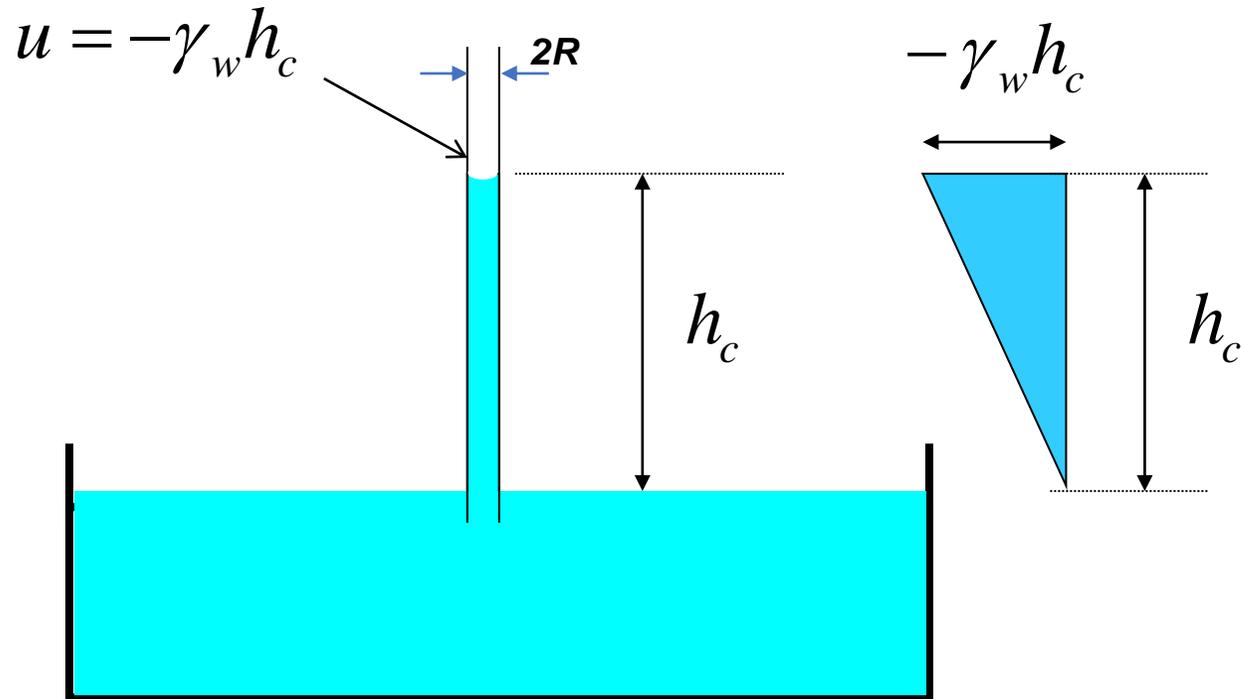


Capilaridade

- A adesão e a tensão superficial juntas causam o fenômeno da capilaridade
- Capilaridade é um movimento que ocorre em qualquer direção
- A altura de ascensão capilar é diretamente proporcional a tensão superficial do líquido e a adesão com a superfície sólida, mas inversamente proporcional ao raio do tubo e densidade do líquido

Pressão negativa da água (Sucção)

Ascensão Capilar

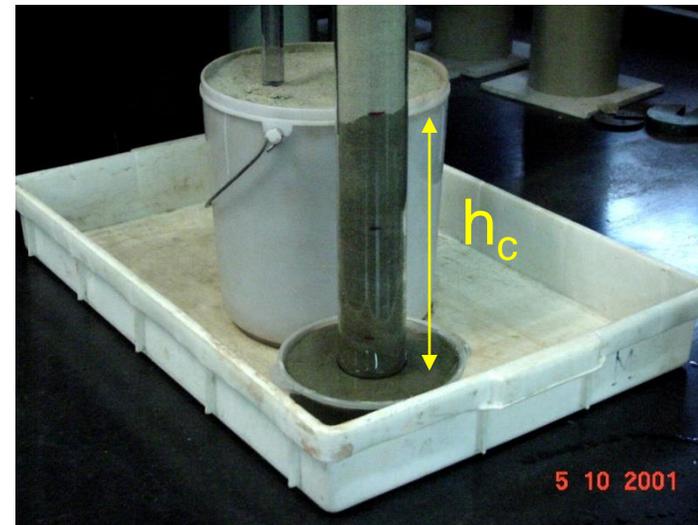
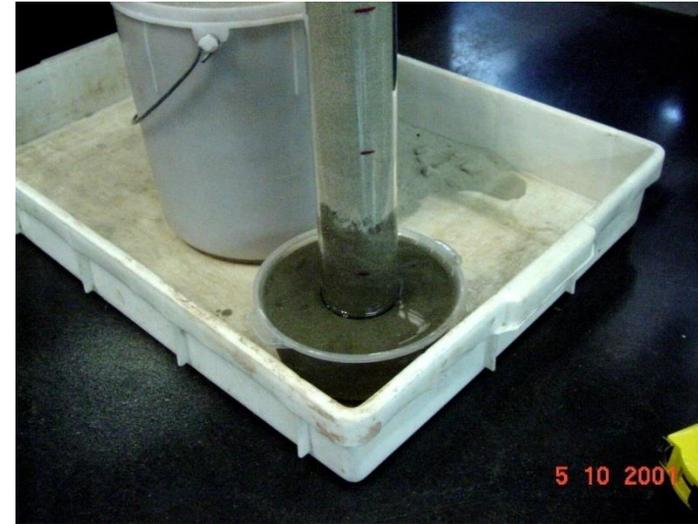


$$h_c = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho_w g r}$$

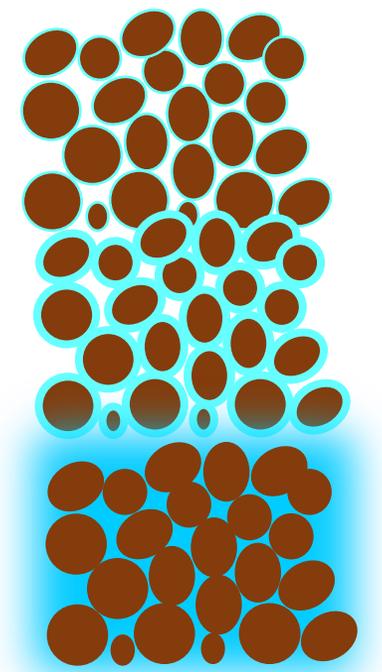
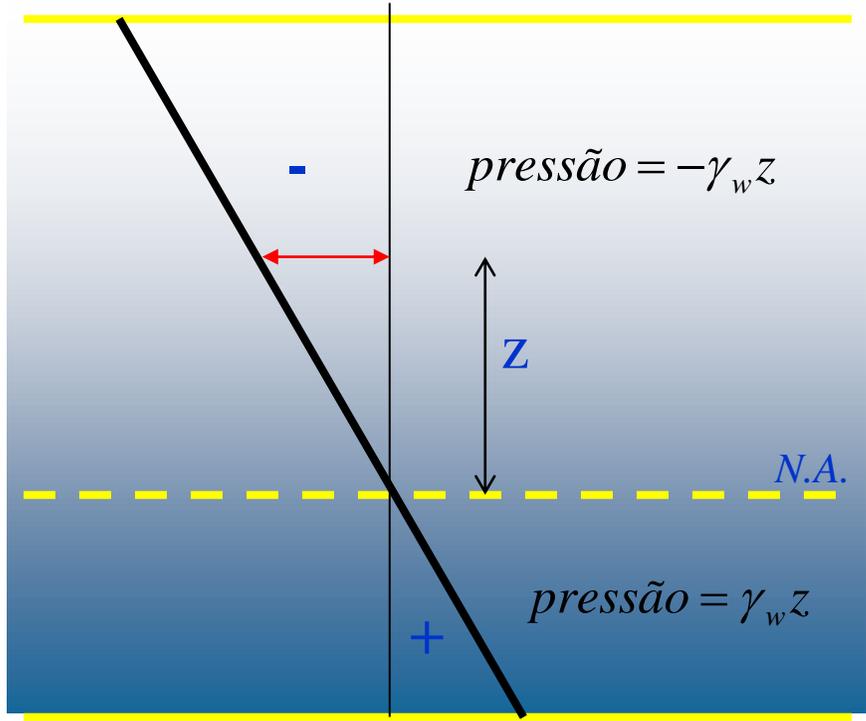
$$h_c = \frac{2T_s}{\gamma_w R}$$

Pressão negativa da água (Sucção)

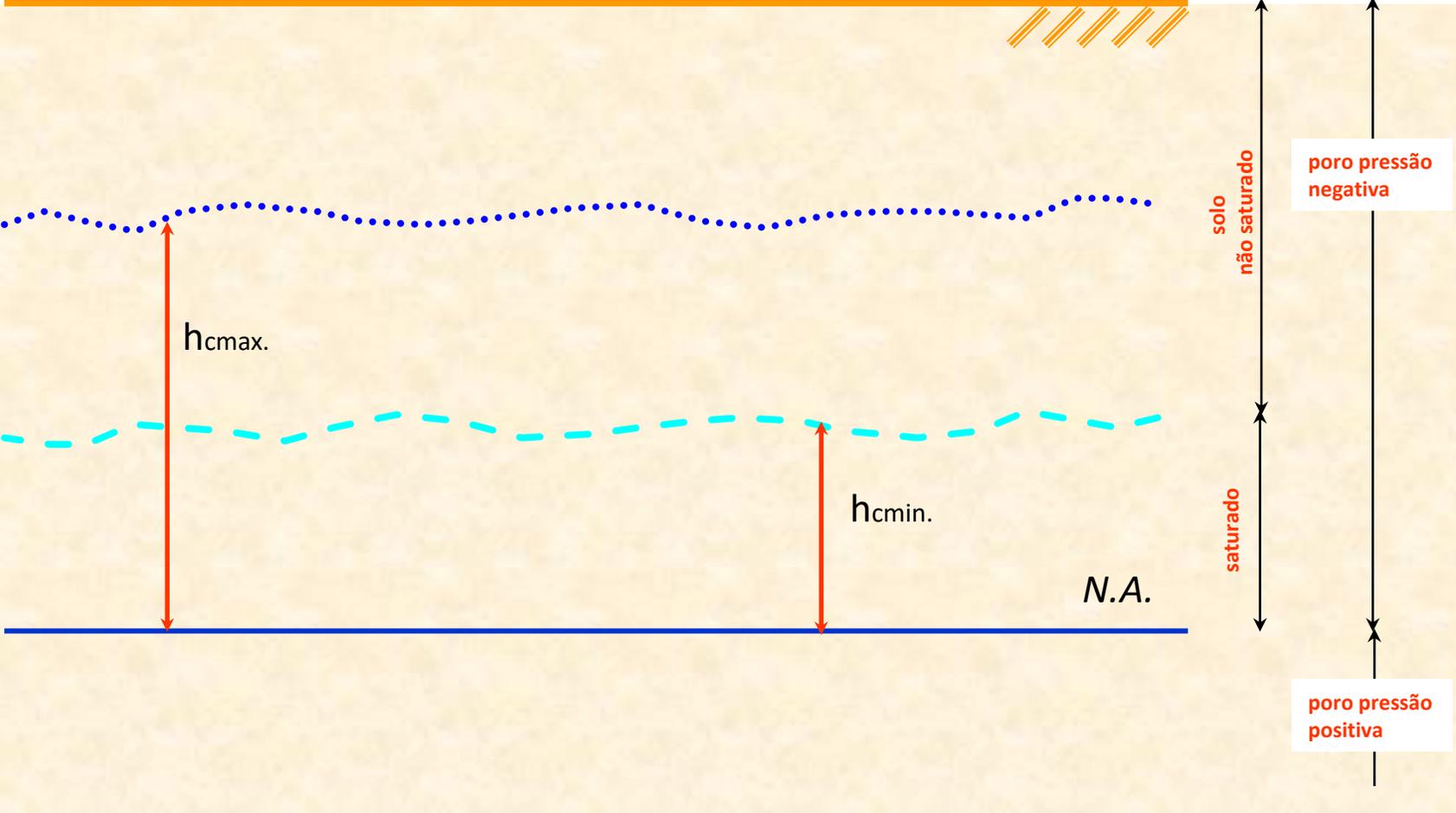
Ascensão Capilar



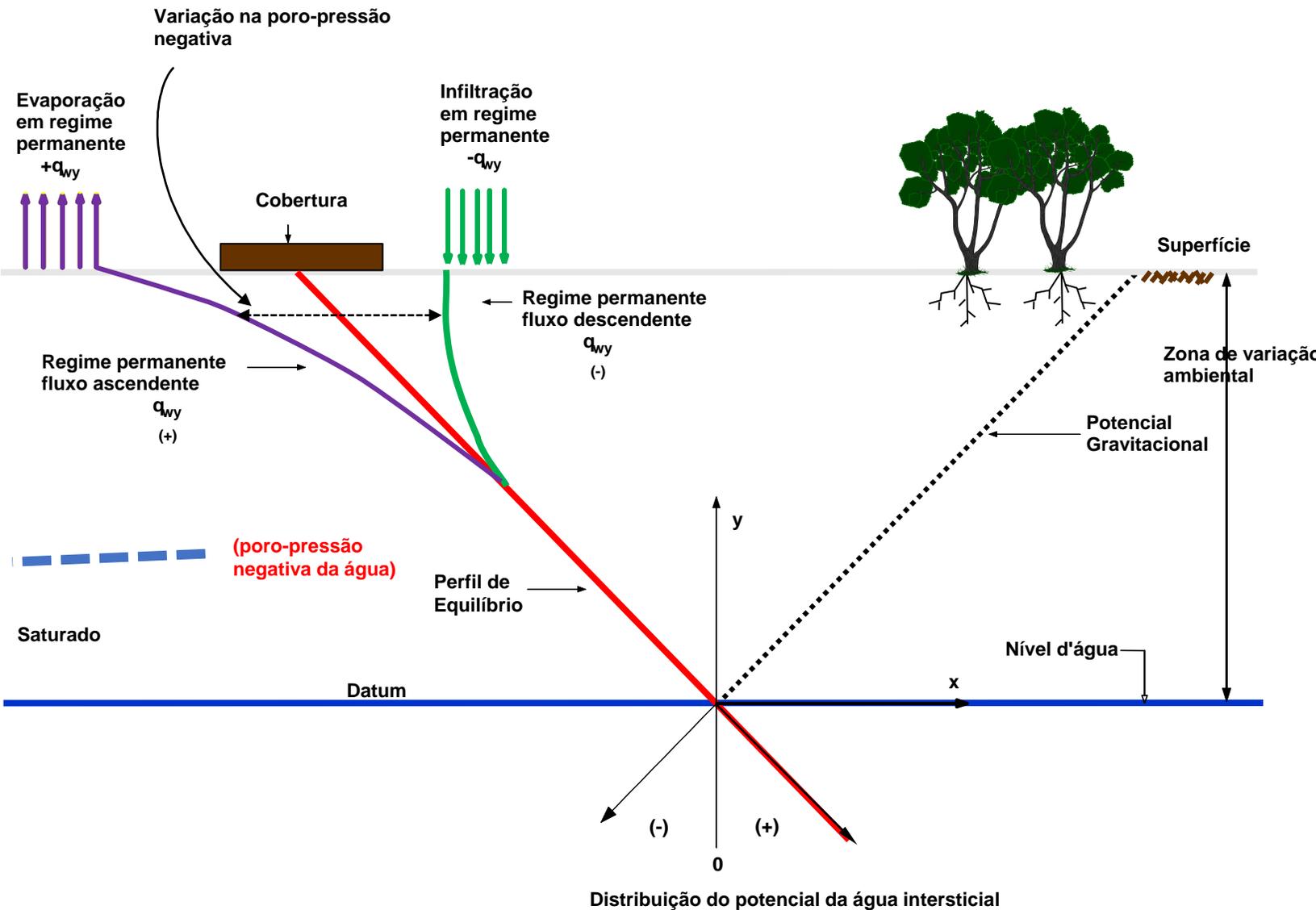
Água armazenada em equilíbrio
Sem fluxo (sem infiltração ou evaporação)



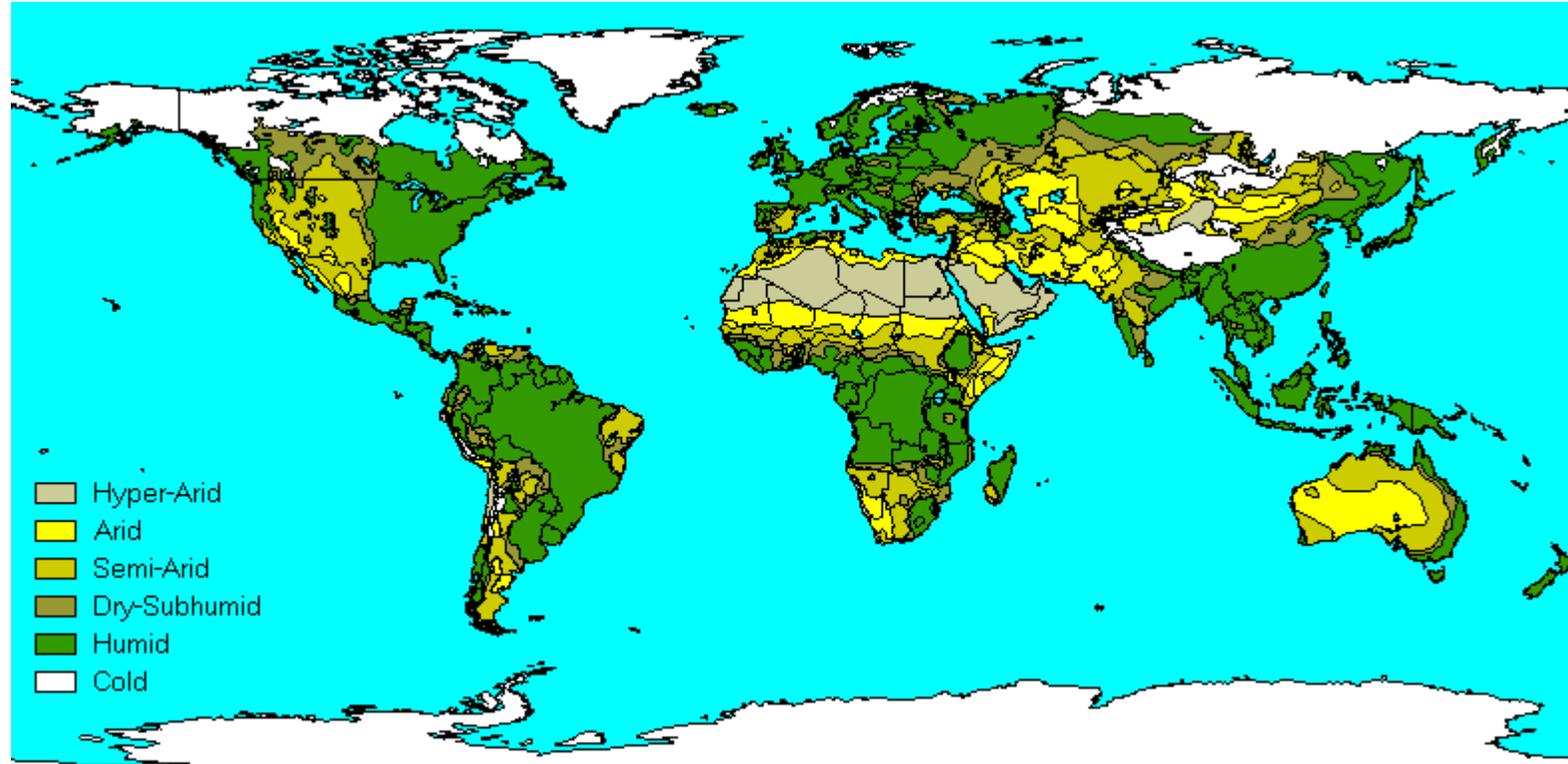
A Zona Vadosa



Perfis de sucção



Climas da Terra



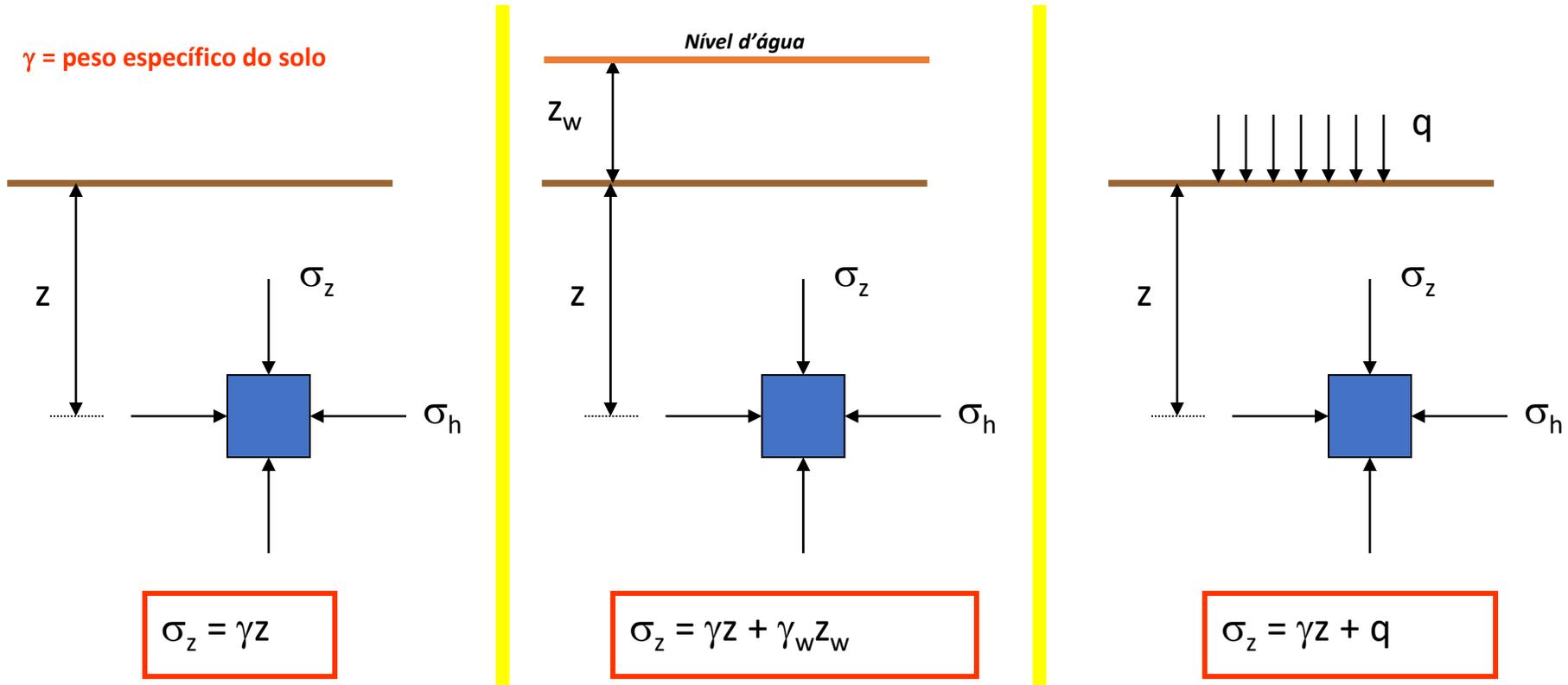
Água



Solo Saturado

Tensões no Solo

- No solo a tensão vertical em uma determinada profundidade é devida ao peso de tudo que se encontra acima.
- Ou seja, grãos de solo, água, fundações.
- Desta forma, a tensão normalmente aumenta com a profundidade.



Tensões no Solo

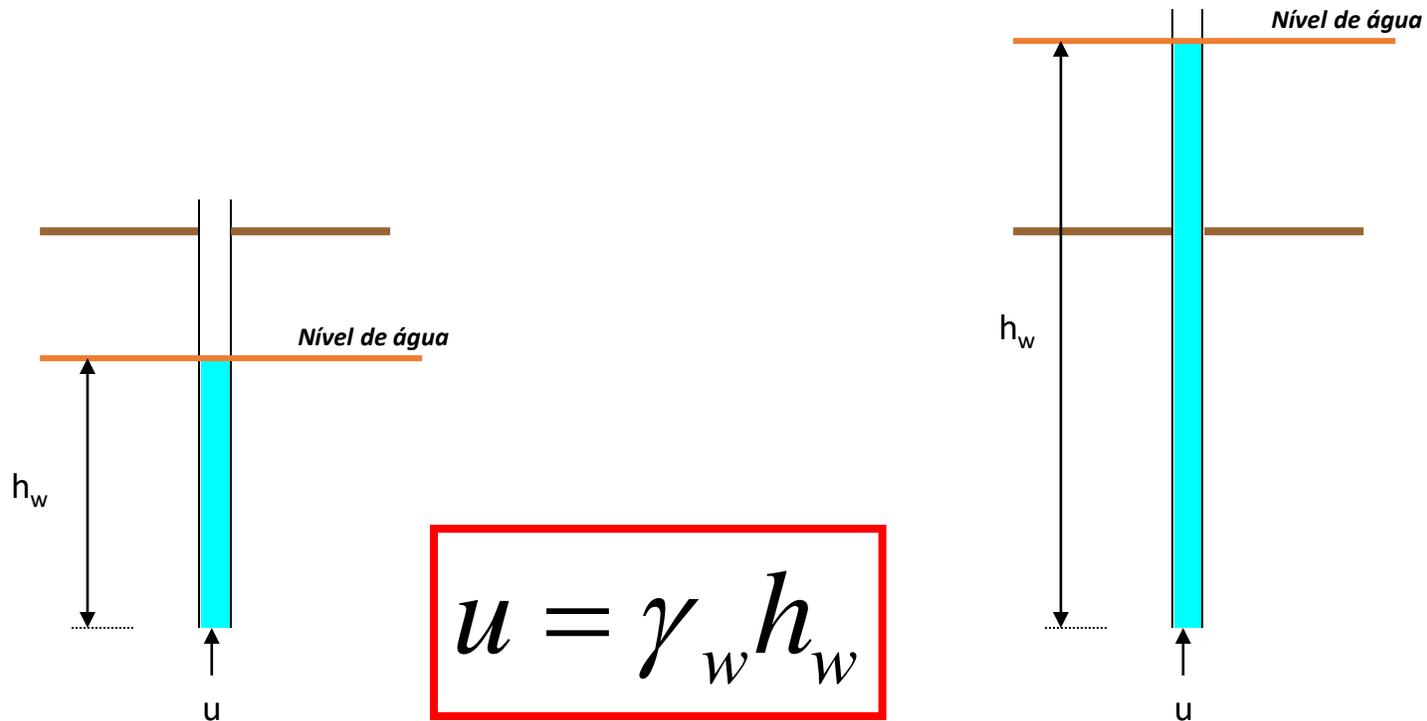
- ✓ Lembre-se que γ é o peso de tudo (solo e água) por unidade de volume.
- ✓ Como σ_z advém do peso total do solo ele é conhecido como tensão total.
- ✓ Note que a água no “lago” mostrado anteriormente aplica uma tensão total na superfície do solo da mesma forma que a água aplica uma tensão na base de um copo de água.
- ✓ O peso específico de solos varia aproximadamente entre 20kN/m^3 para um solo saturado e 16kN/m^3 para um solo seco. E o peso específico da água vale 10kN/m^3 .
- ✓ Existem também as tensões horizontais σ_h , mas não existe uma relação simples entre σ_z e σ_h .

Tensões no Solo



Água no solo e pressão da água

- A água nos poros de um solo saturado possui uma pressão conhecida como pressão da água de poro ou pressão neutra (u).



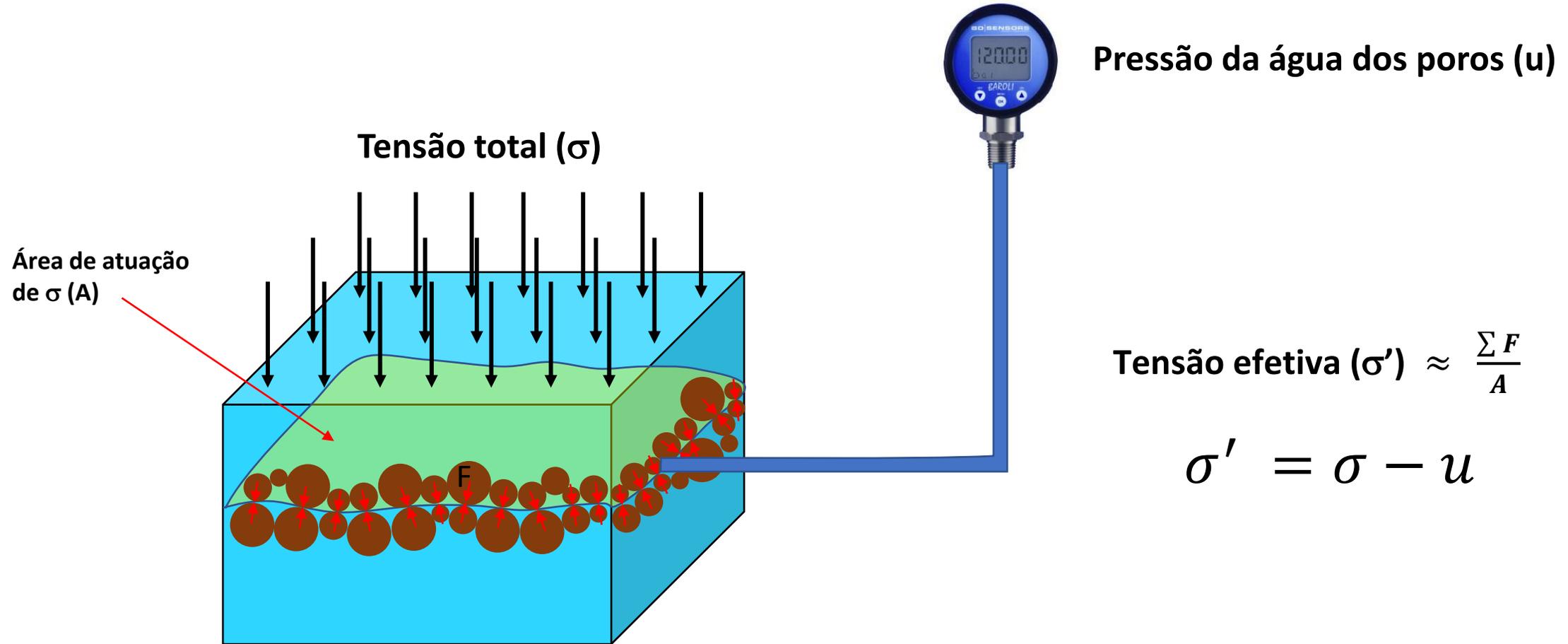
Tensões no Solo

Tensão Efetiva

- Sabe-se que a movimentação do solo e a instabilidade dele pode ser causada por mudanças na tensão total, devida as cargas de fundações ou escavações em geral.
- No entanto, não é tão obvio que os movimentos do solo possam ser devido às variações de poro pressão (pressão neutra).
- Desta forma, se existe indução de deformação por mudança na tensão total ou da poro pressão, existe a possibilidade do comportamento do solo ser governado por uma combinação entre σ e u .
- Esta combinação é conhecida como tensão efetiva (σ'), por que ela é efetiva em determinar o comportamento do solo.
- O princípio das tensões efetivas foi estabelecido por Terzaghi em 1923.

$$\sigma' = \sigma - u$$

Tensão Efetiva



Por que a tensão efetiva é importante?

Porque todos os efeitos mensuráveis devido a mudança de tensão são exclusivamente devidos a mudanças na tensão efetiva

Os efeitos são:

- **Compressão (variação de volume devido a tensão normal)**
- **Distorção (mudança de forma devido a tensão cisalhante)**
- **Mudança na resistência**

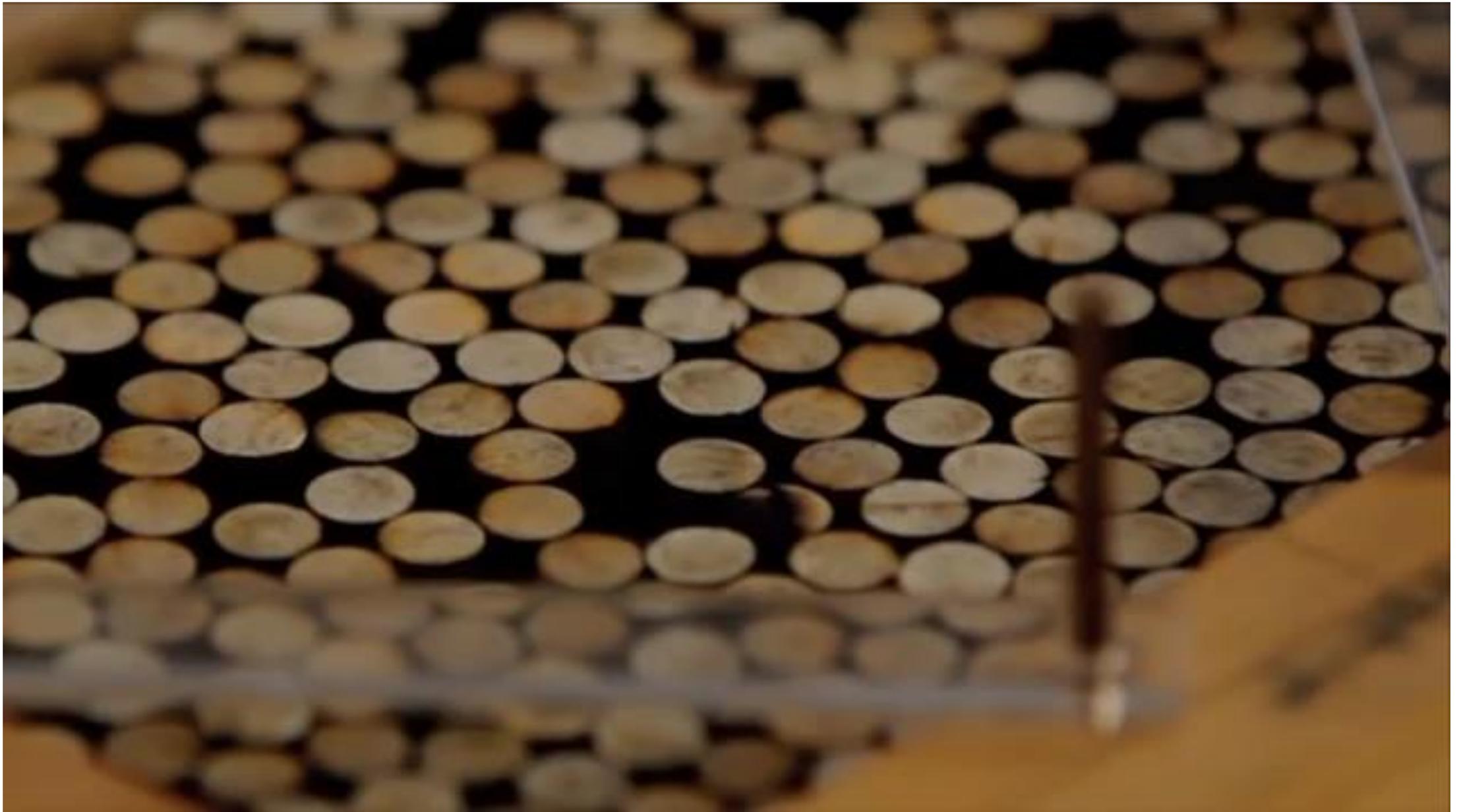
Algumas hipóteses

Assume-se que para o nível de tensão usual da engenharia, aproximadamente 700kPa, a água e as partículas sólidas são incompressíveis e o ar altamente compressível.

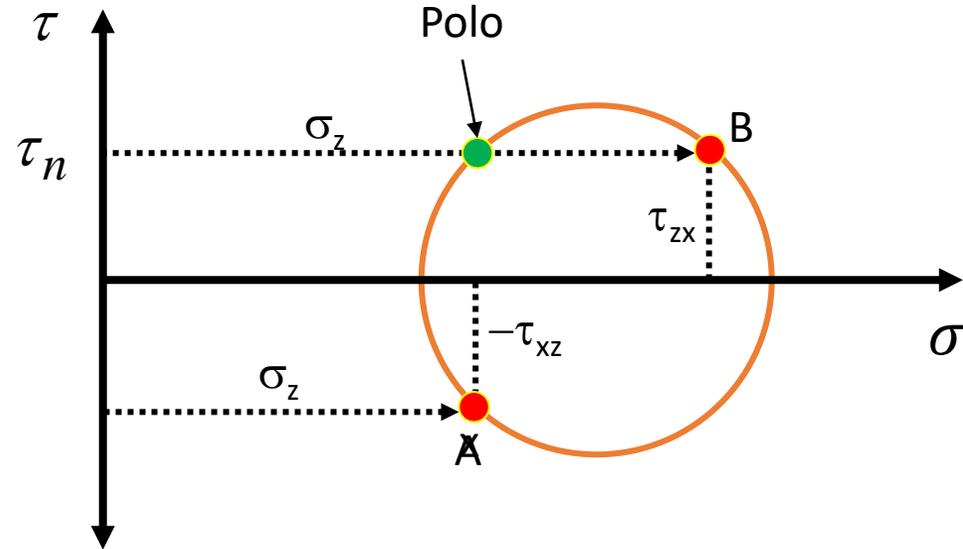
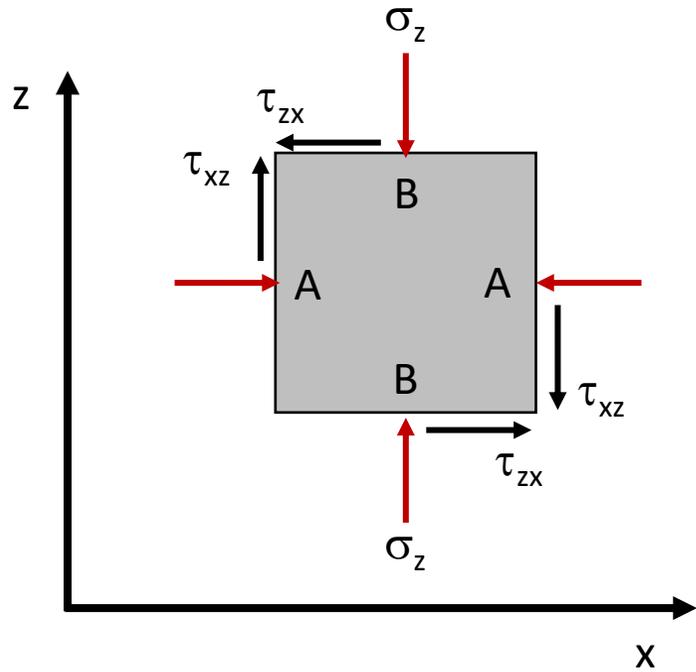
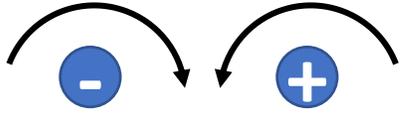
A compressibilidade e resistência do “esqueleto” sólido como uma massa, dependem das propriedades das partículas, da estrutura do “esqueleto” e da história de tensões.

O movimento da água e sua consequência

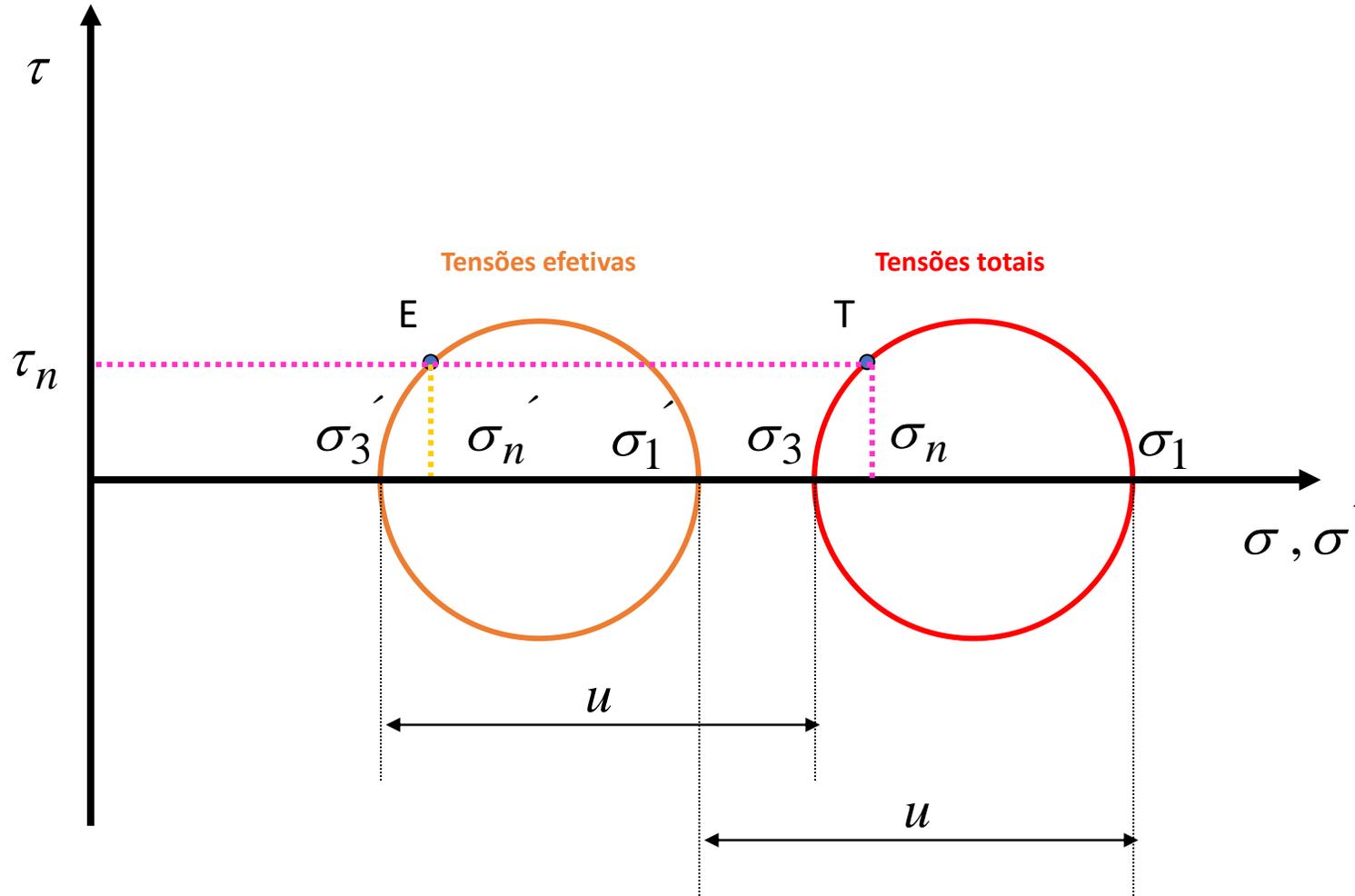
- O solo saturado só pode variar de volume se a água sair ou entrar nos poros.
- Se não se permite que um solo saturado mude seu volume de água intersticial o mesmo não poderá mudar de volume. Isto chama-se condição não drenada.
- Sob estas condições de carregamento (não drenado) a reação do solo é: mudar a pressão da água (positiva ou negativa). Isto acontece para compensar a mudança de tensão.
- Se por outro lado é permitida a drenagem ou absorção da água nos poros o carregamento é chamado drenado.
- Nos solos não saturados e secos pode haver mudanças de volume sem ganho ou perda de água.



Estado de tensões no solo

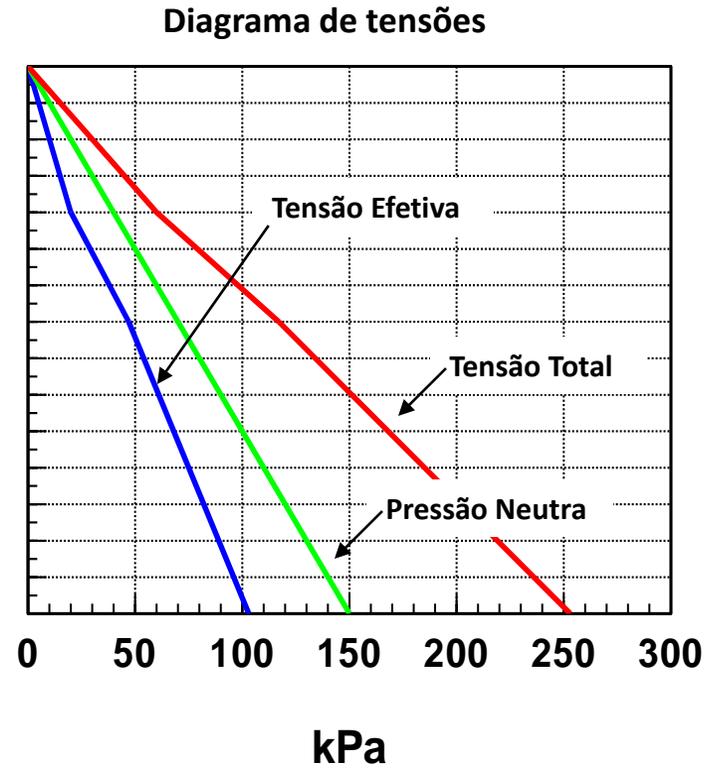
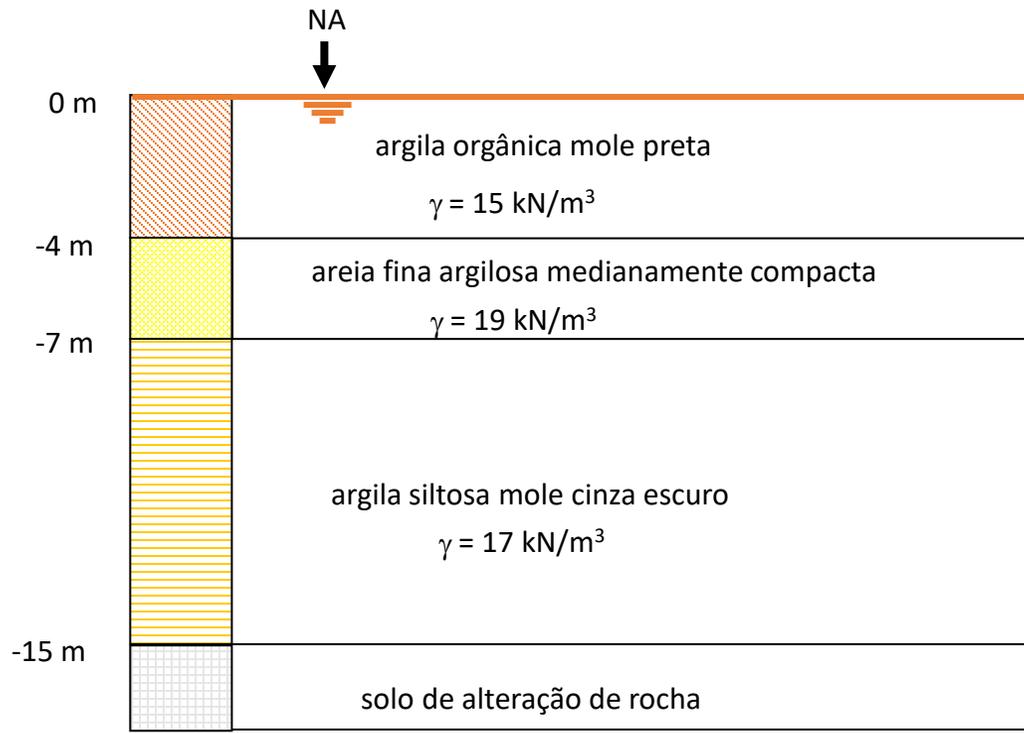


Estado de tensões no solo



$$\sigma' = \sigma - u$$

Tensões no Solo



Exemplo para a cota -7m

$$\sigma = 15 * 4 + 19 * 3 = 117 \text{ kPa}$$

$$u = 10 * 7 = 70 \text{ kPa}$$

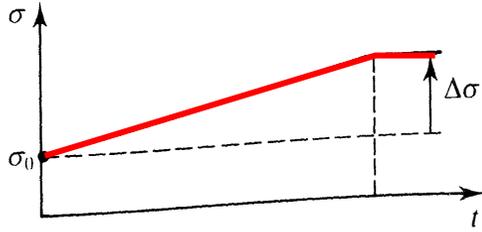
$$\sigma' = \sigma - u = 47 \text{ kPa}$$

Tensões no solo durante a execução de um aterro

Barragem Los Vaqueros

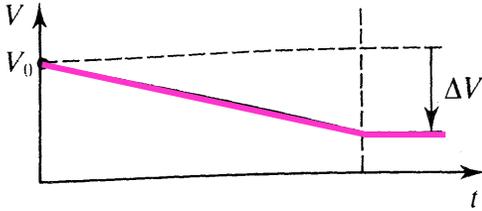


Comportamento Drenado



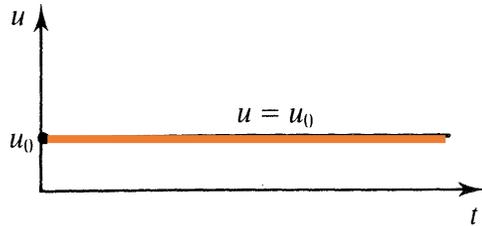
(a)

Carregamento – tensões totais



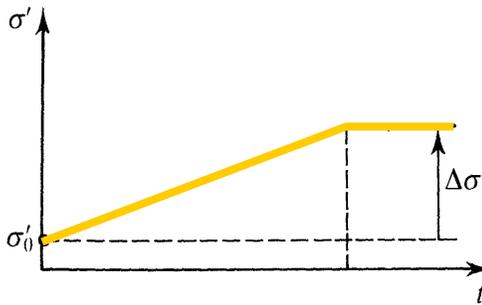
(b)

Variação de volume



(c)

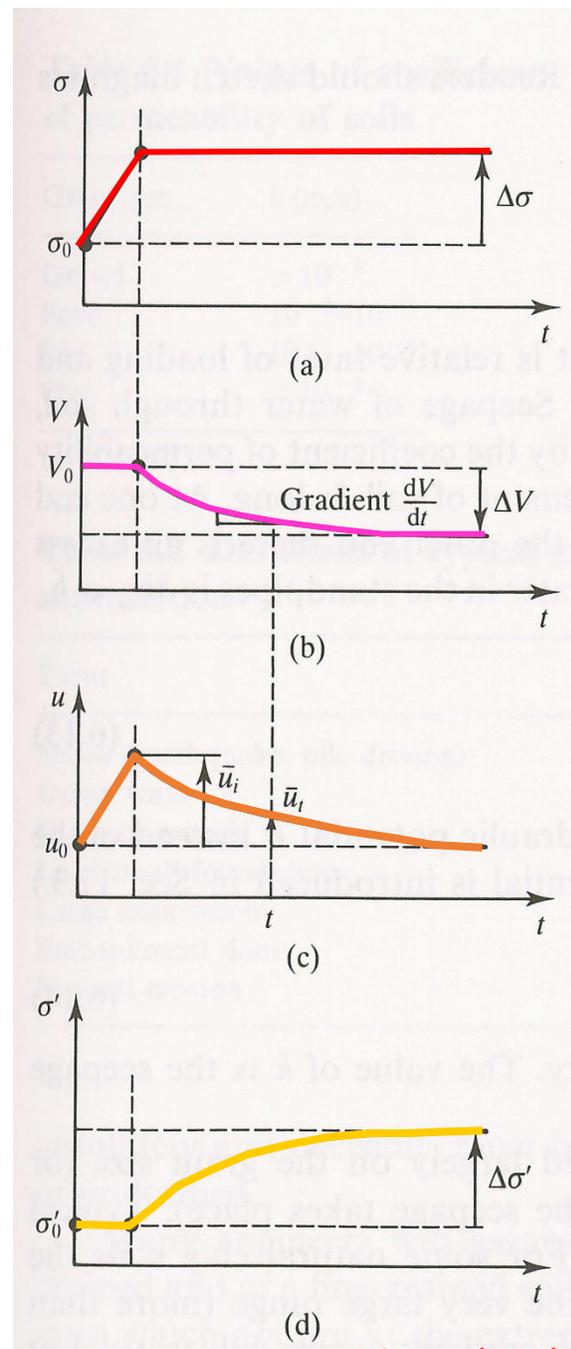
Desenvolvimento de pressão neutra



(d)

Variação de tensão efetiva

Comportamento Não Drenado



Carregamento – tensões totais

Varição de volume

Desenvolvimento de pressão neutra

Varição de tensão efetiva