

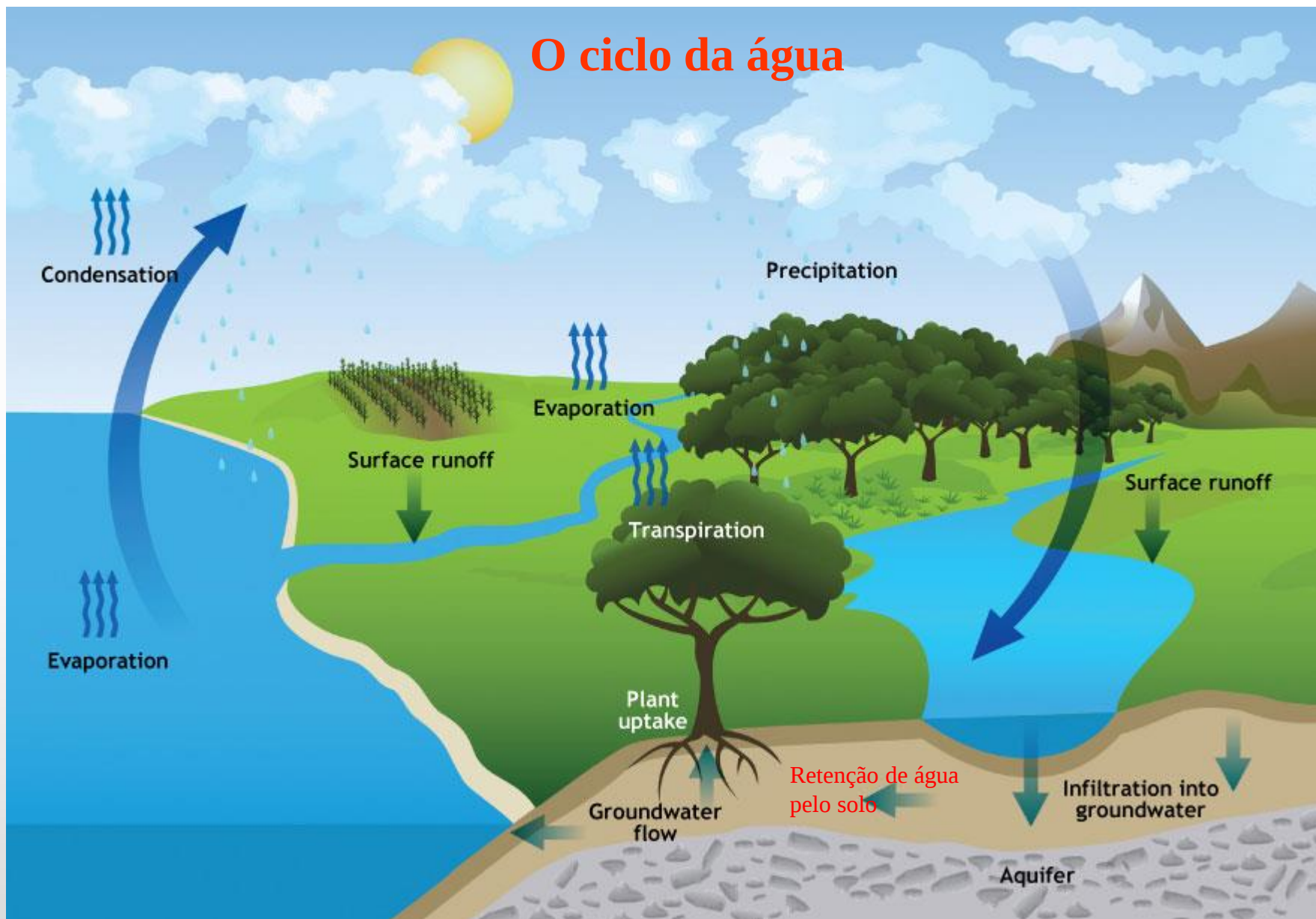
Princípios de Geomecânica

Água nos Solos

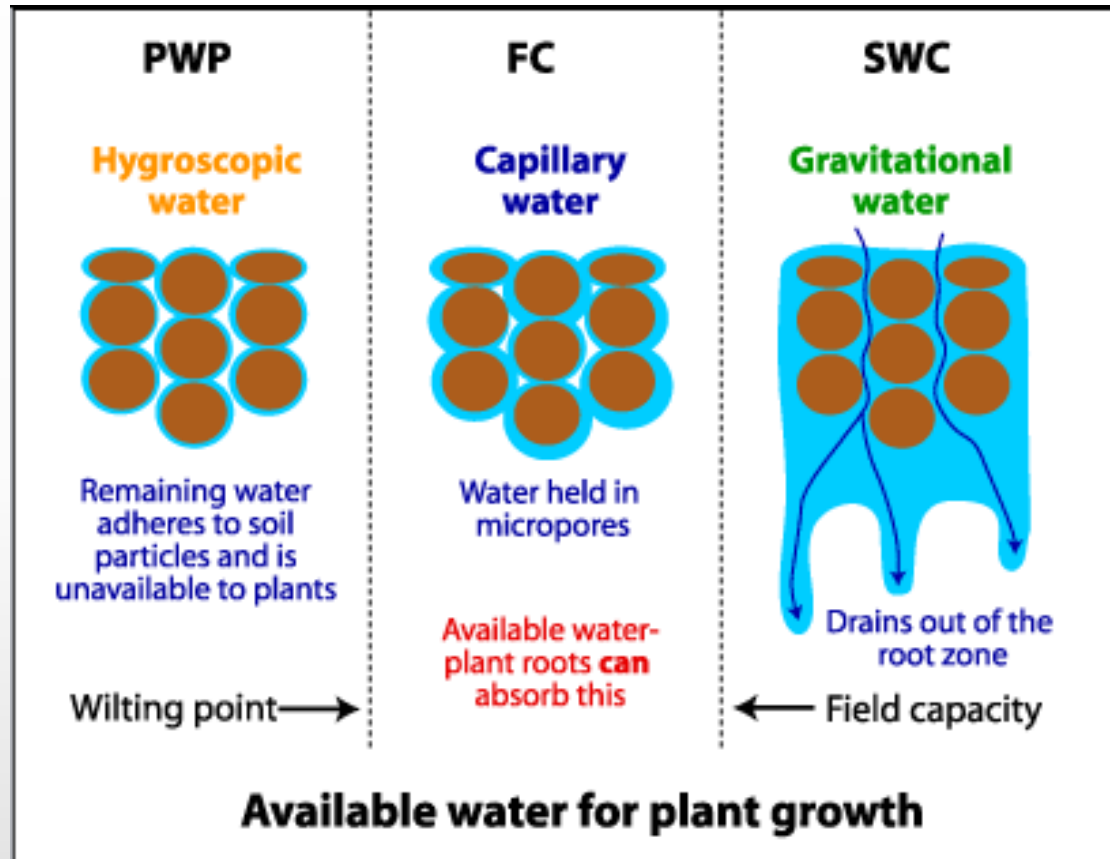
Princípio das Tensões Efetivas

Prof. Fernando A. M. Marinho

O ciclo da água

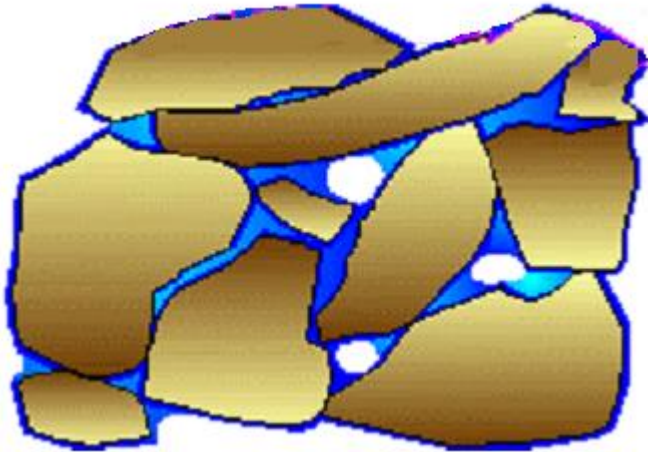


A água no solo

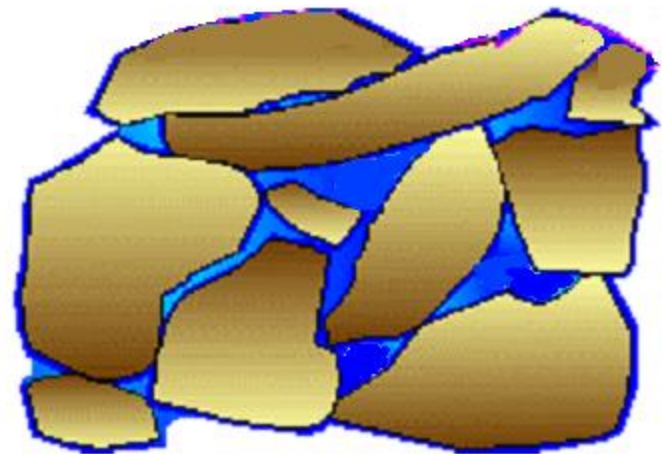


$$Se = wG$$

$$S < 100\%$$

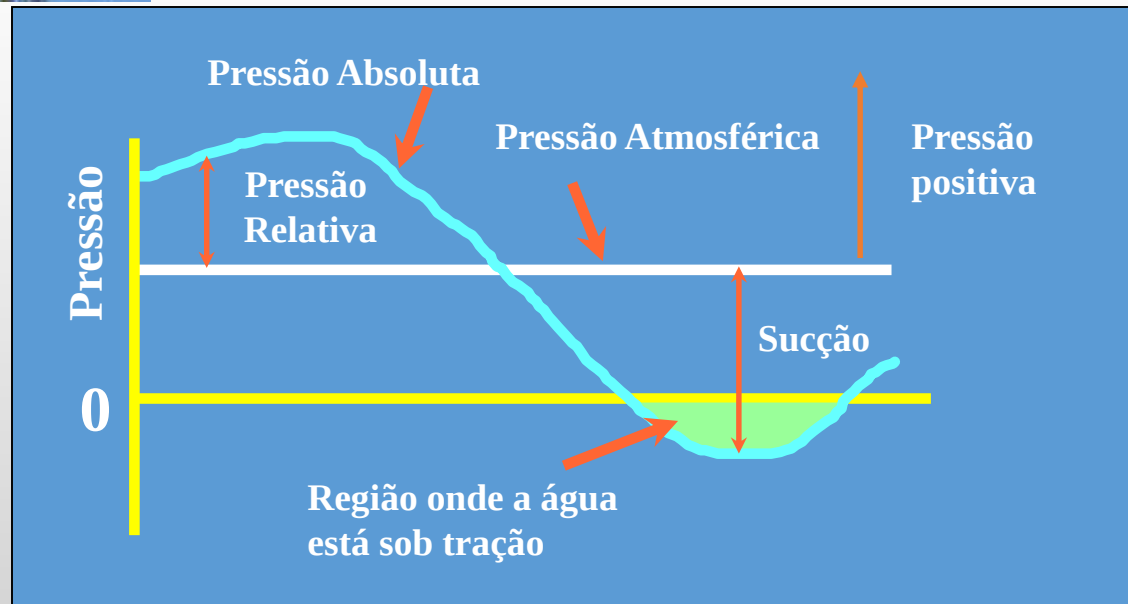


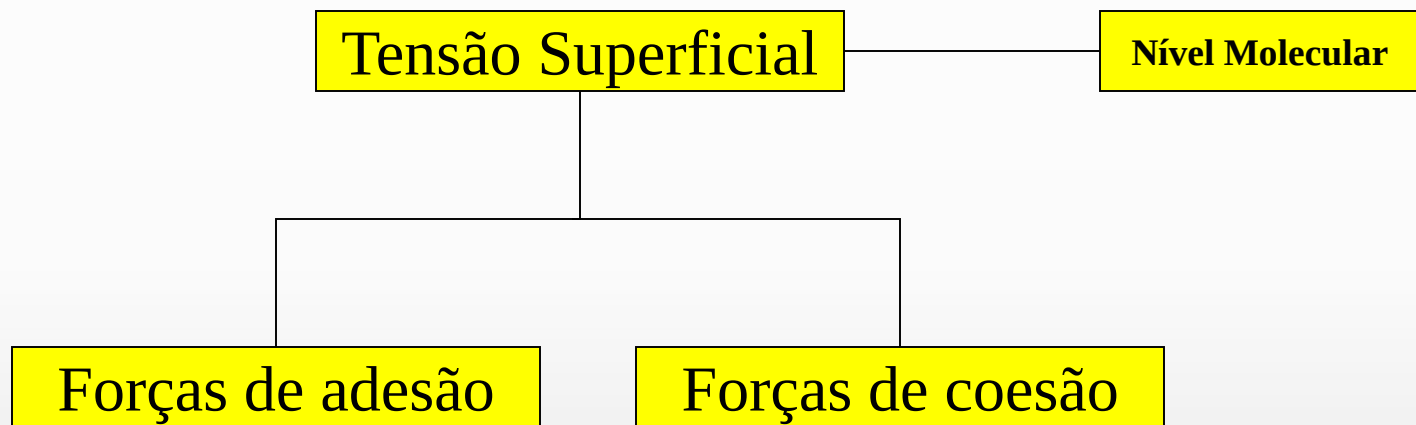
$$S = 100\%$$



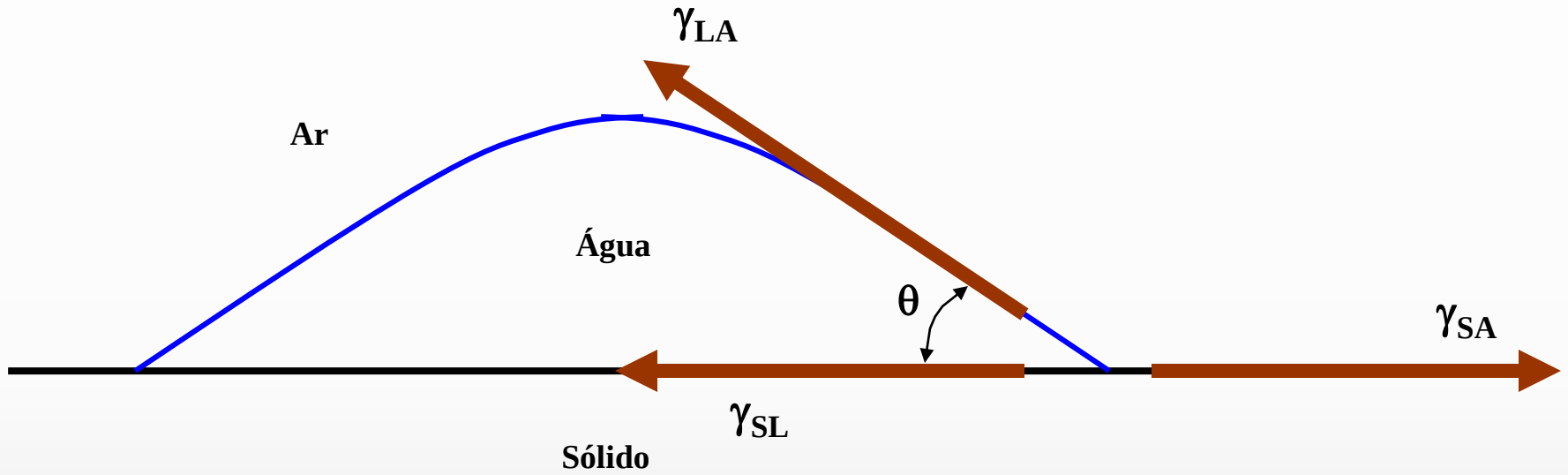


Pressão na água





Interface Ar-Água

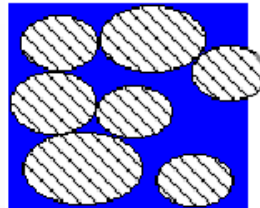


$$\gamma_{LA} \cos \theta = \gamma_{SA} - \gamma_{SL}$$

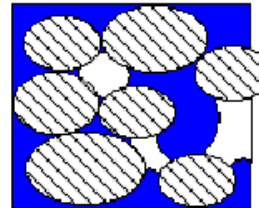
Capilaridade

- 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

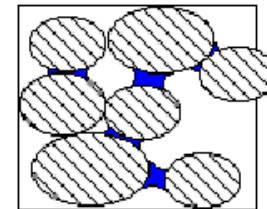
Capilaridade, Retenção de água e Resistência



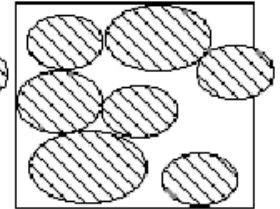
Saturado



Capacidade de campo



**Ponto de
murchamento das
plantas**

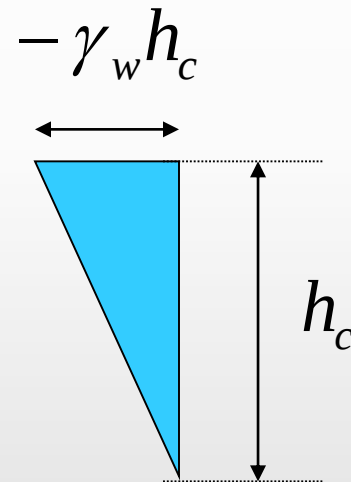
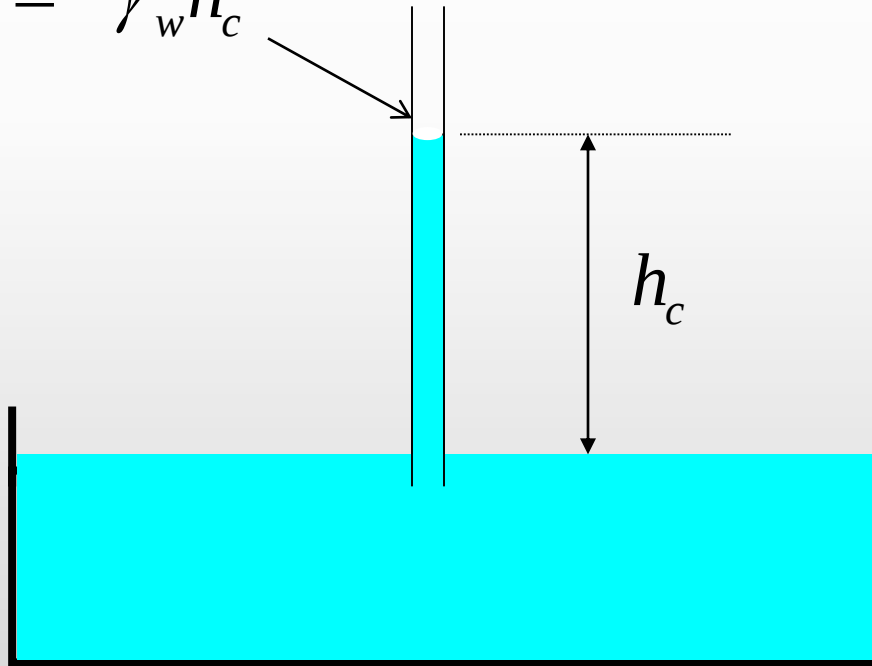


Solo seco

O Que é Sucção?

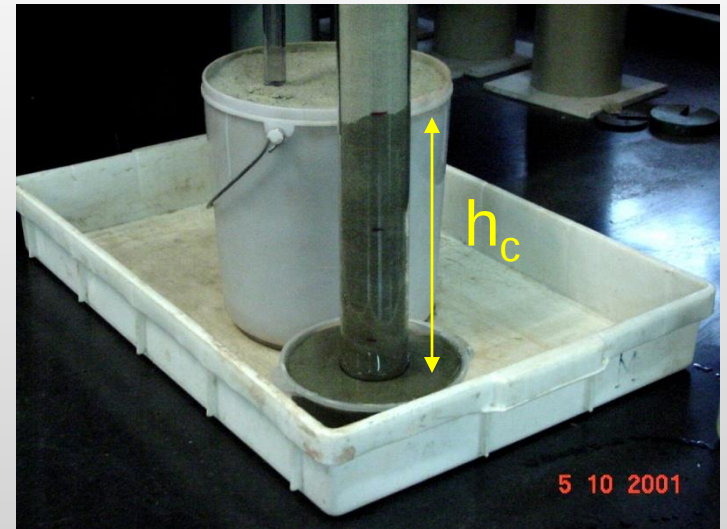
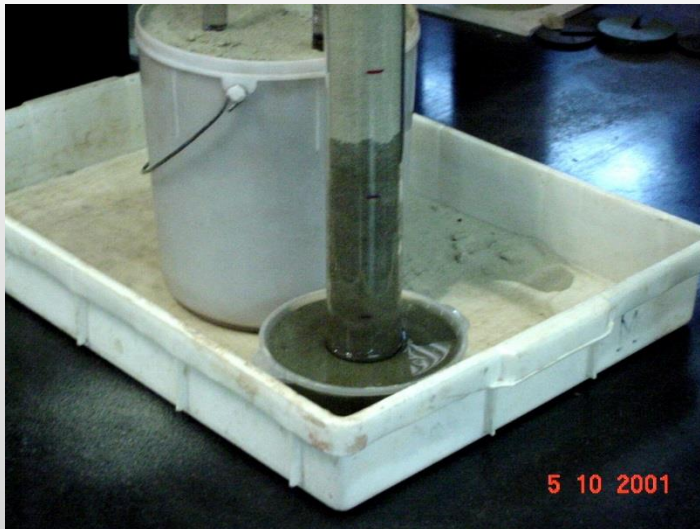
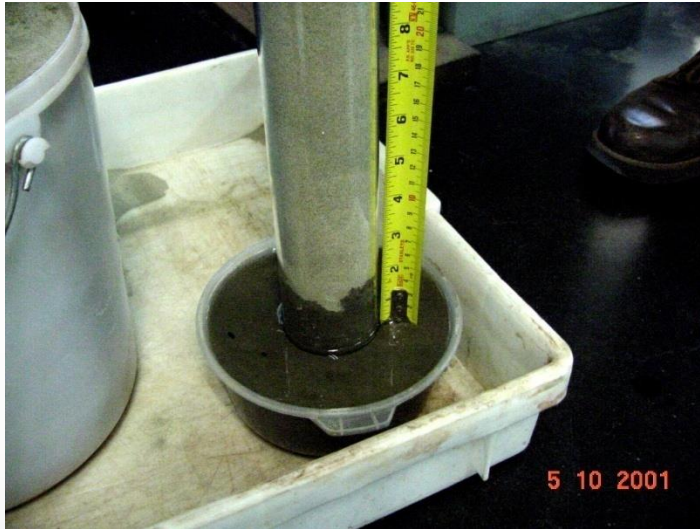
Ascensão Capilar

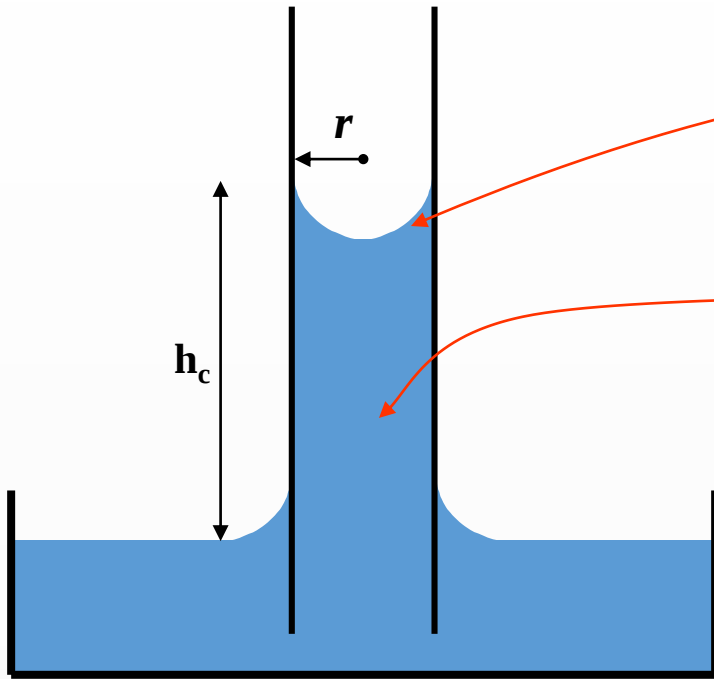
$$u = -\gamma_w h_c$$



O que é Sucção?

Ascensão Capilar





Massa total de água no tubo

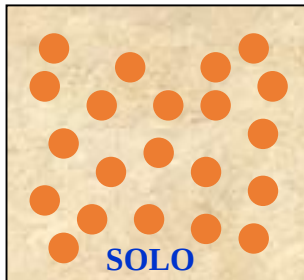
$$\rho_w g (\pi r^2 h_c + V)$$

Quando em equilíbrio as forças na água e a massa da água devem se balancear

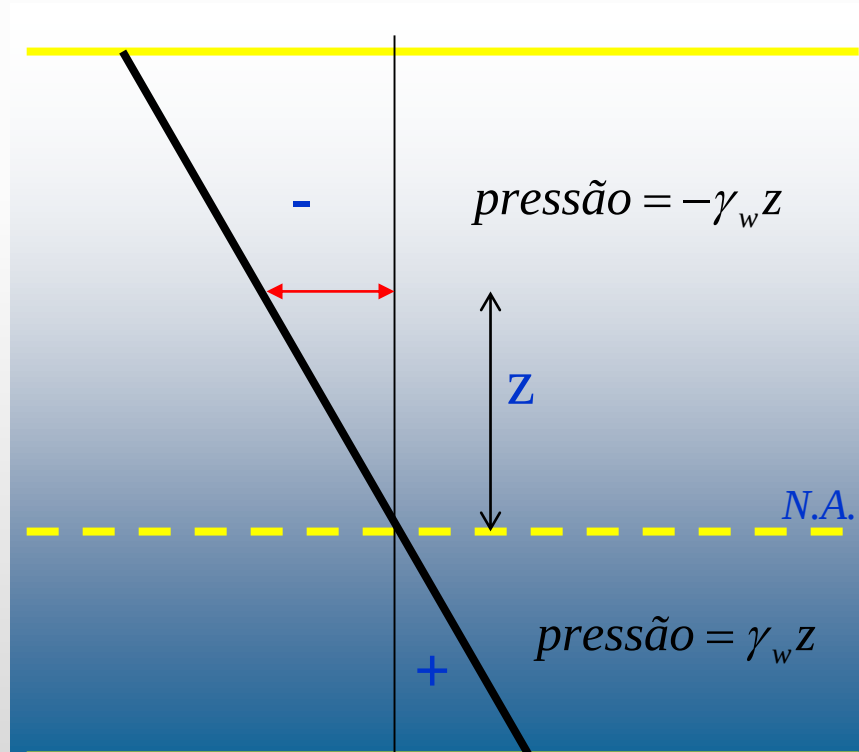
$$2\pi r \gamma \cos \theta = \rho_w g (\pi r^2 h_c + V)$$

V é o volume correspondente ao anel capilar e é desprezível

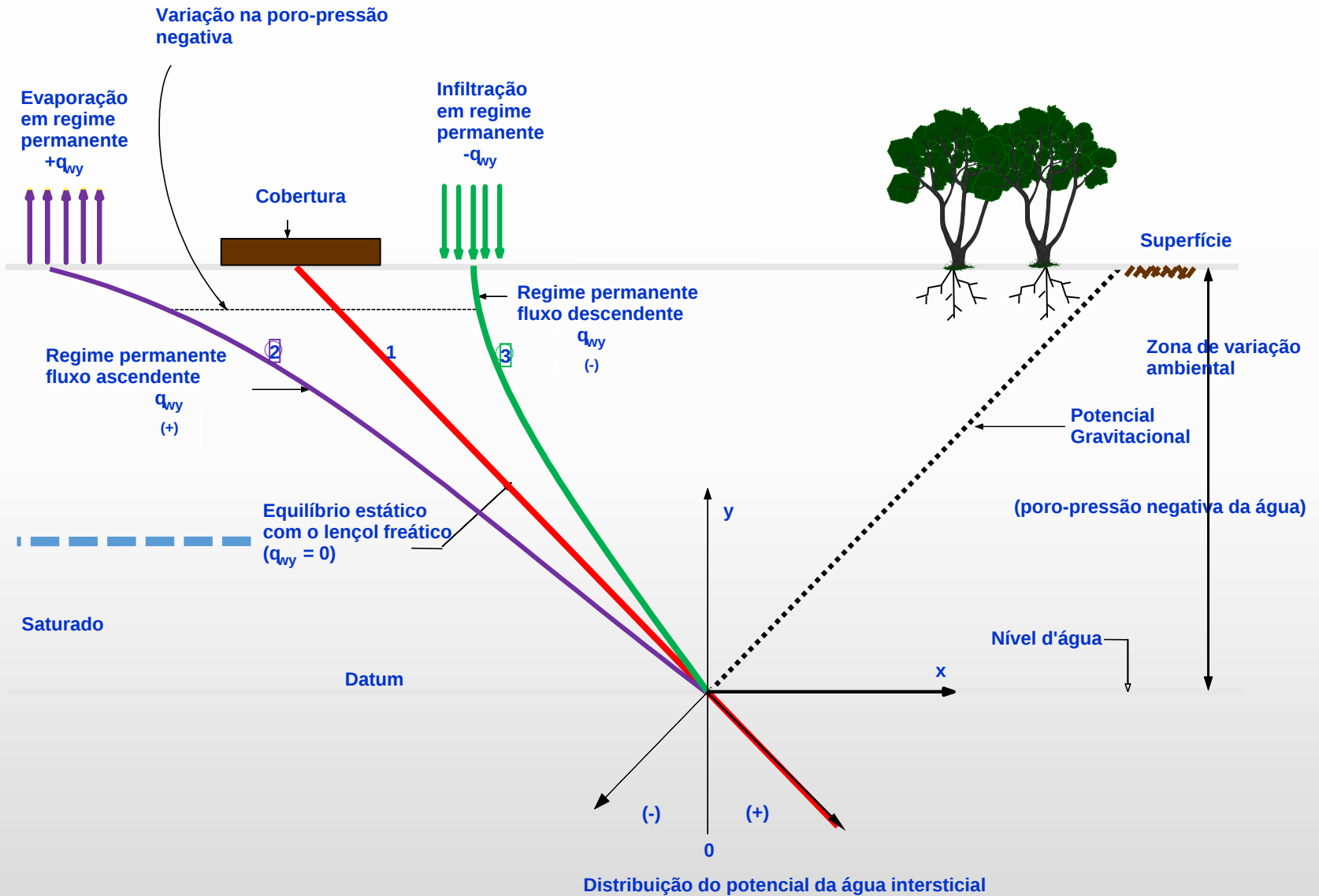
$$h_c = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho_w g r}$$



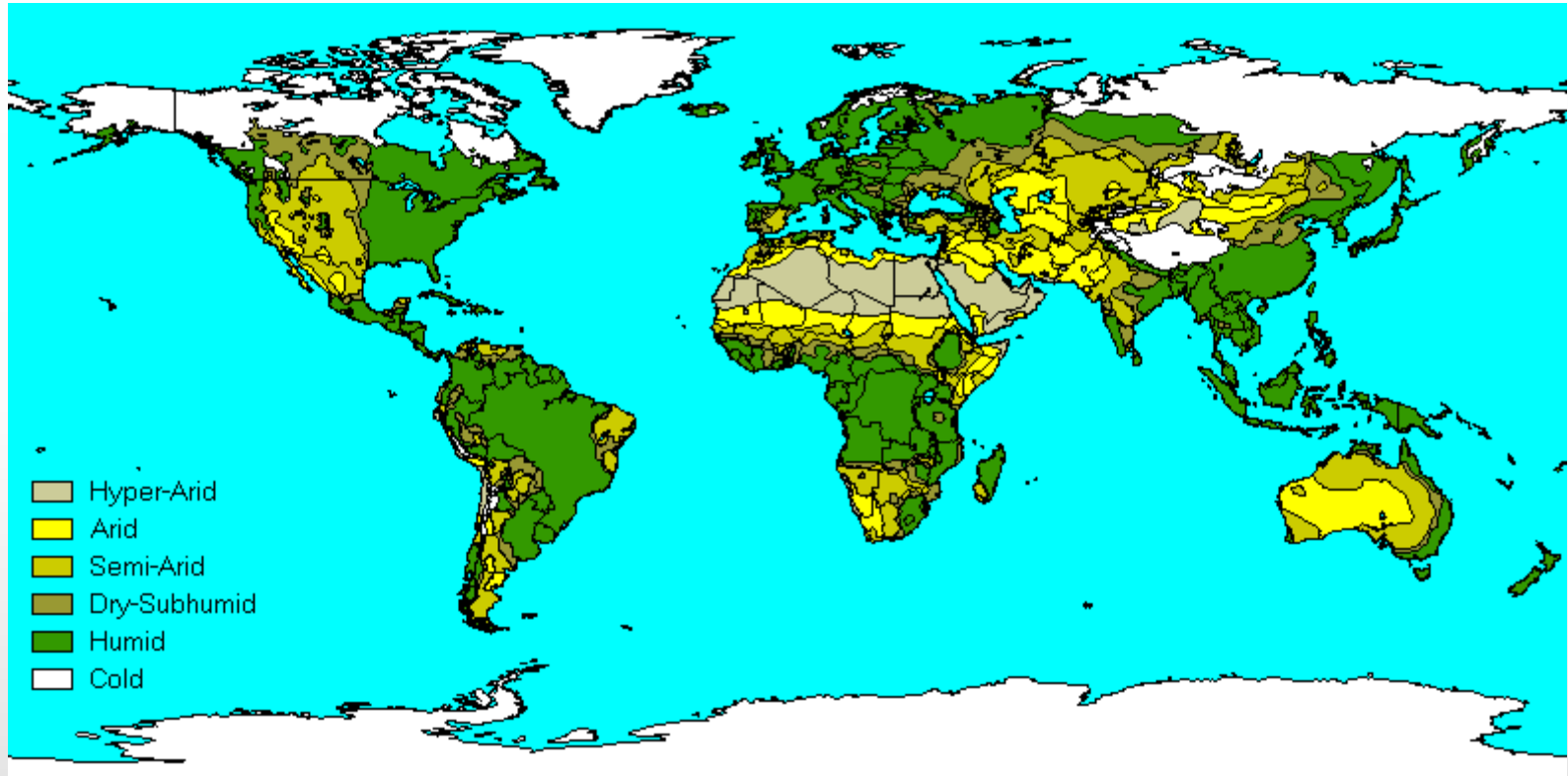
Água armazenada em equilíbrio Sem fluxo



Perfis de sucção



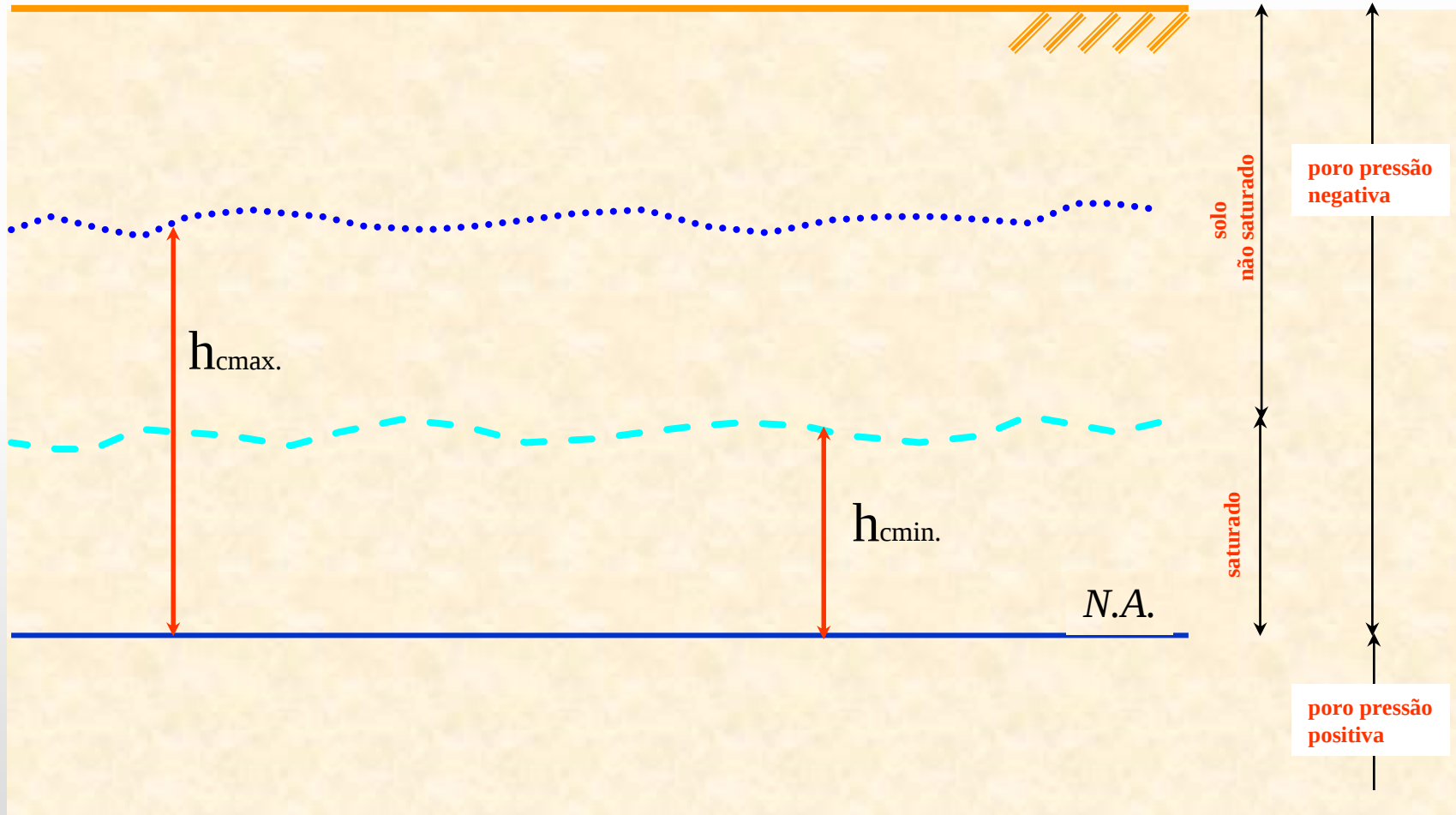
Climas da Terra





Água

A Zona Vadosa



Efeito da capilaridade

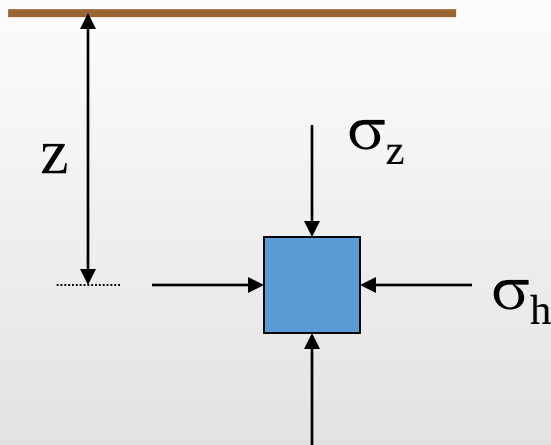


Solo Saturado

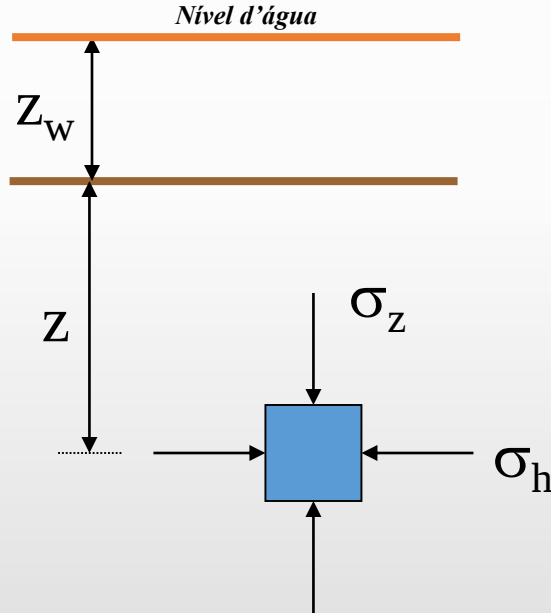
Tensões no Solo

- 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.

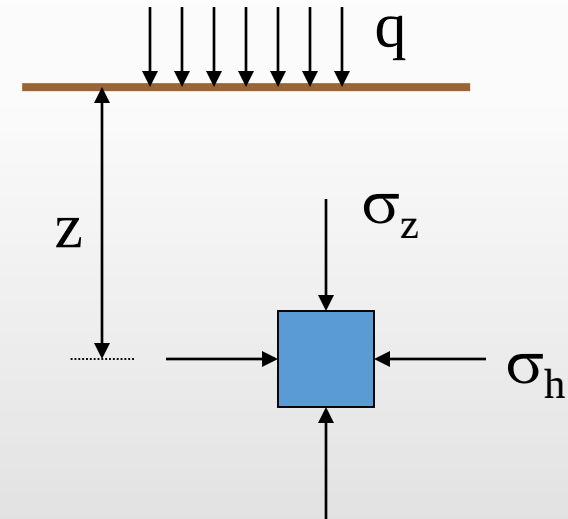
γ = peso específico do solo



$$\sigma_z = \gamma Z$$



$$\sigma_z = \gamma Z + \gamma_w Z_w$$



$$\sigma_z = \gamma Z + q$$

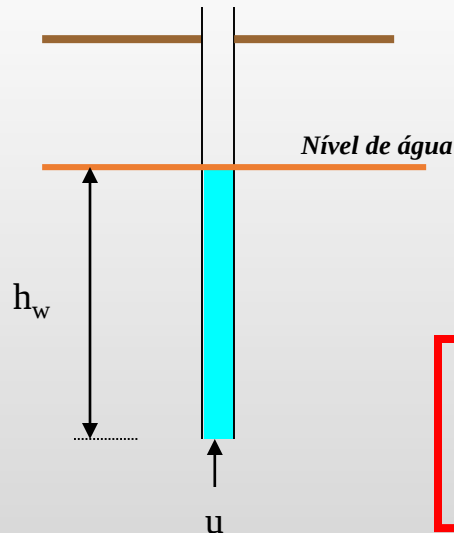
Tensões no Solo

- ✓ 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

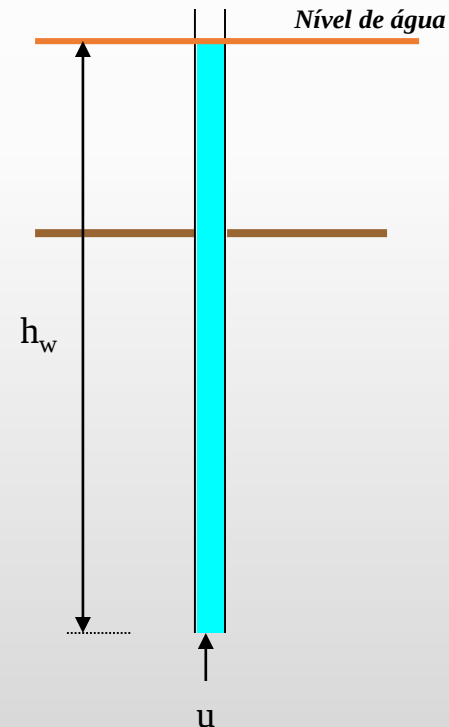
Tensões no Solo

Água no solo e pressão da água

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



$$u = \gamma_w h_w$$



Tensão Efetiva

- Com o objetivo de simplificar a análise do comportamento do solo é comum se considerar o solo como um meio contínuo.
- A natureza das partículas são ignoradas e todo o solo é modelado como uma pequena área finita ou muito pequena (infinitesimal).
- A estas áreas são definidas propriedades de massas do solo e servem como elementos onde são aplicadas as tensões e deformações.
- Na realidade tanto as tensões como os deslocamentos agem nos pontos de contatos entre as partículas

Por que é tão 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**

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 depende das propriedades das partículas, da estrutura do “esqueleto” e da história de tensões.

Consequências

O solo saturado só pode variar de volume se a água sair dos poros ou entrar nos mesmos.

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 o pode haver mudanças de volume sem ganho ou perda de água.

Tensões no Solo

Tensão Efetiva

- É claro 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.

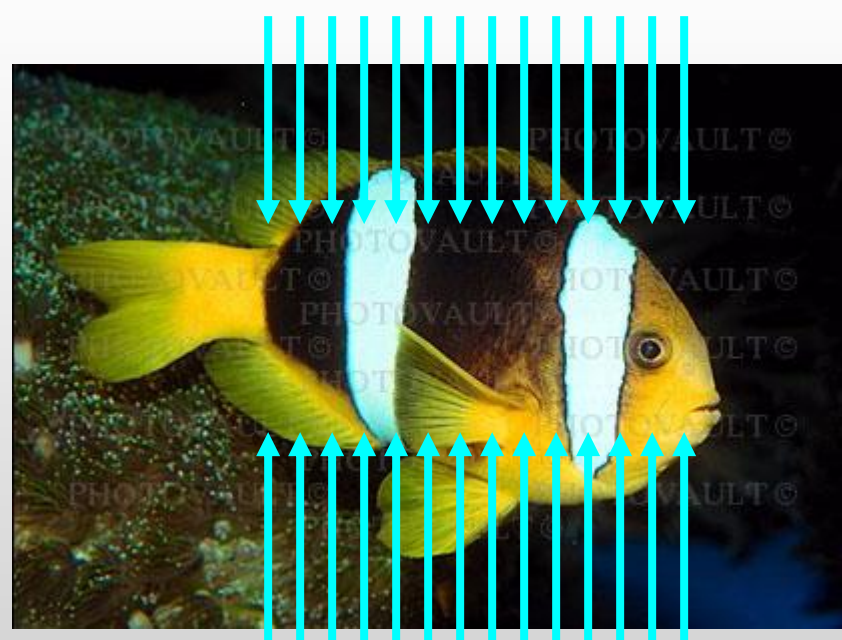
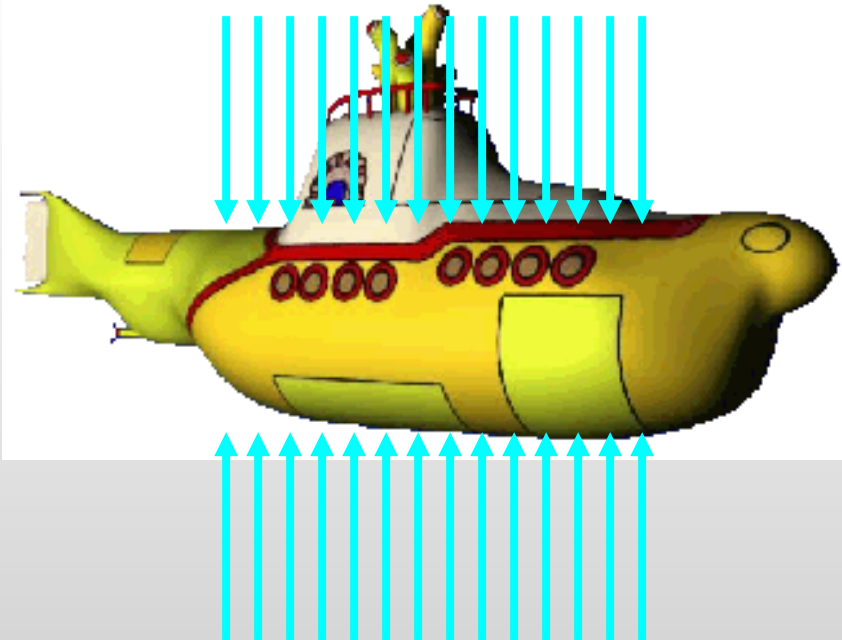
$$\sigma' = \sigma - u$$

σ

$u = \text{pressão atmosférica}$

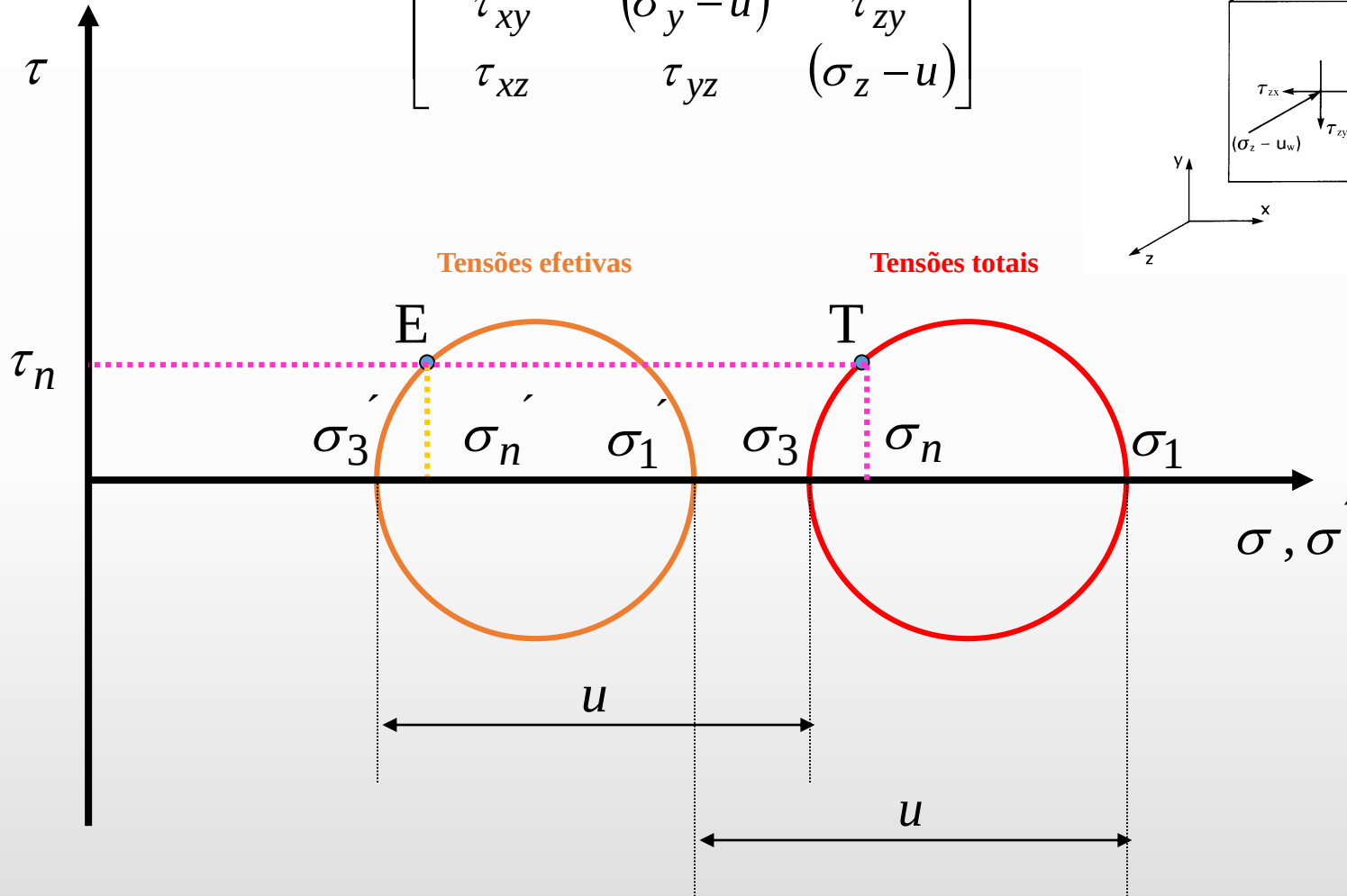
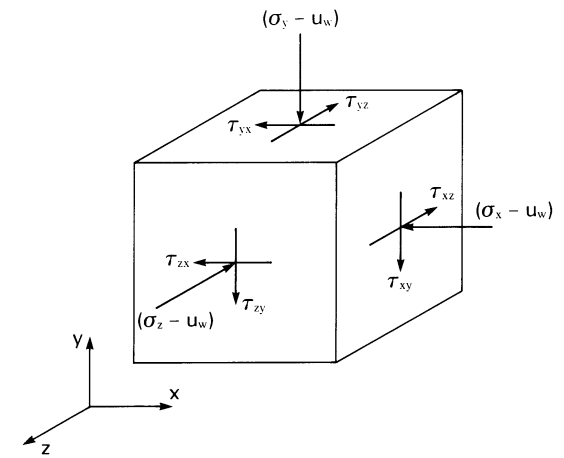
 σ' $>$ σ

$u \cong \text{pressão na água}$

 σ' 

Tensor de tensões para solo saturado

$$\begin{bmatrix} (\sigma_x - u) & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & (\sigma_y - u) & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (\sigma_z - u) \end{bmatrix}$$



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

Tensões no Solo

NA

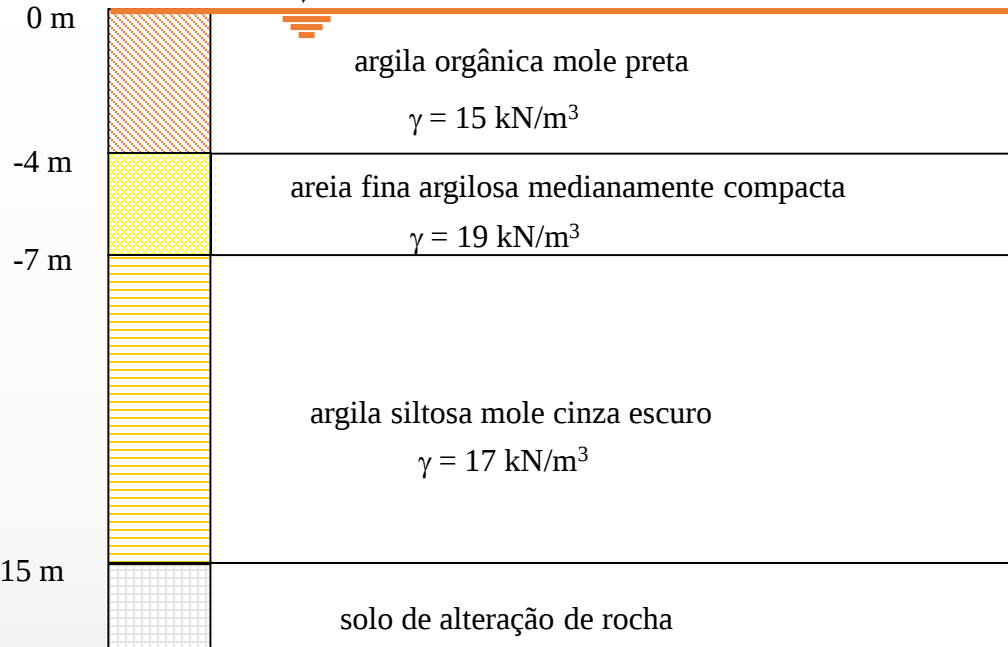
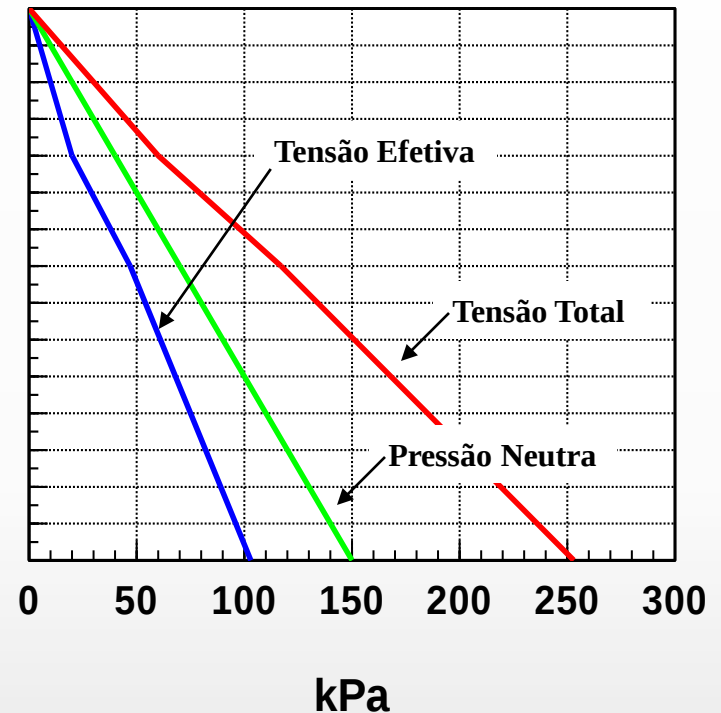


Diagrama de tensões



Exemplo para a cota -7m

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

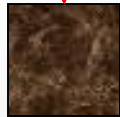
$$u = 10 * 7 = 70 \text{ kPa}$$

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

Aterro

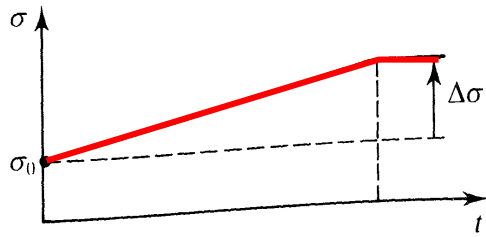
σ_v

Solo Natural



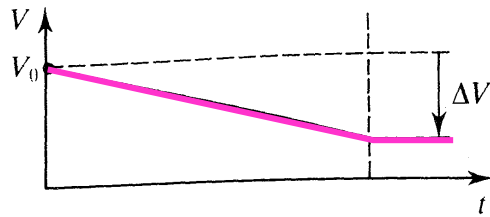
Barragem Los Vaqueros





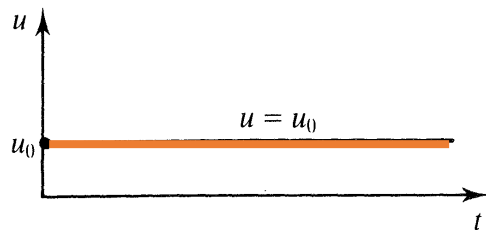
(a)

Carregamento – tensões totais



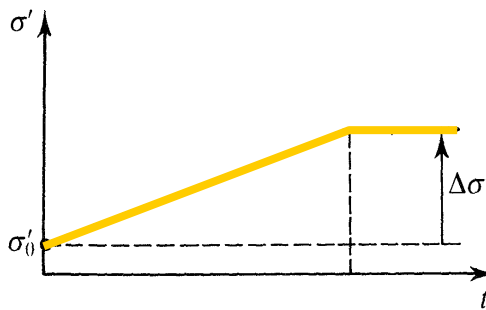
(b)

Variação de volume



(c)

Desenvolvimento de pressão neutra



(d)

Variação de tensão efetiva

Atkinson (1993)

Comportamento Drenado

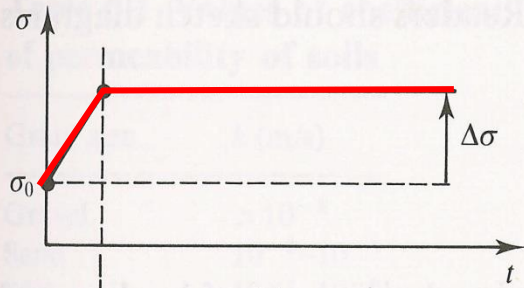
Carregamento – tensões totais

Variação de volume

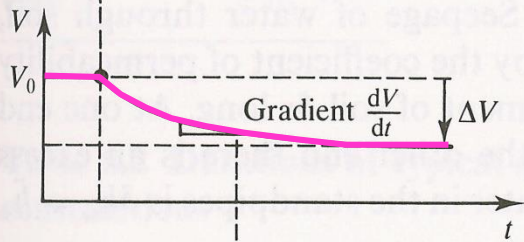
Desenvolvimento de pressão neutra

Variação de tensão efetiva

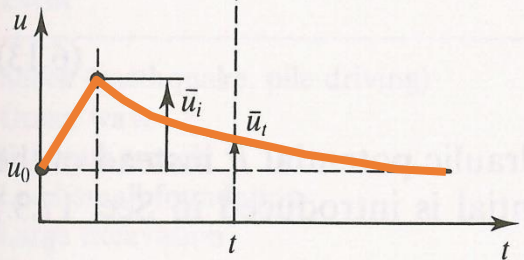
Comportamento não Drenado



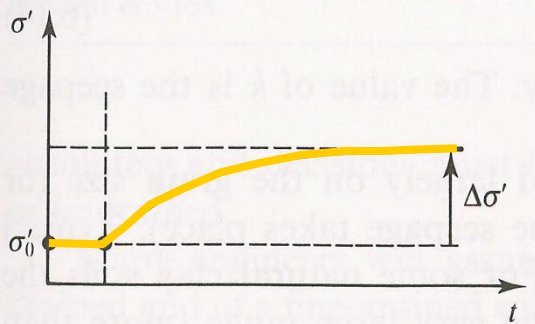
(a)



(b)



(c)



(d)

Atkinson (1993)