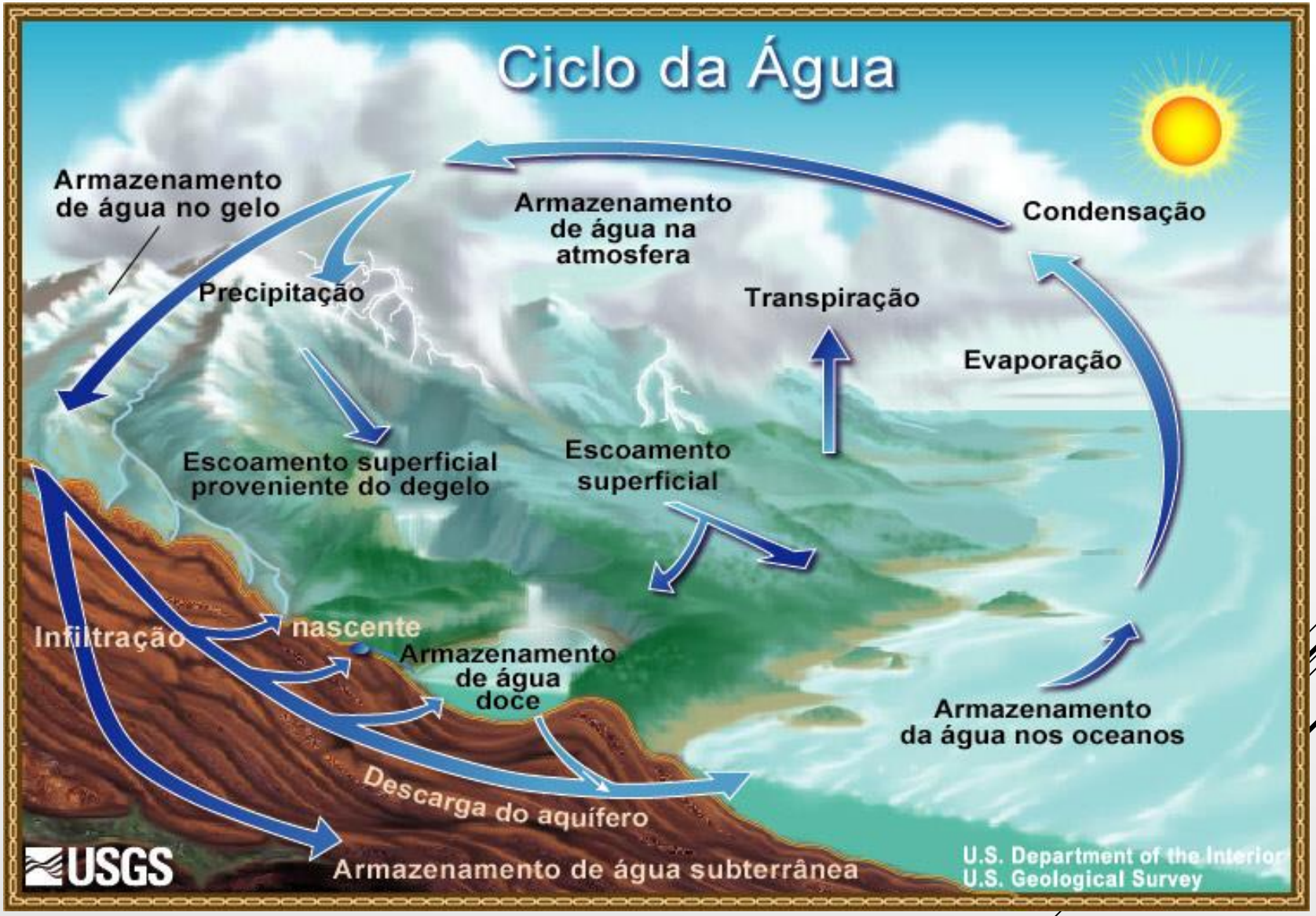
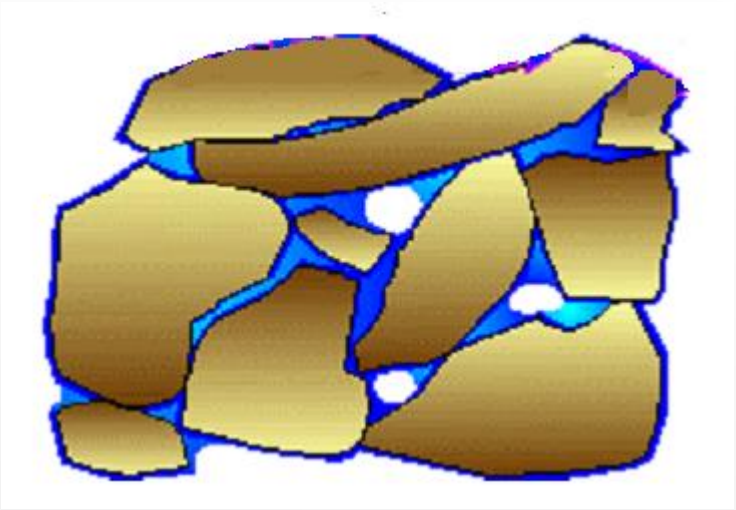
Água nos Solos
Princípio das Tensões Efetivas

Fernando A. M. Marinho
2017

Água nos Solos

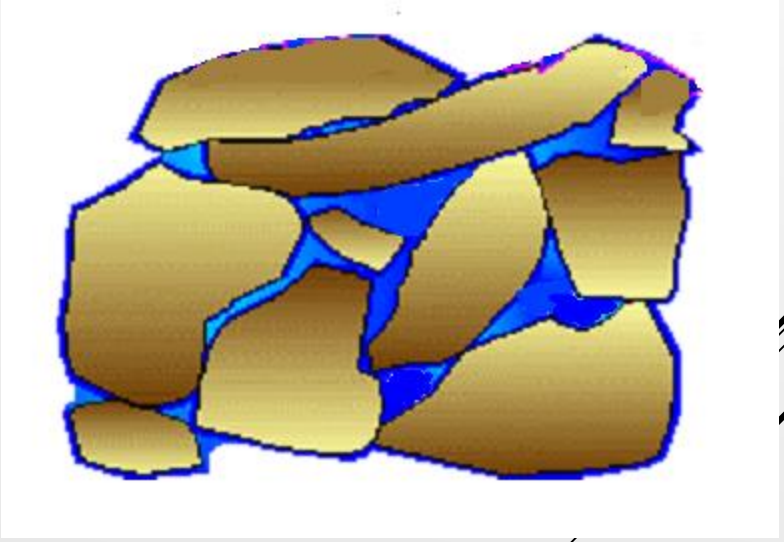


- **A evaporação não acontece somente nos oceanos. Ela ocorre no próprio solo também**
- **O solo armazena água e a pressão da água afeta a resistência dos solos.**

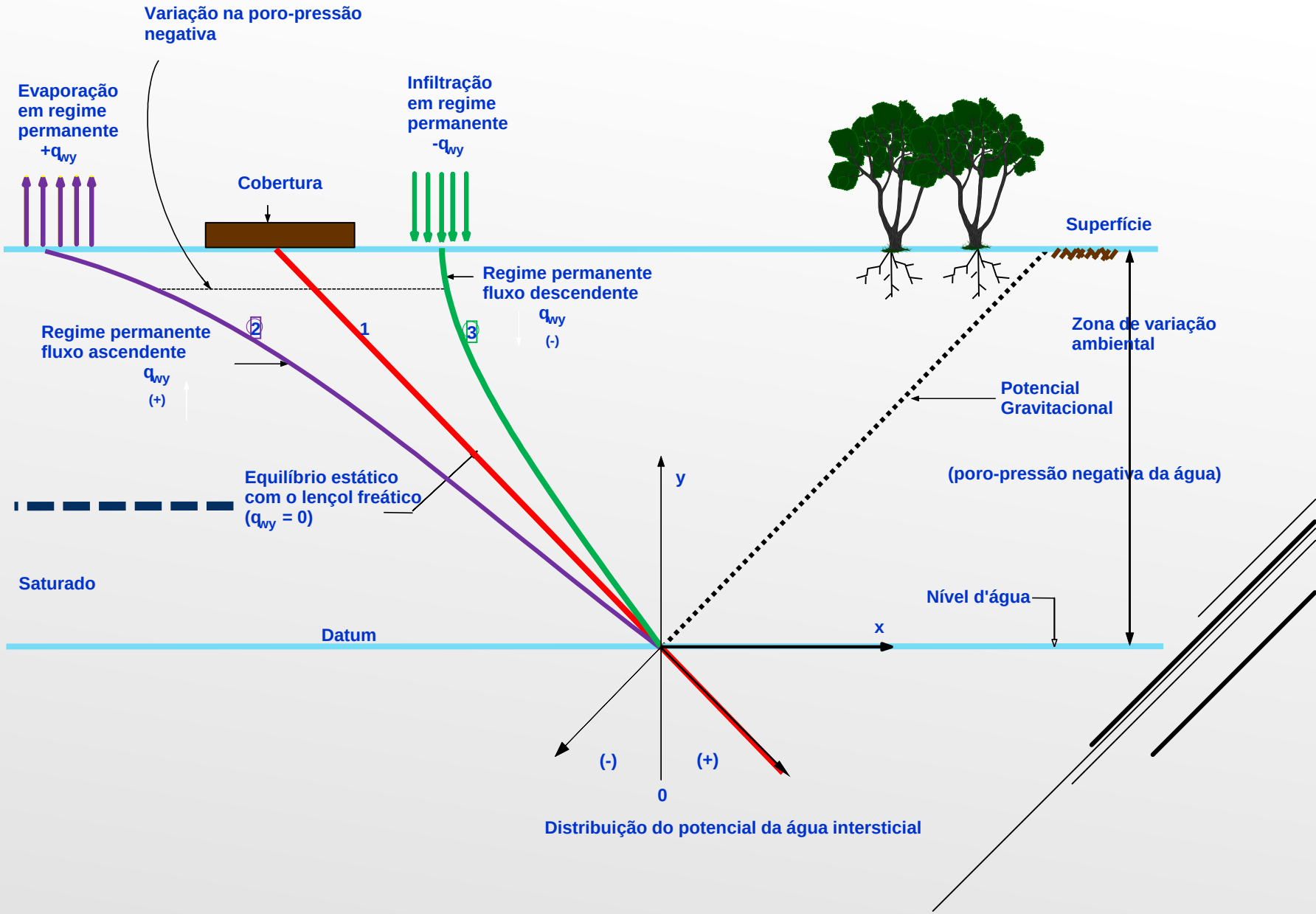


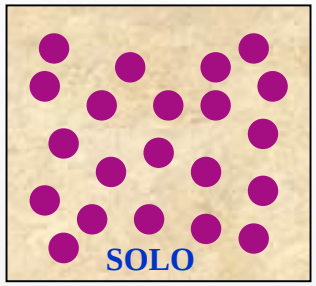
S < 100%

S = 100%

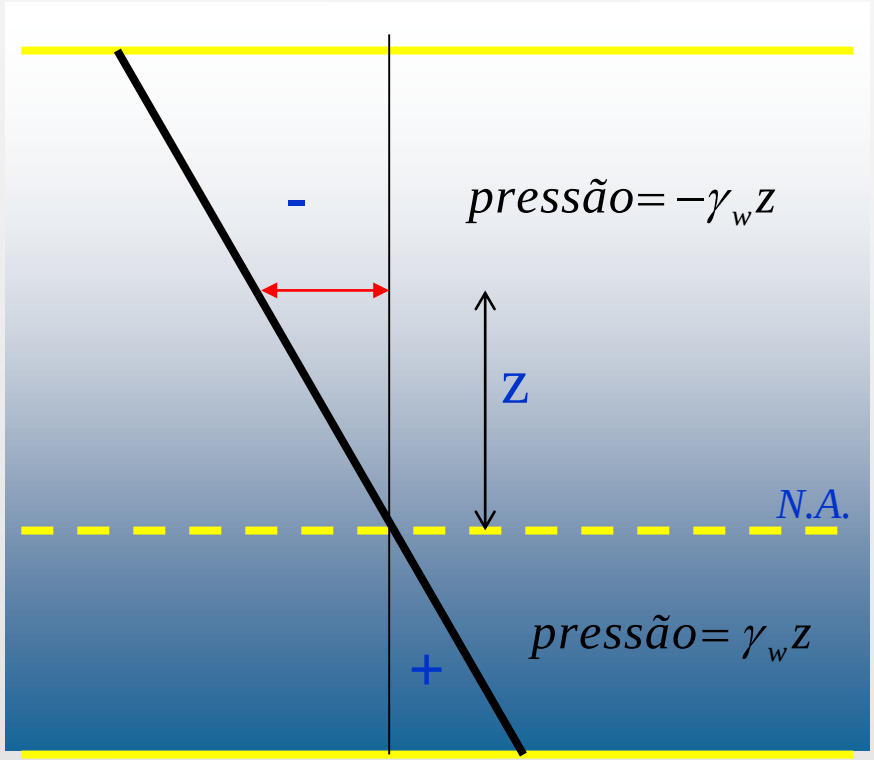


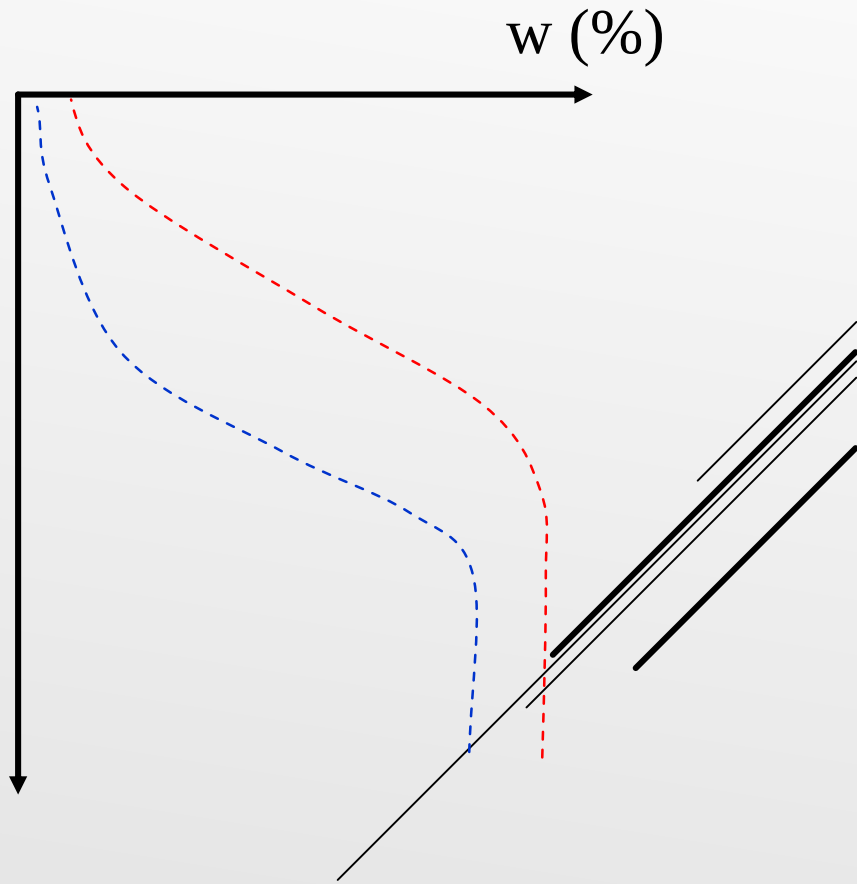
Perfis de sucção





Água armazenada em equilíbrio
Sem fluxo

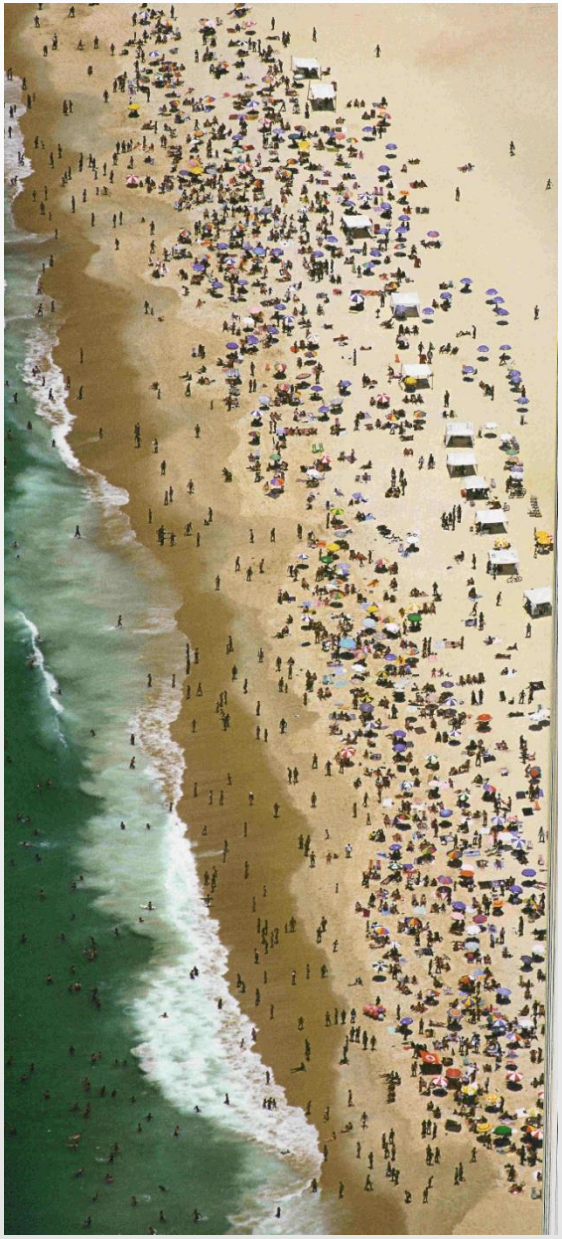




Capilaridade

- 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 liquido

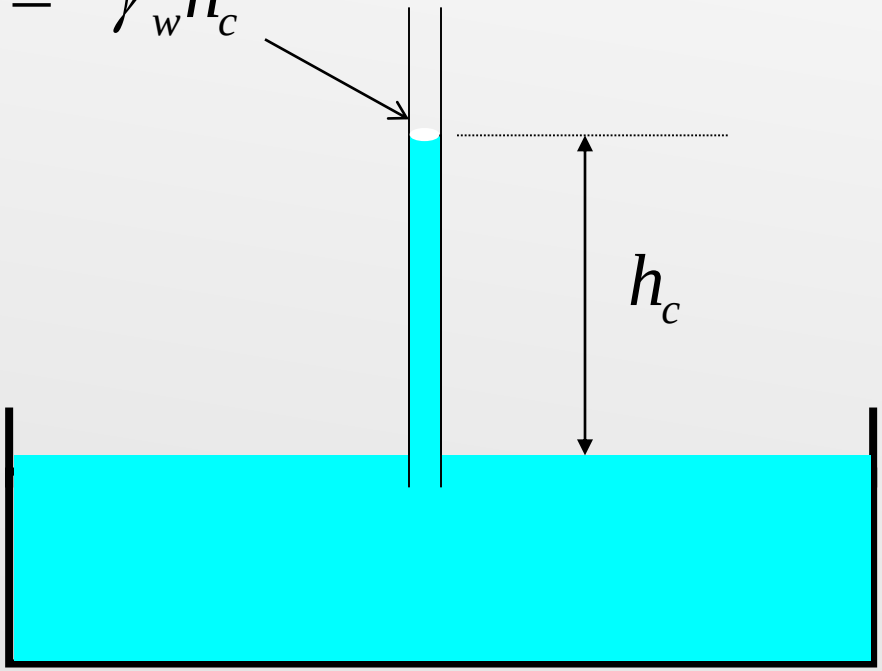
Capilaridade, Retenção de água e Resistência



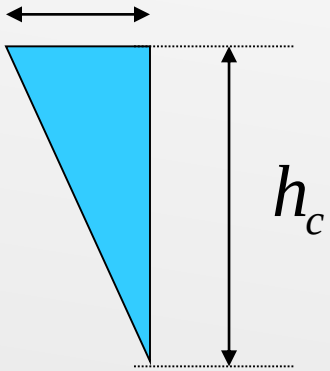
O Que é Sucção?

Ascenção Capilar

$$u = -\gamma_w h_c$$

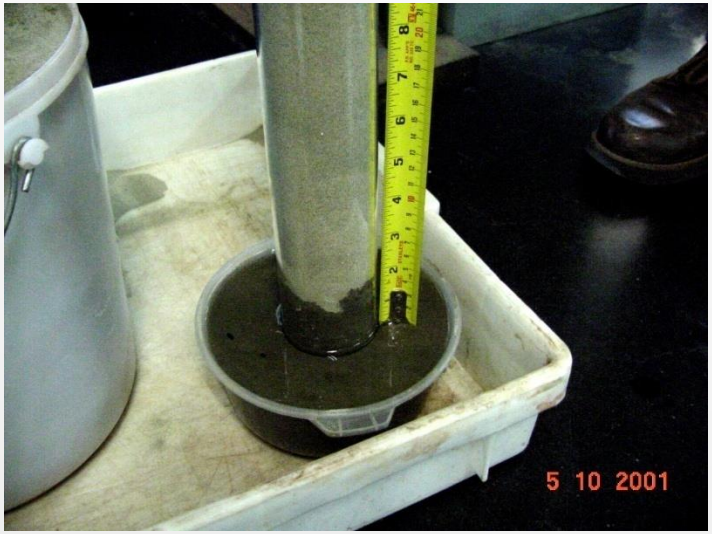


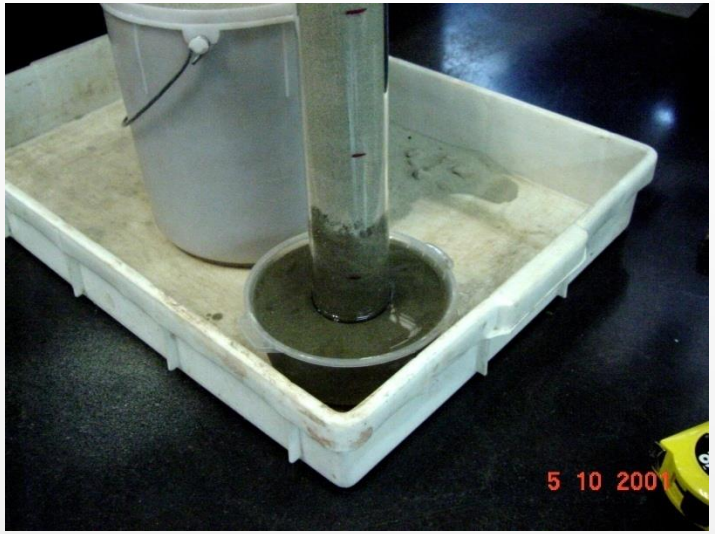
$$-\gamma_w h_c$$

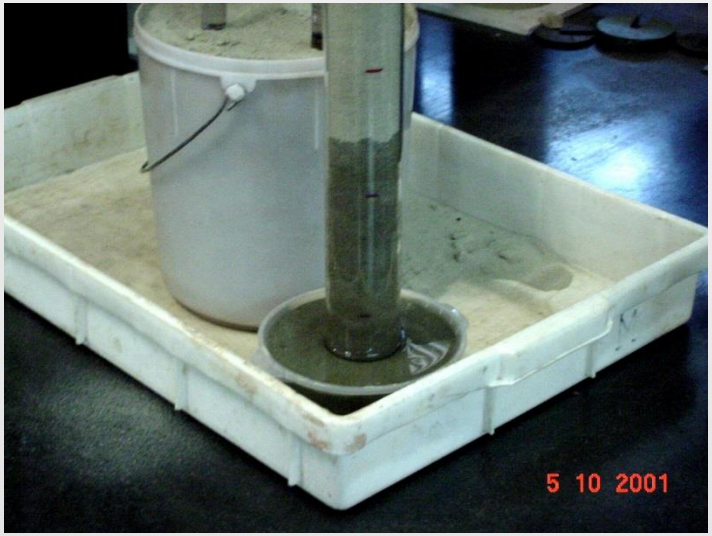


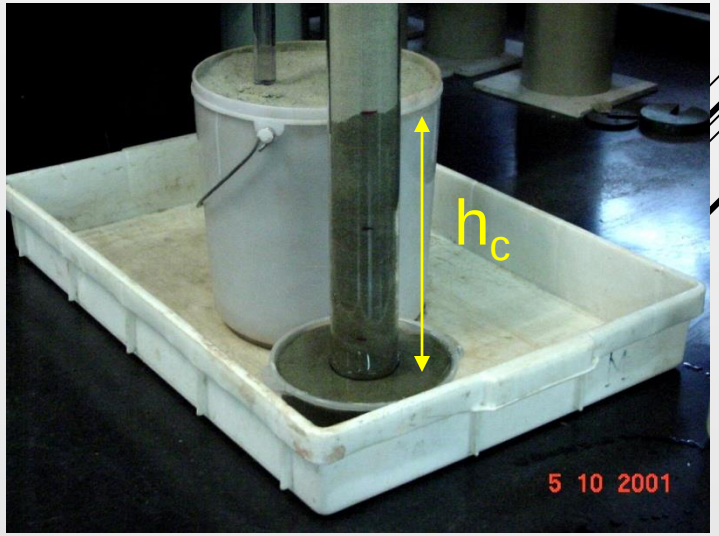
O que é Sucção?

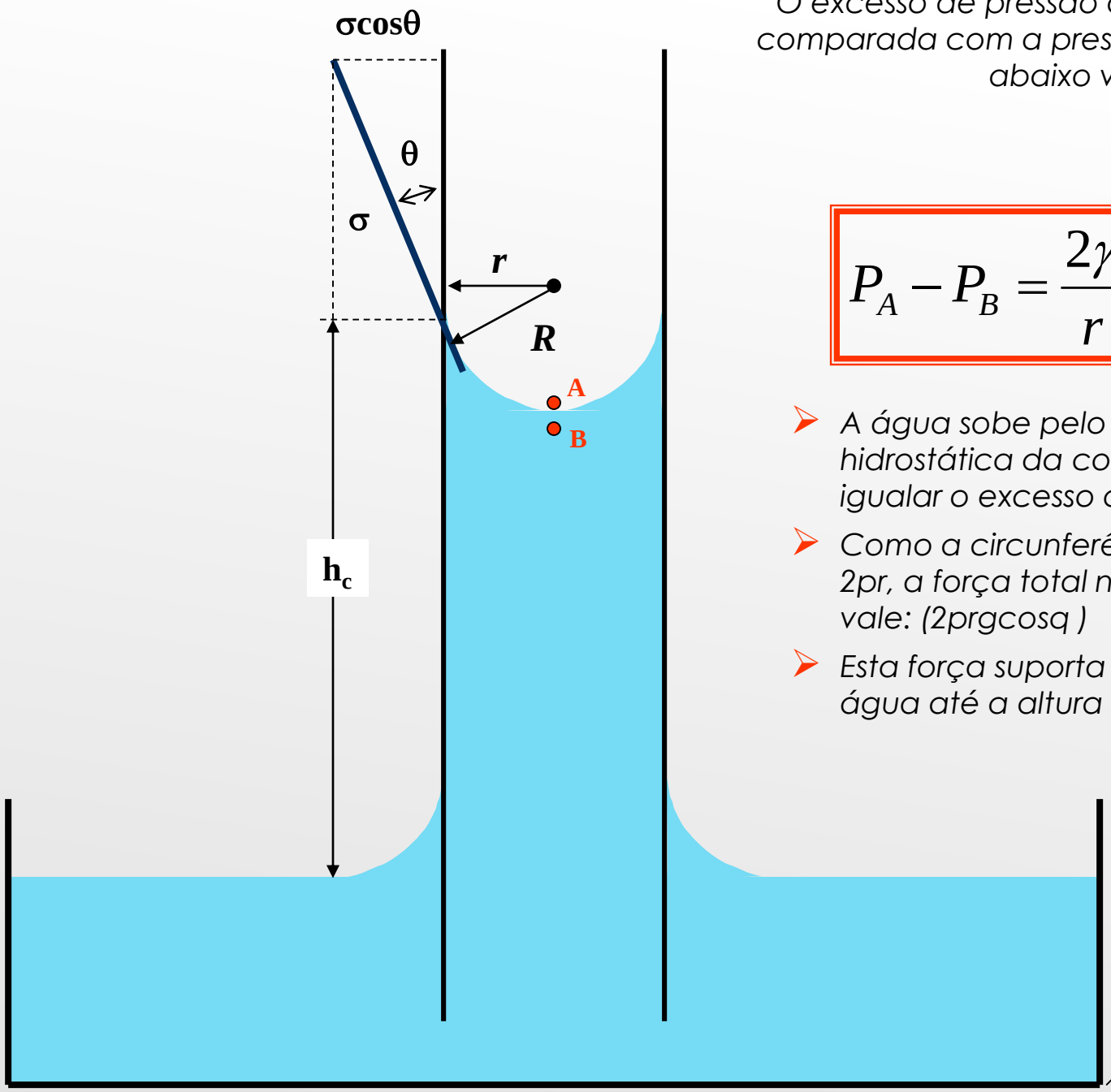
Ascenção Capilar











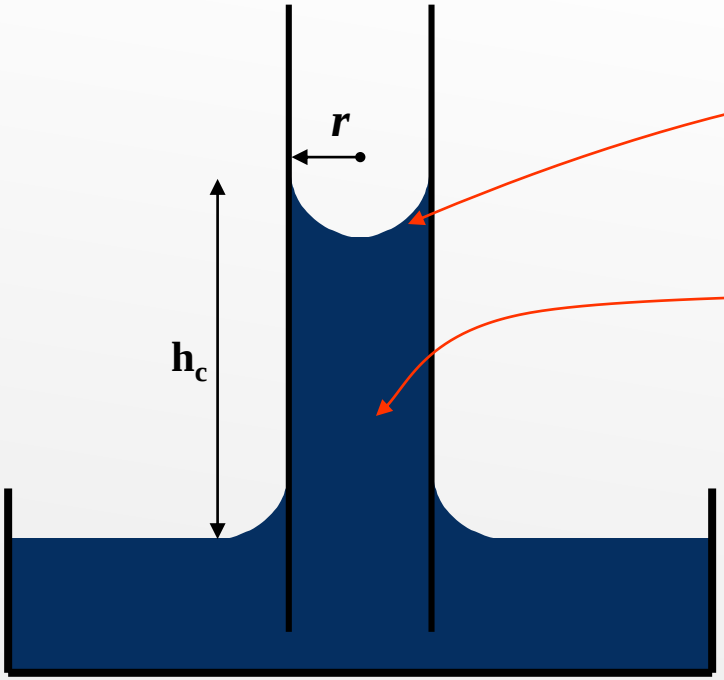
O excesso de pressão acima do menisco comparada com a pressão imediatamente abaixo vale:

$$\frac{2\gamma}{r}$$

$$P_A - P_B = \frac{2\gamma}{r}$$

- *A água sobe pelo tubo até a pressão hidrostática da coluna dentro do tubo igualar o excesso de pressão: (2g/r).*
- *Como a circunferência do tubo vale, 2pr, a força total no fluido para cima, vale: (2prgcosq)*
- *Esta força suporta a massa da coluna de água até a altura h_c.*

$$R = \frac{r}{\cos\theta}$$



Massa total de água no tubo

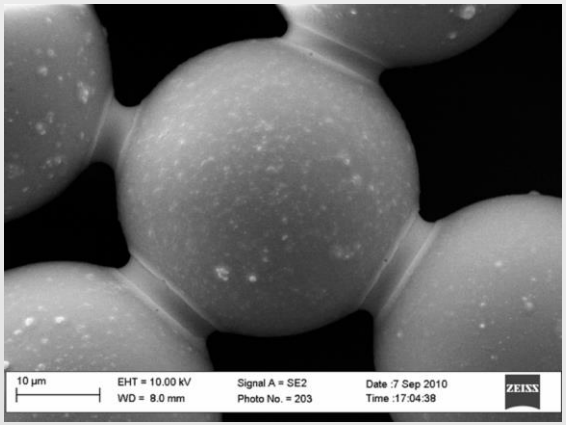
$$\rho_w g\left(\pi r^2 h_c + V\right)$$

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

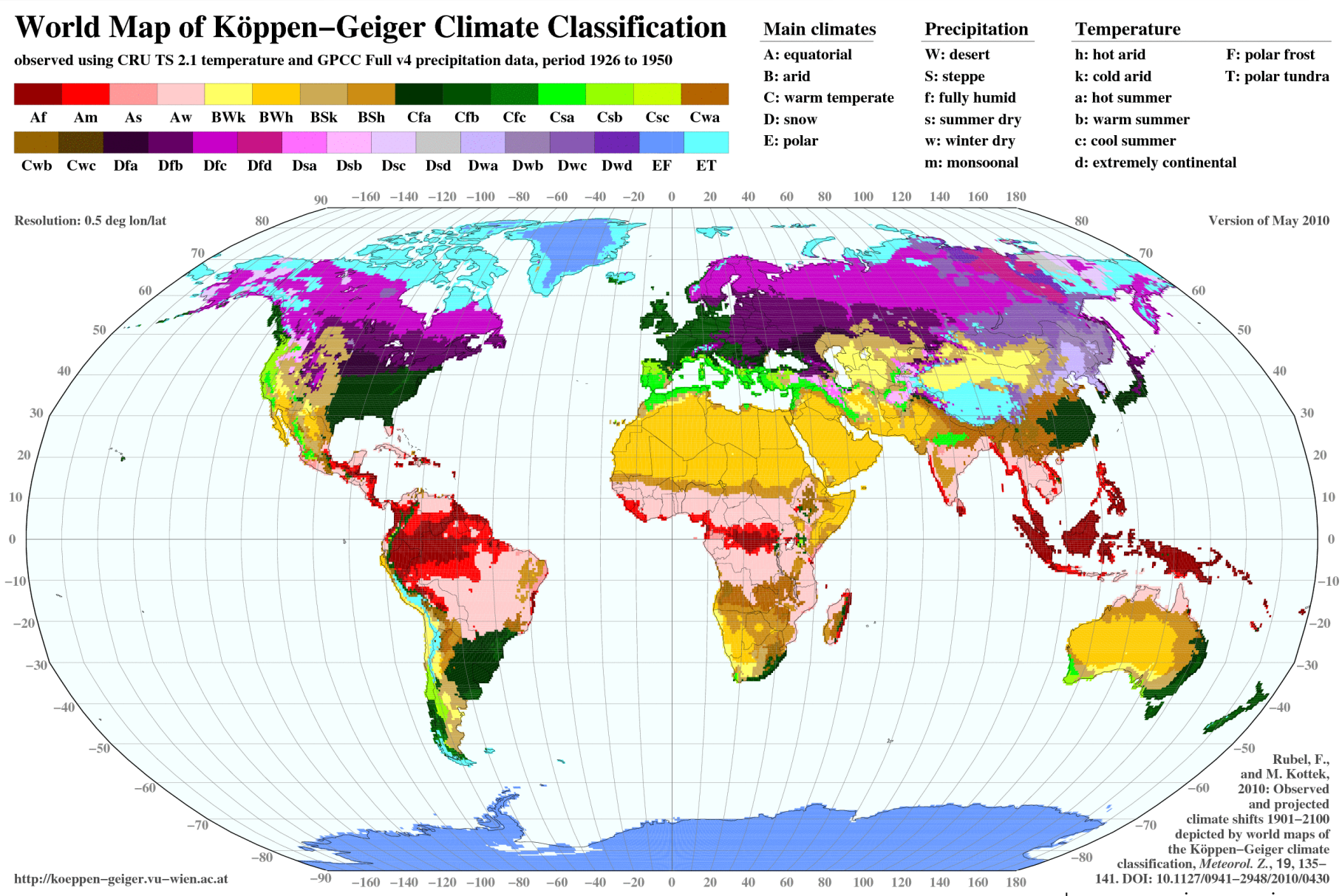
$$2\pi r\gamma\cos\theta = \rho_w g\left(\pi r^2 h_c + V\right)$$

V é o volume correspondente ao anel capilar e é desprezível

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



Climas da Terra



koeppen-geiger.vu-wien.ac.at

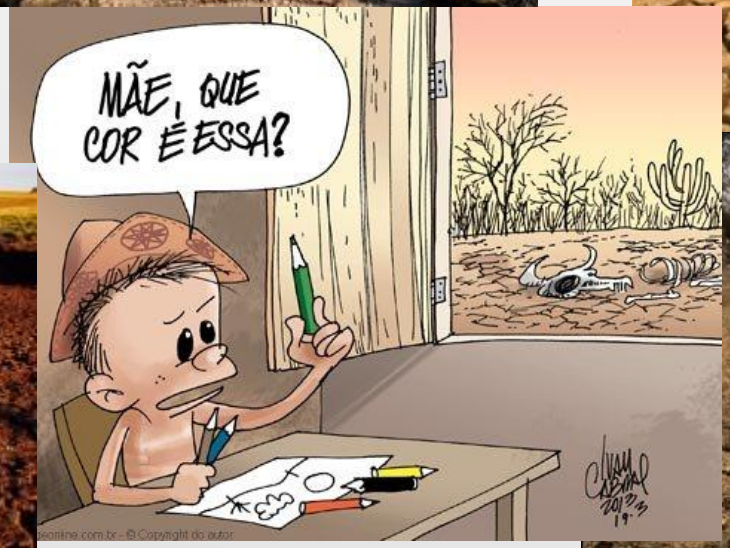
A água e a falta de água



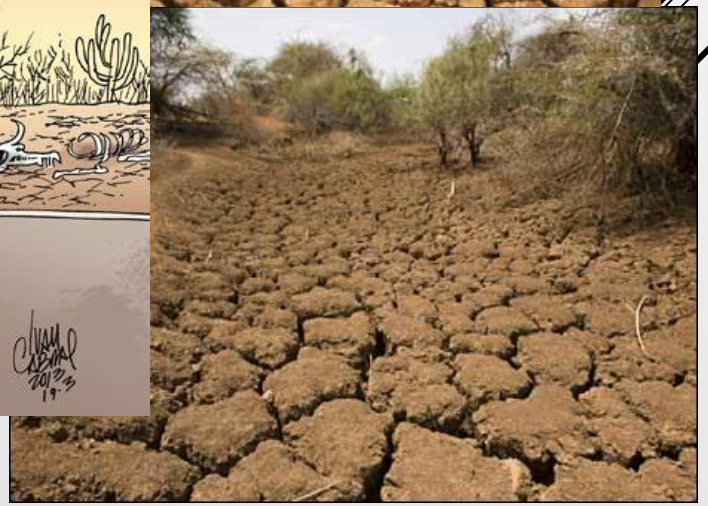












A água e a falta de água









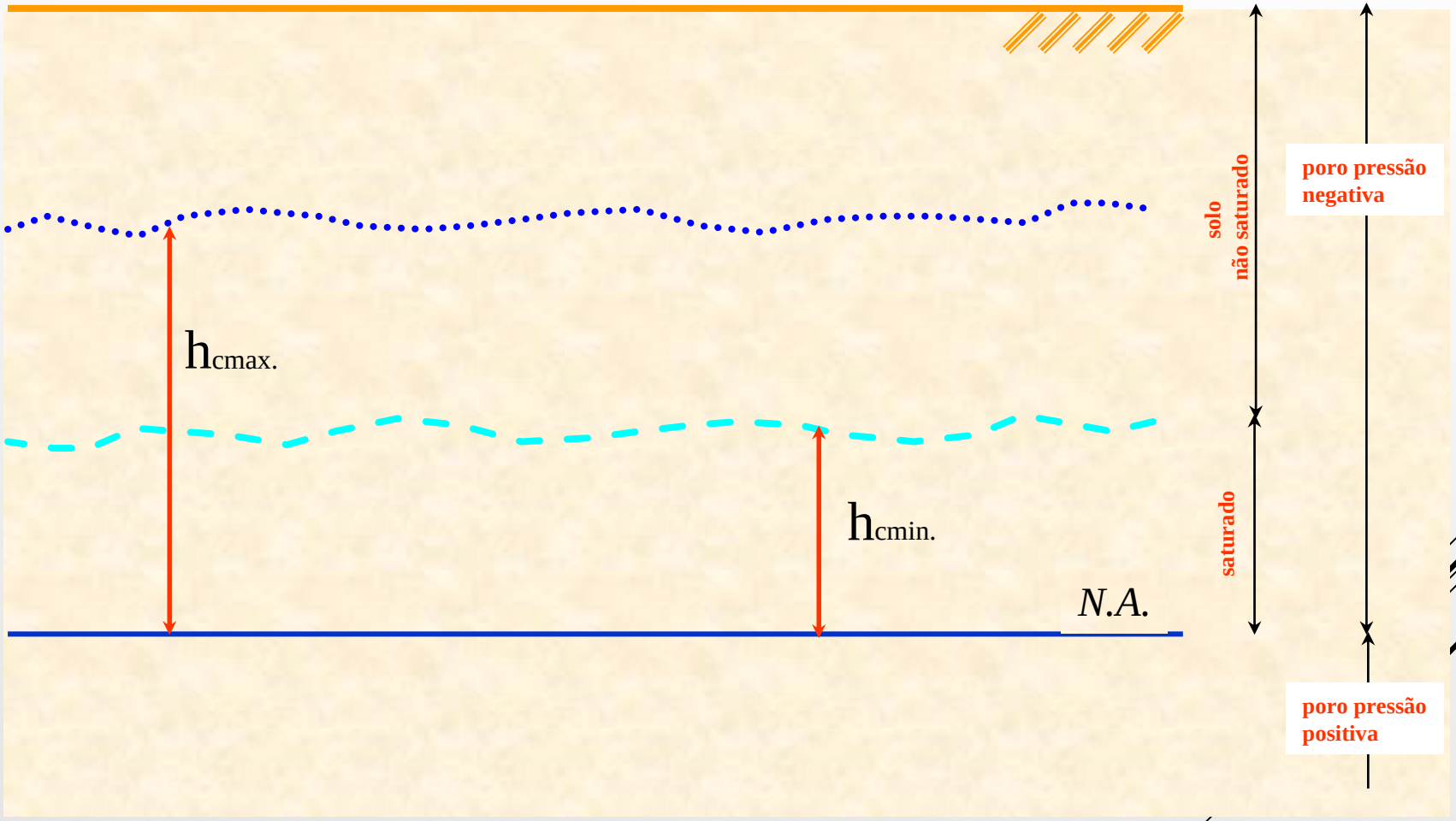




Cemaden.gov.br



A Zona Vadosa



Efeito da capilaridade

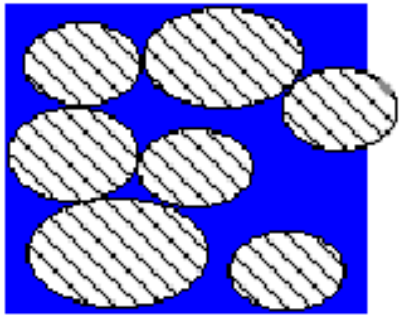




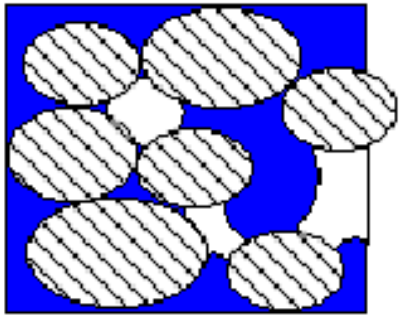




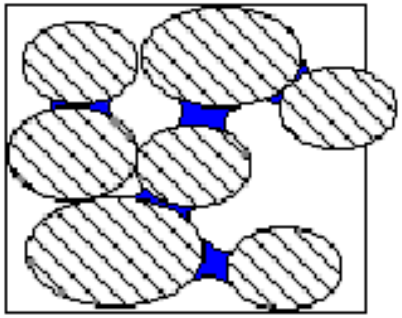
http://www.core77.com/posts/26908/king-of-the-castle-drip-dried-sculptures-that-put-your-cookie-cutter-sand-castles-to-shame-26908



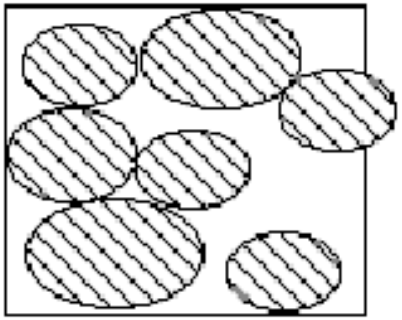
Saturado



Capacidade de campo



Ponto de murchamento das plantas

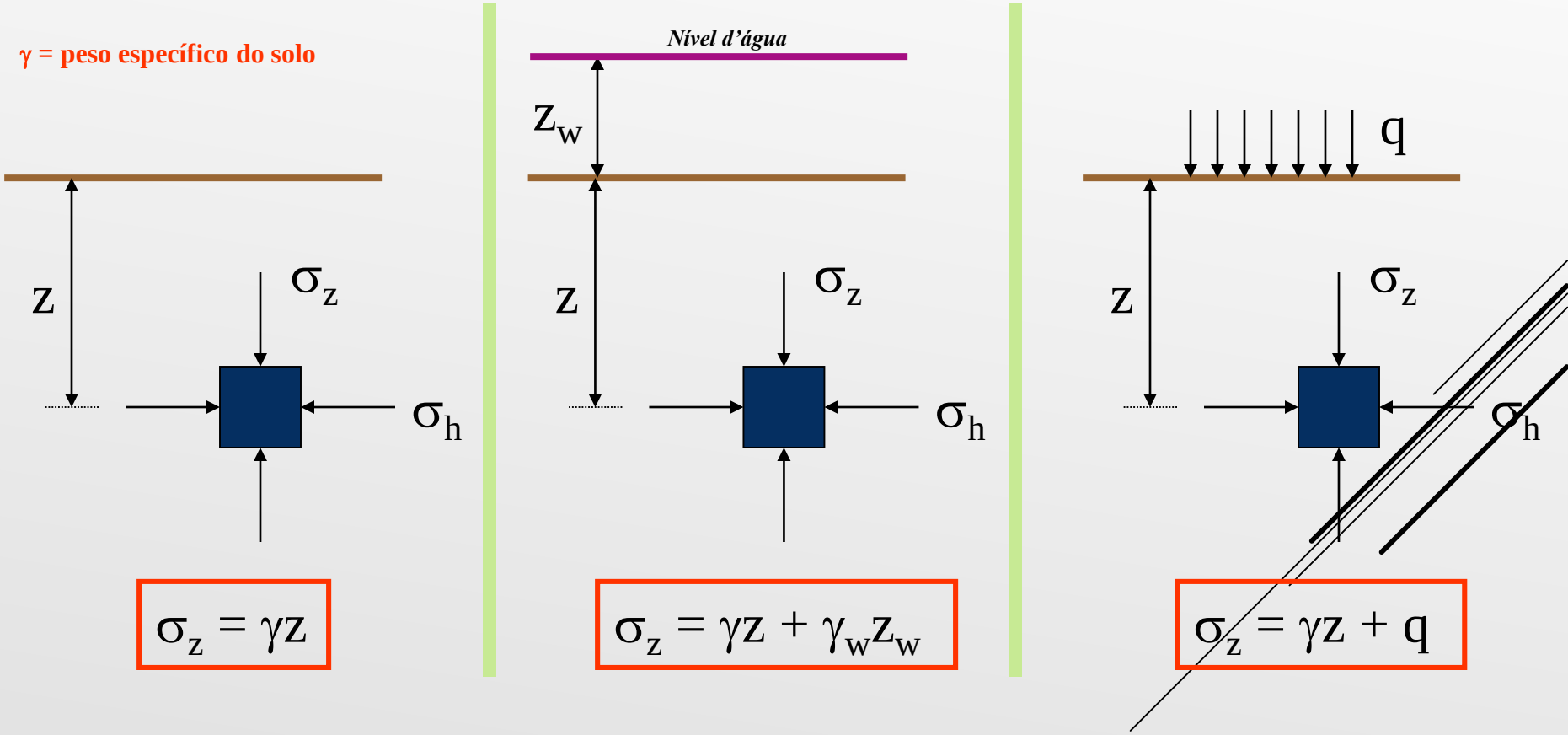


Solo seco

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.**



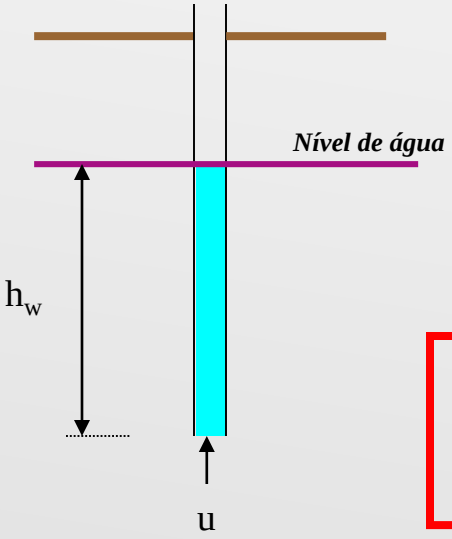
Tensões no Solo

- ✓ **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 um tensão na base de um copo de água.**
- ✓ **O peso especifico 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**

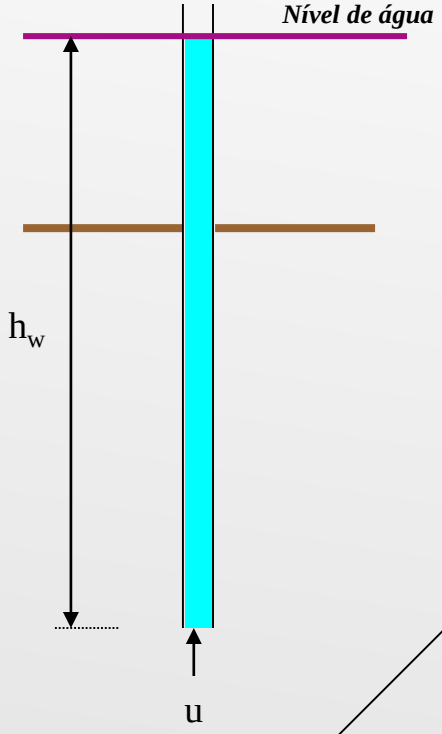
Tensões no Solo

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 todos 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

Tensão Efetiva

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.

Conseqüências

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

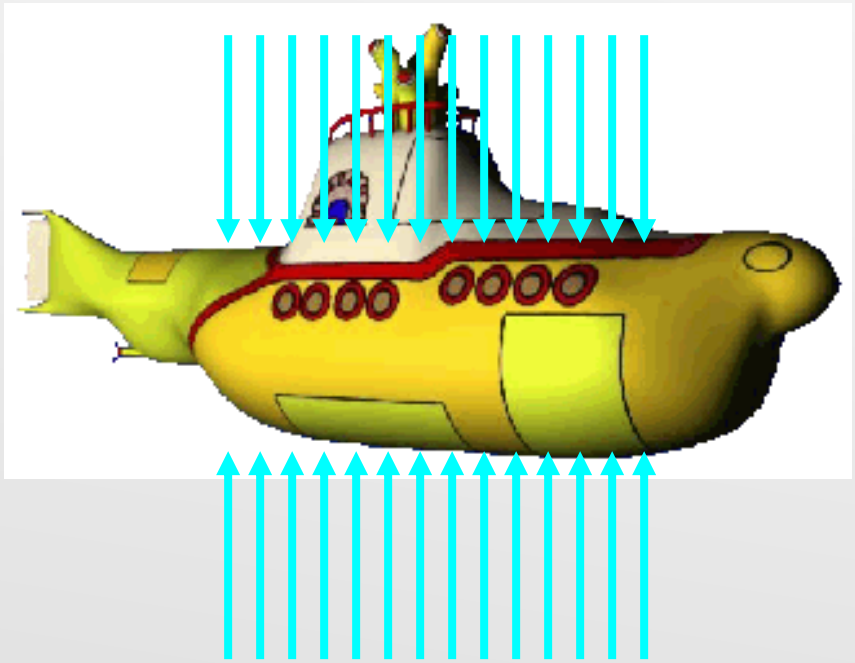
- **É claro que a movimentação do solo e a instabilidade dele pode ser causada por mudanças na tensão total, devida as cargas de fundações ou escavações em geral.**
- **No entanto, não é tão obvio que os movimentos do solo possam ser devido às variações de poro pressão (pressão neutra).**
- **Desta forma, 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.**

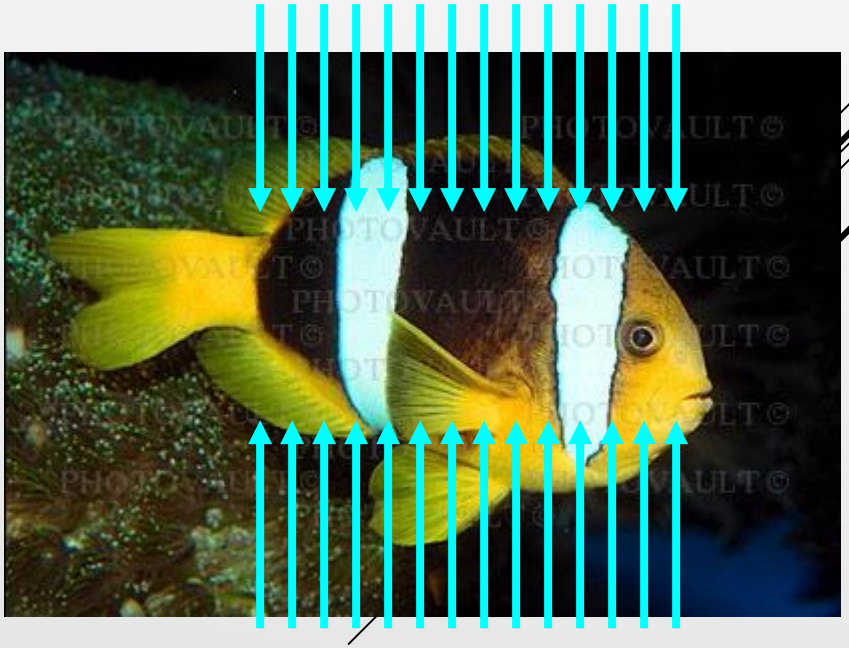
$$\sigma' = \sigma - u$$

σ σ

$u = pressão atmosférica$ $u \cong pressão na\ água$

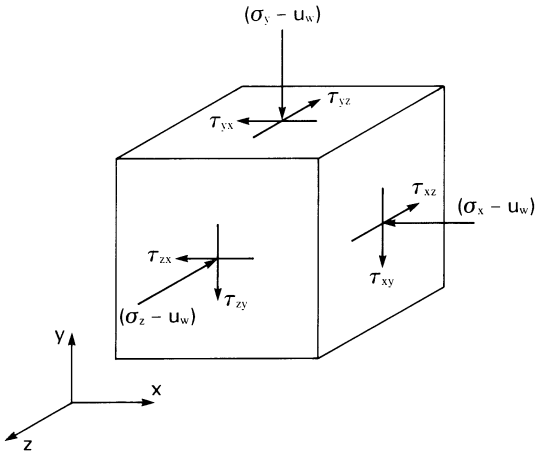
σ' $>$ σ'

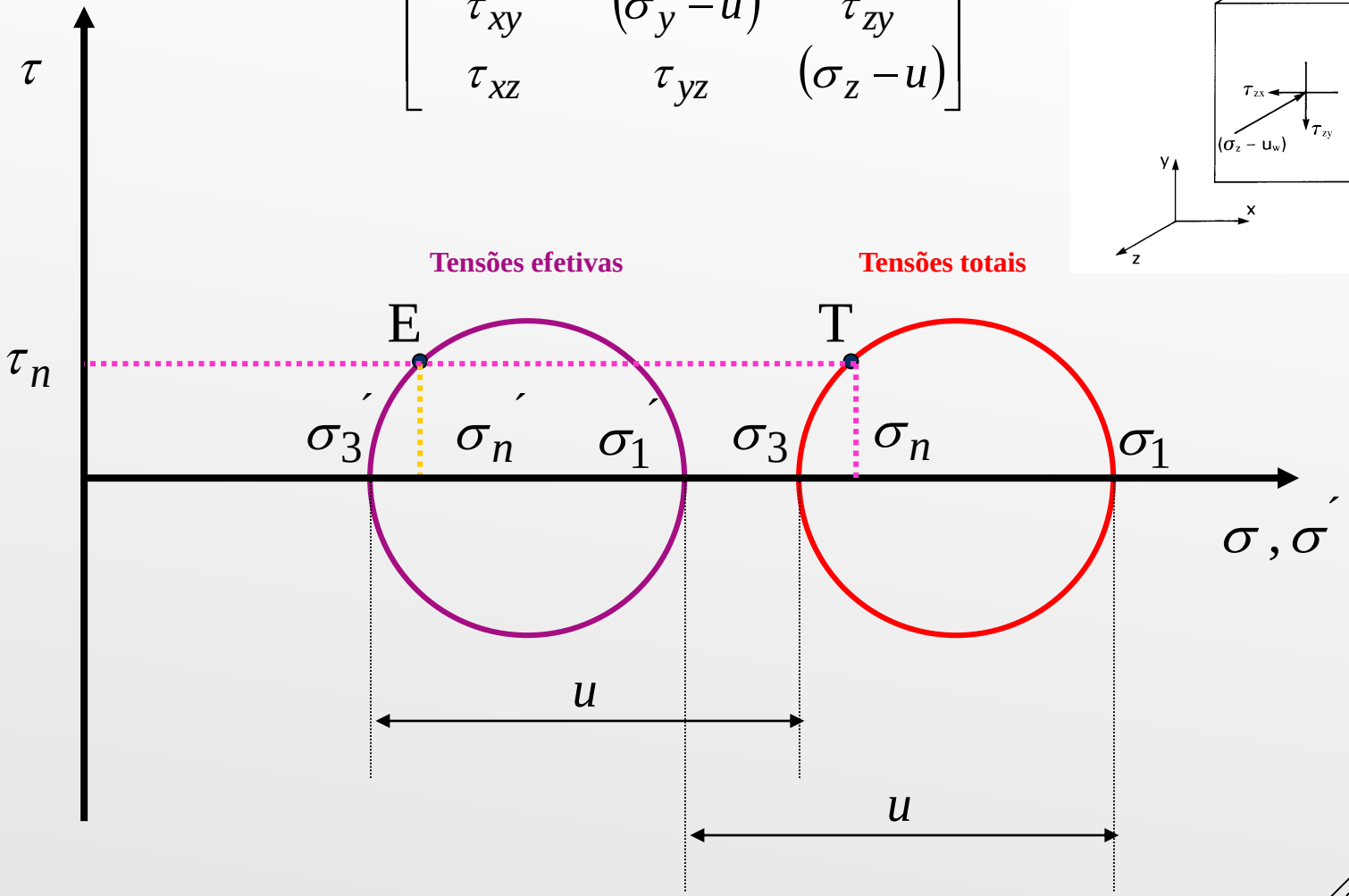




Tensor de tensões para solo saturado

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





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

Tensões no Solo

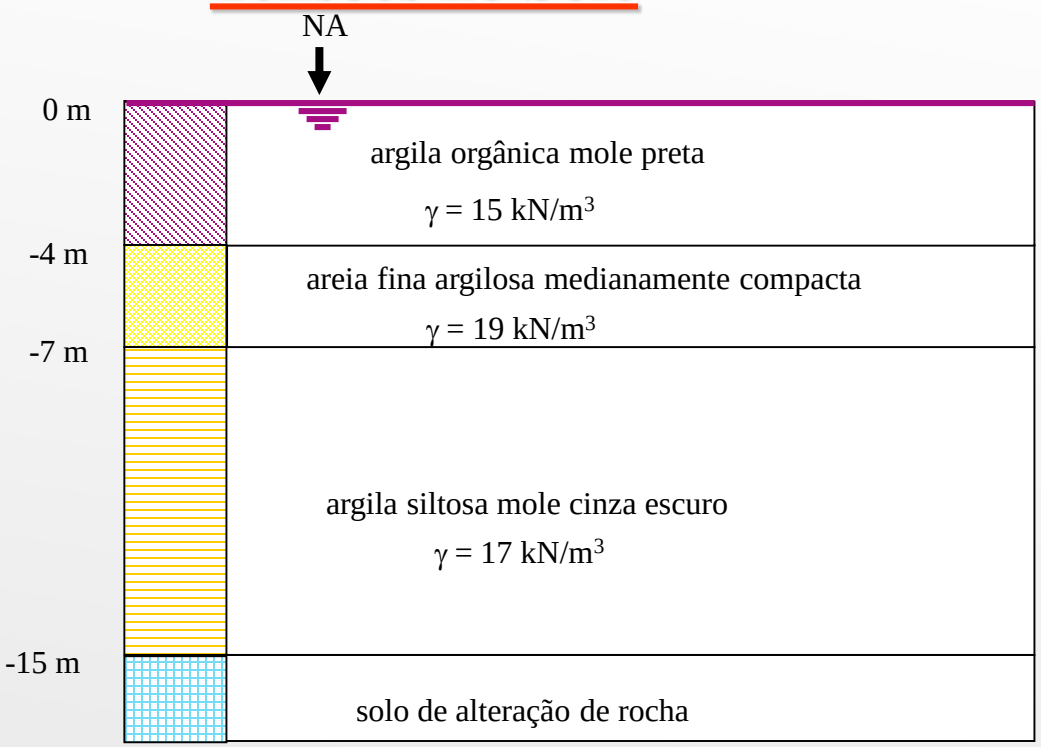
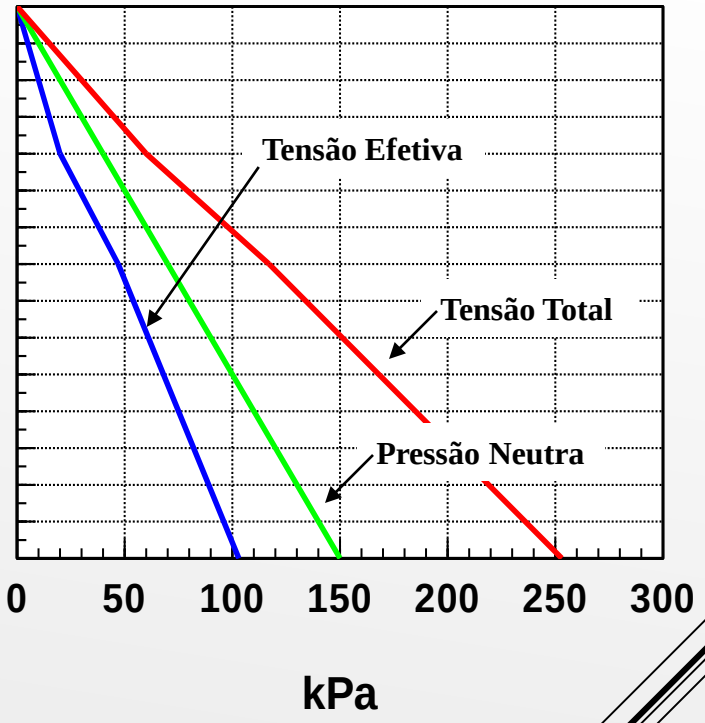


Diagrama de tensões

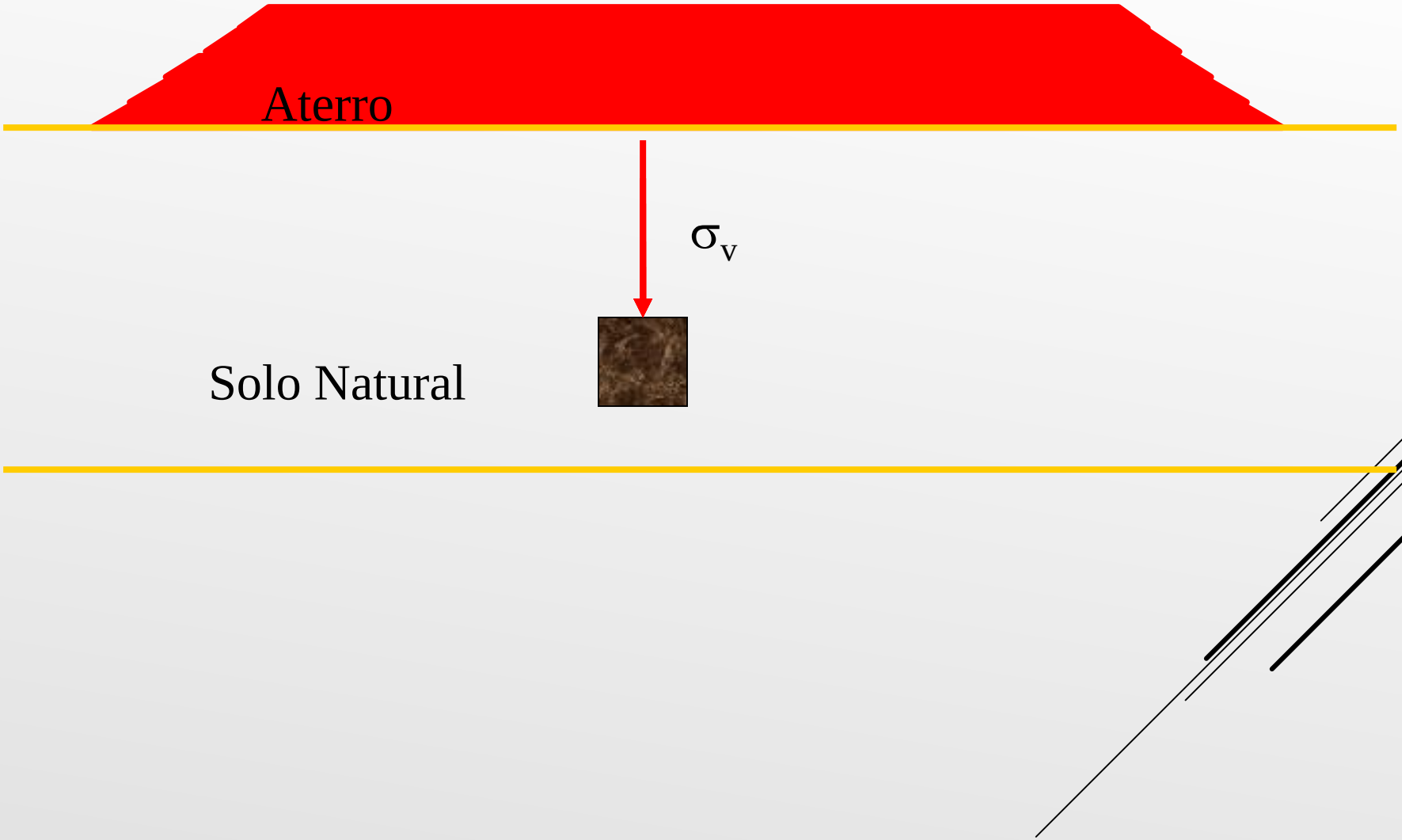


Exemplo para a cota –7m

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

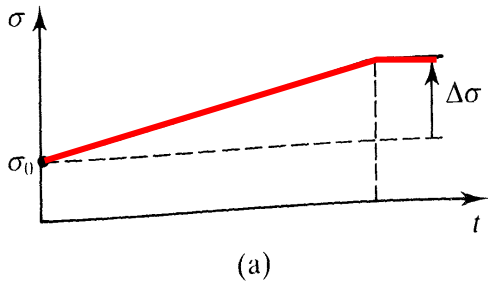
$$u = 10*7 = 70kPa$$

$$\sigma' = \sigma - u = 47kPa$$

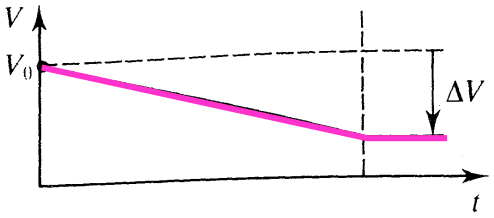

Aterro
σ_v
Solo Natural

Barragem Los Vaqueros

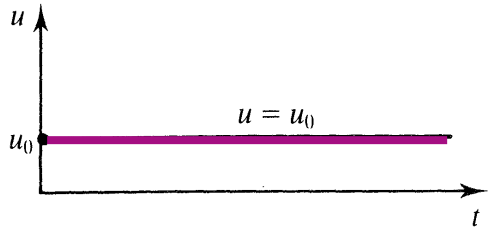




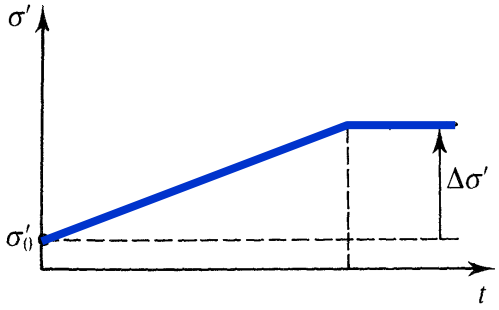
(a)



(b)



(c)



(d)

Atkinson (1993)

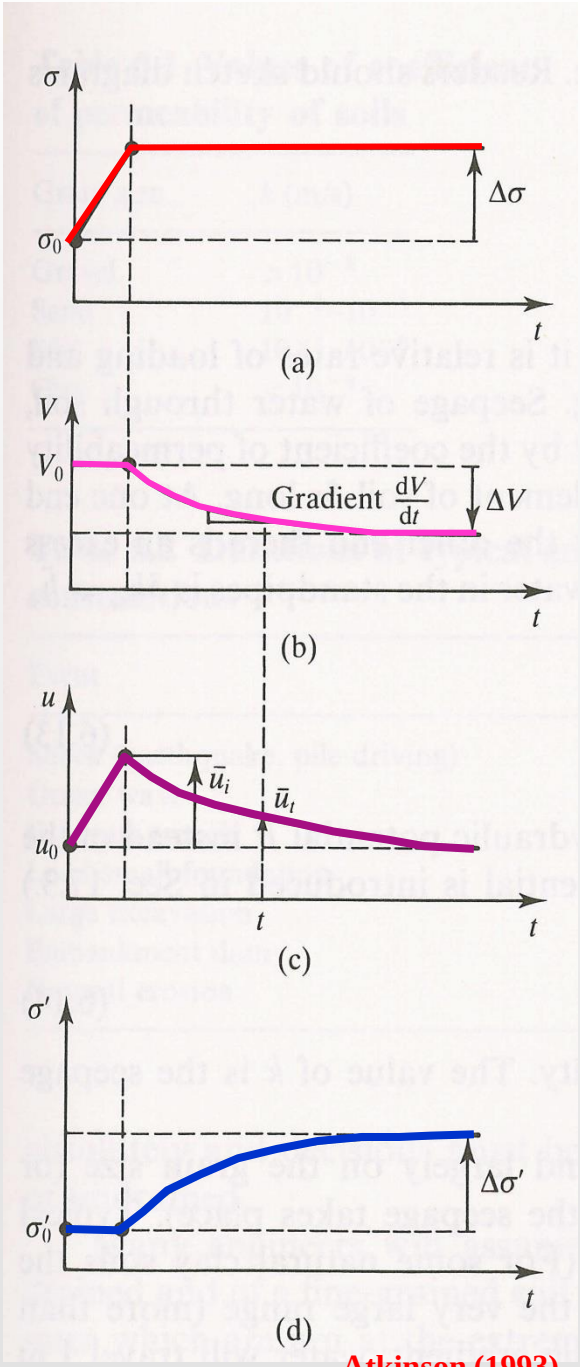
Carregamento – tensões totais

Variação de volume

Desenvolvimento de pressão neutra

Variação de tensão efetiva

Comportamento Drenado



Atkinson (1993)

Carregamento – tensões totais

Variação de volume

Desenvolvimento de pressão neutra

Variação de tensão efetiva

Comportamento não Drenado