

Mecânica dos Solos Não Saturados: Na Prática da Engenharia

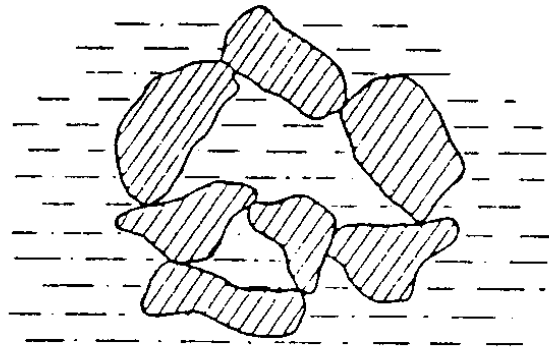
Fernando A. M. Marinho

Universidade de São Paulo

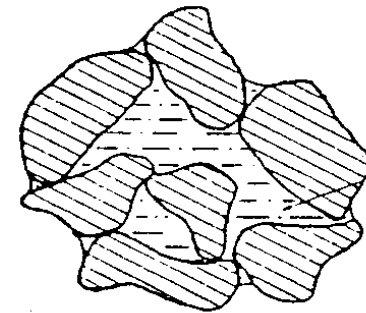
Outubro 2014

Efeito da tensão aplicada e da sucção

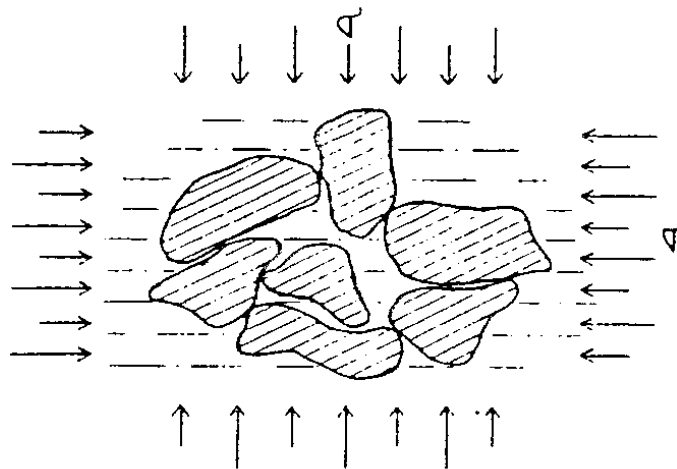
Areia



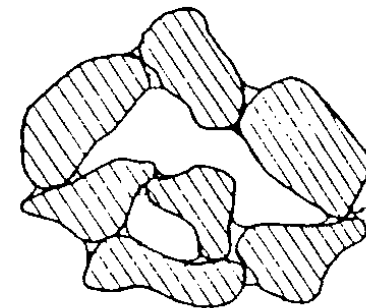
(a)



(c)



(b)

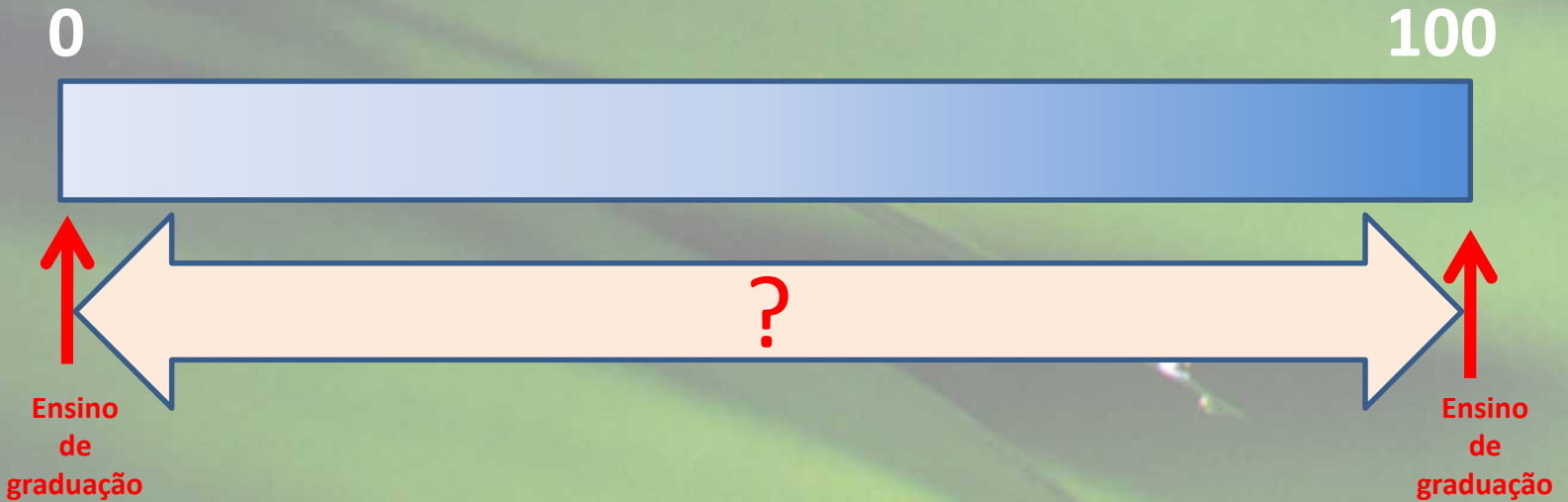


(d)

$$\sigma' = \sigma - u_w$$

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi(u_a - u_w)$$

Grau de Saturação (%)



"If you learn to think the way unsaturated soil behaves, then you will make wise engineering decisions" – Dell Fredlund



1.130.000.000 referências ao termo Prática

Journal of **Aplied** Nutrition

Aplied Osteopathy Yearbook

Journal of **Aplied** Physiology

Solid State Physics : Problems and Solutions

Journal of **Aplied** Physics

Theoretical and **Applied** Aspects of Health Psychology

A **Practical** Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling

The Basic **Practice** of Statistics

Counseling the Culturally Diverse: Theory and **Practice**

The **Practice** of Nursing Research: Conduct, C

Theory and **Practice** of Group Psychotherapy

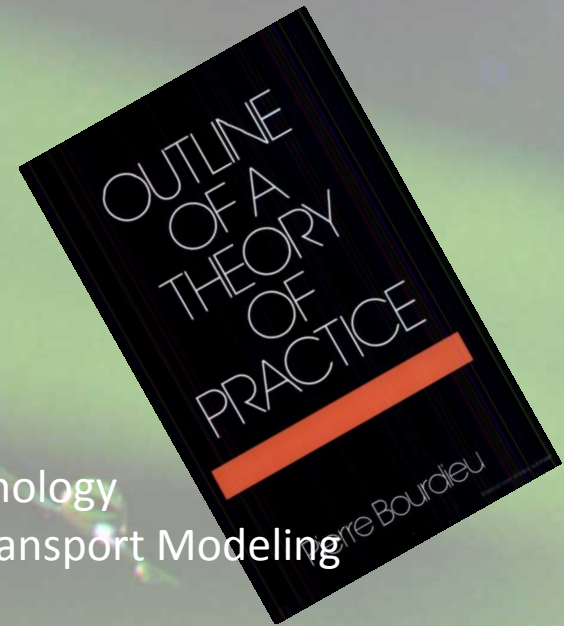
Leadership : Theory and **Practice**

The **Practice** of the Presence of God: With Spi

Practice Makes Perfect: Spanish Pronouns And

The **Practice** of Programming

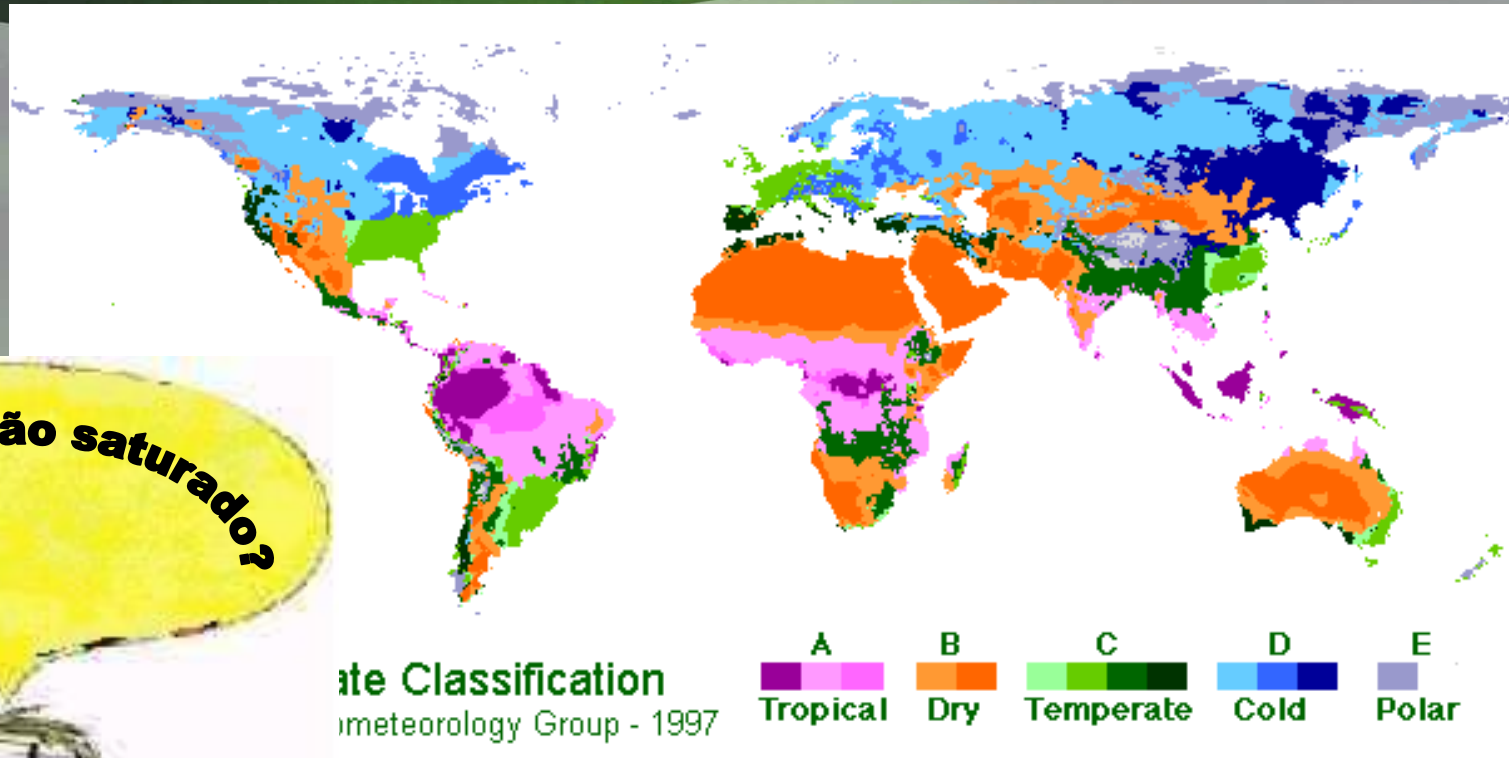
Massage Therapy: Principles and **Practice**



O que há de diferente no enfoque “não saturado”?

Princípio das tensões efetivas (validade)

Interação com o meio ambiente



- Grande parte das obras de engenharia são feitas em solos não saturados ou utilizam os solos no estado não saturado.
- Estes solos são muitas vezes interpretados como sendo “problemáticos” porque quando sujeitos a variações de grau de saturação eles expandem, colapsam, reduzem a resistência.
- Em outras palavras mudam as suas características de estado.

Drenagem



Túnel



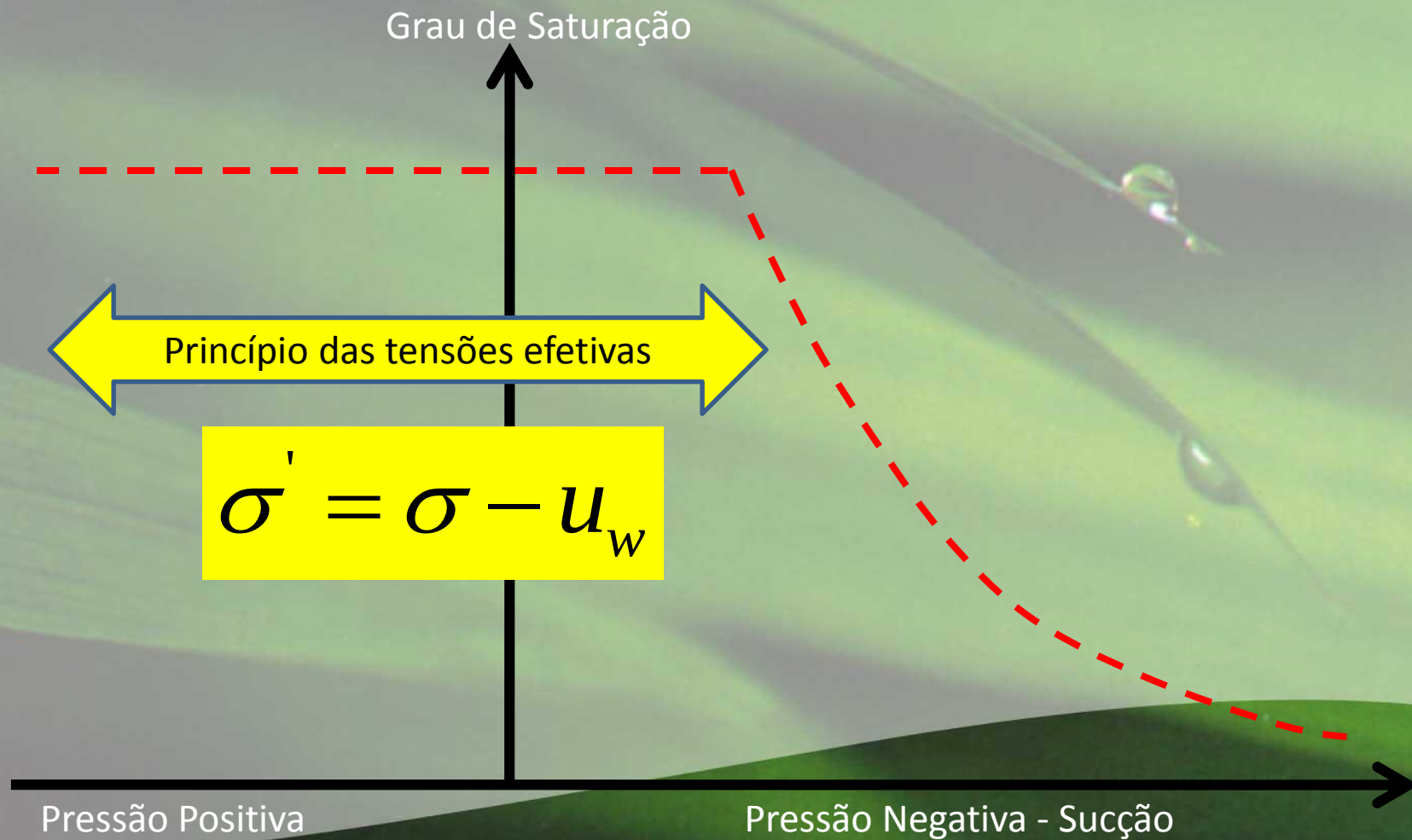
Aterro



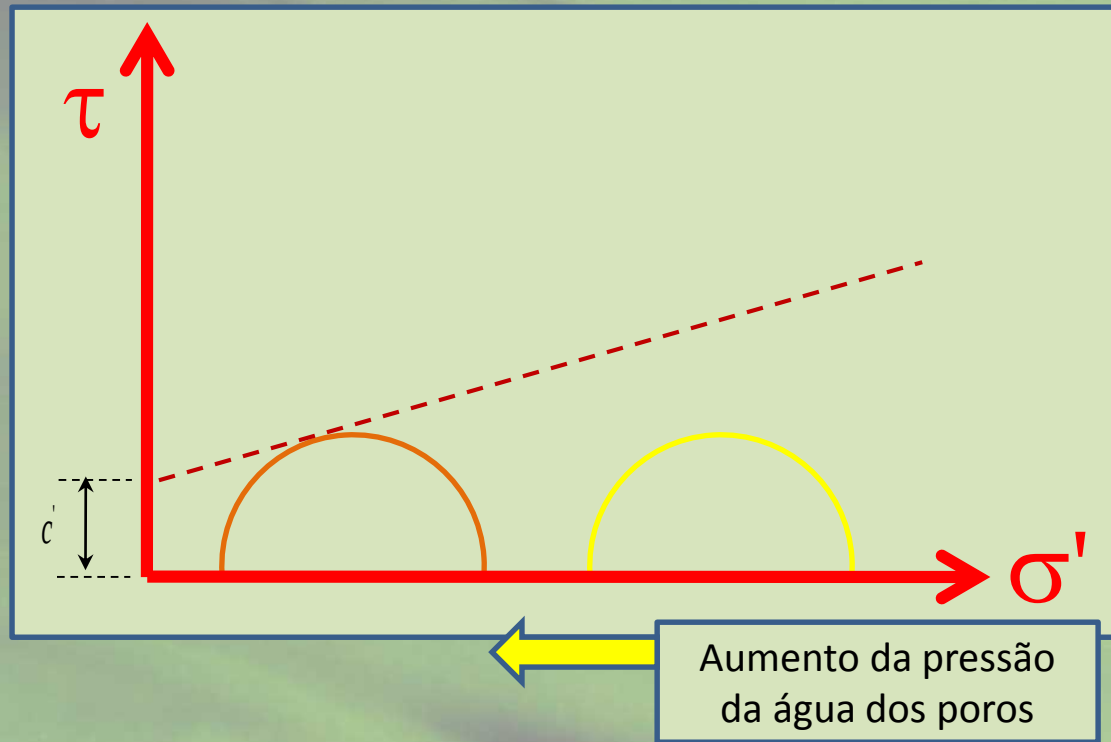




Princípio das tensões efetivas

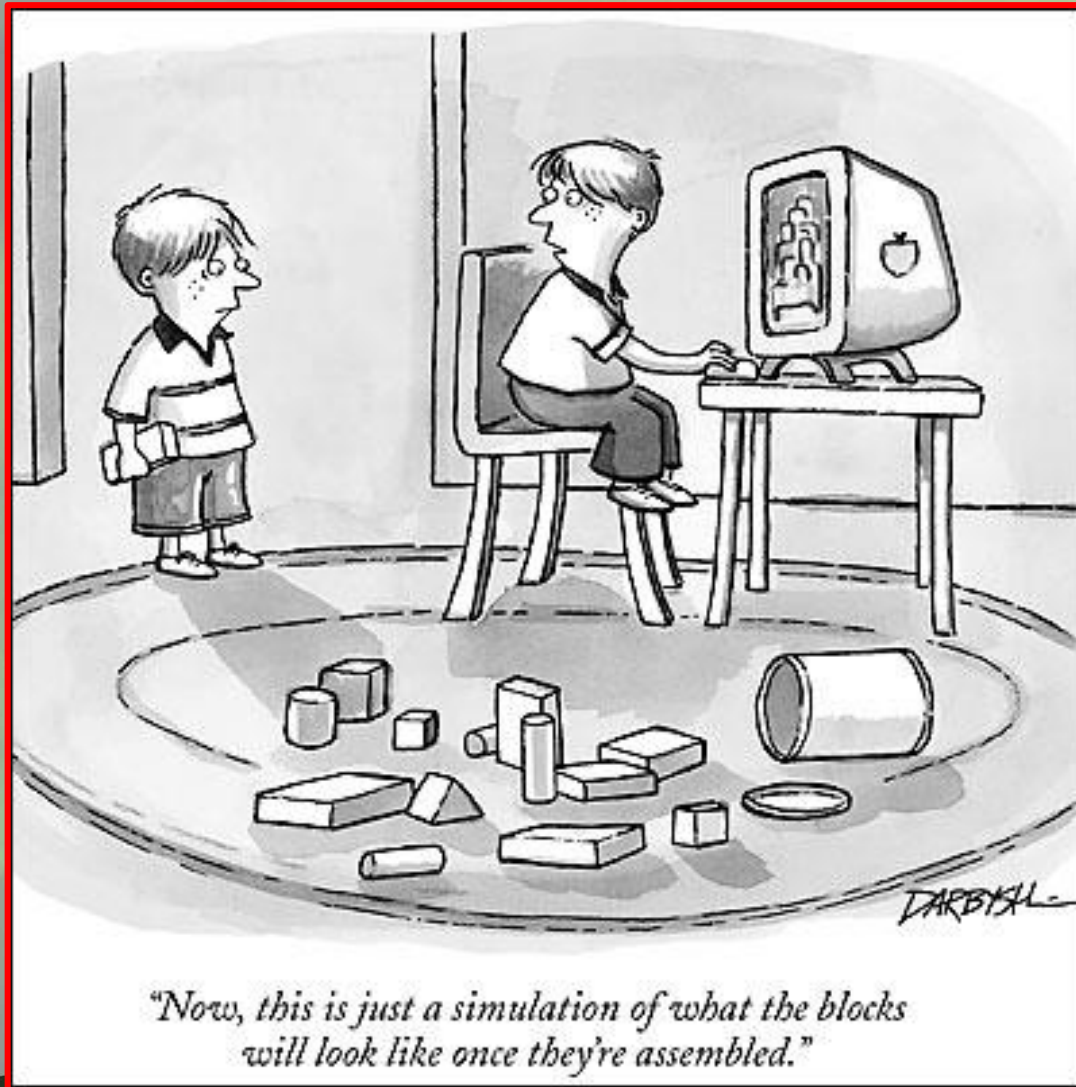


Envoltória de Resistência de um Solo Saturado



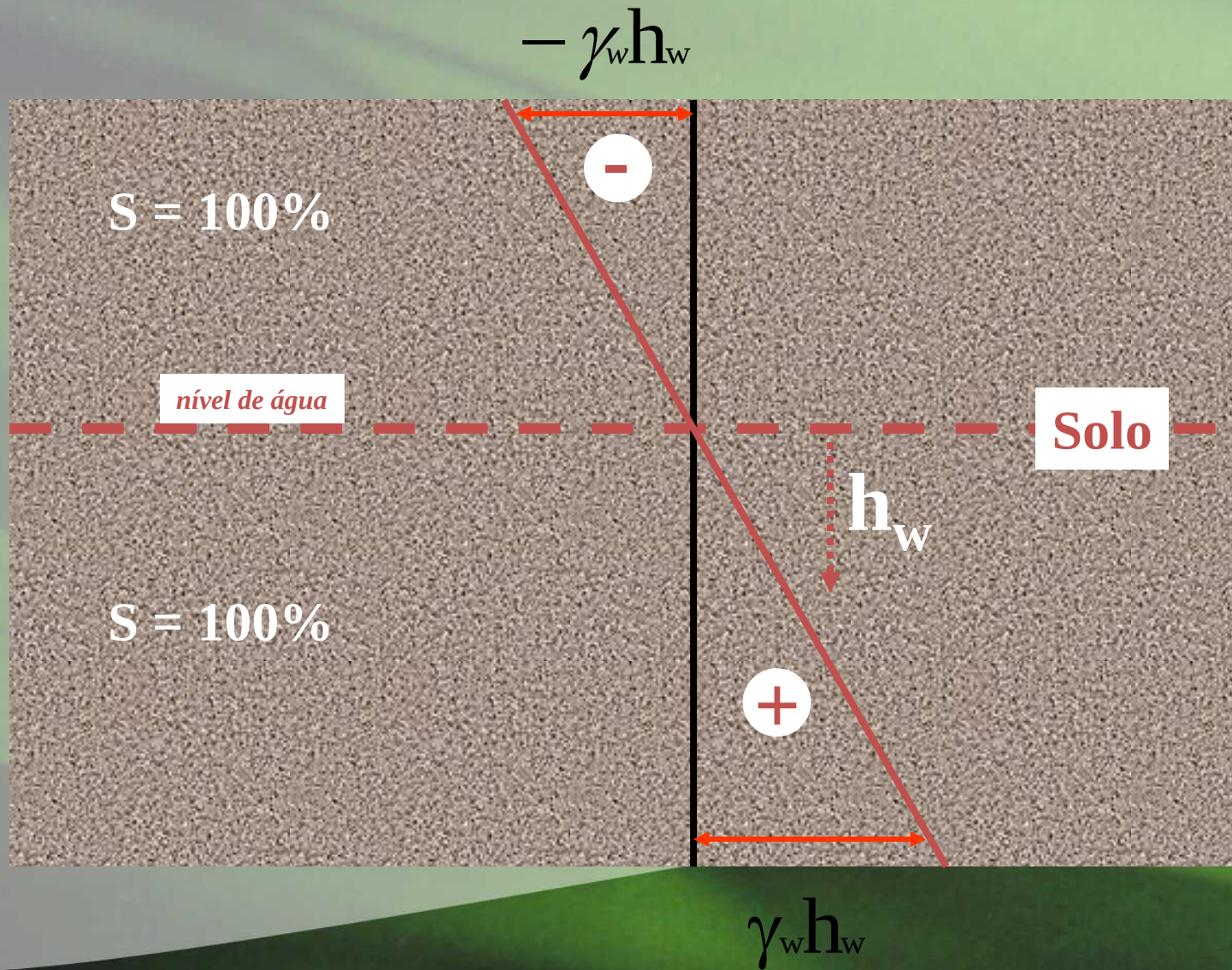


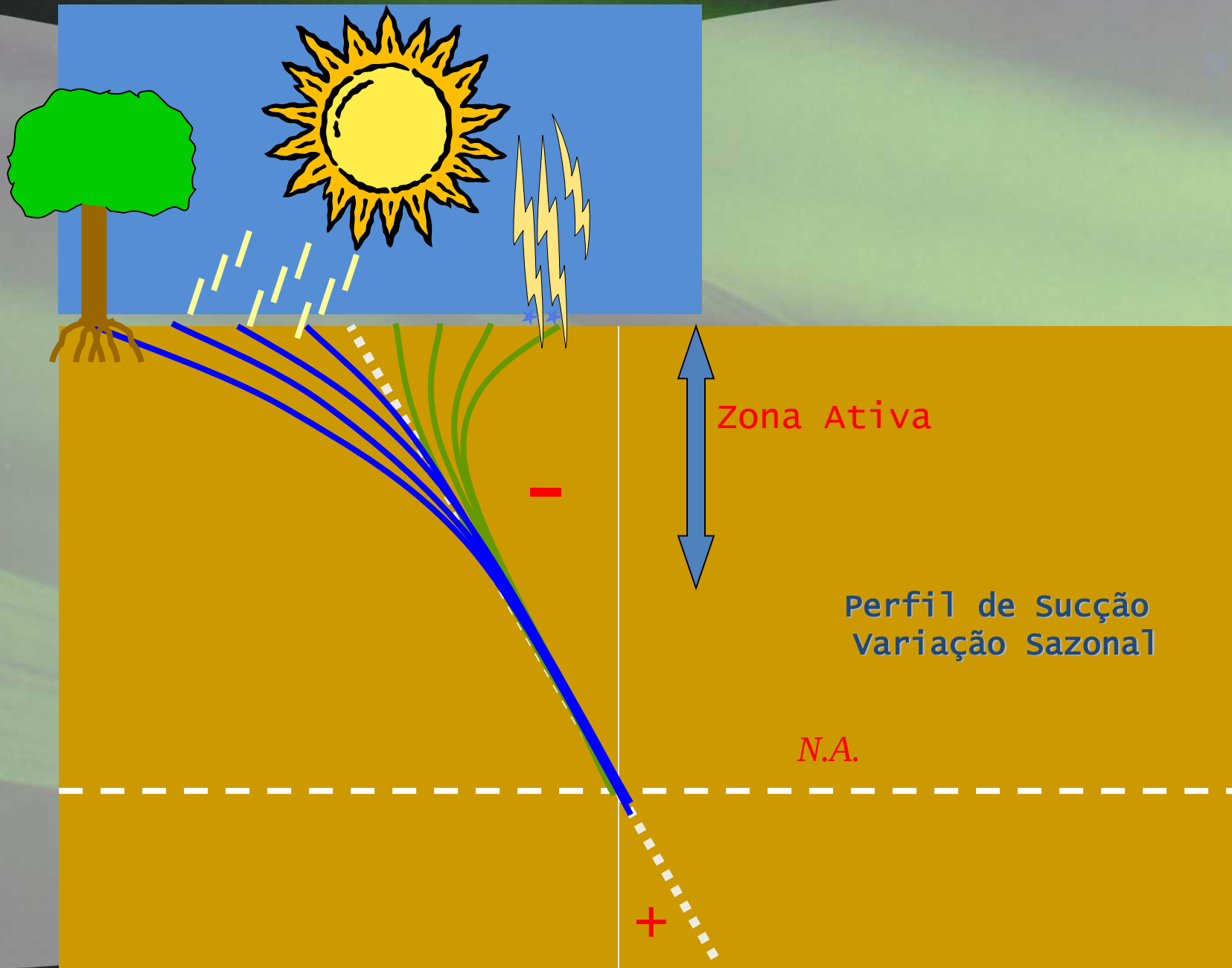
A teoria, a prática e a previsão do comportamento



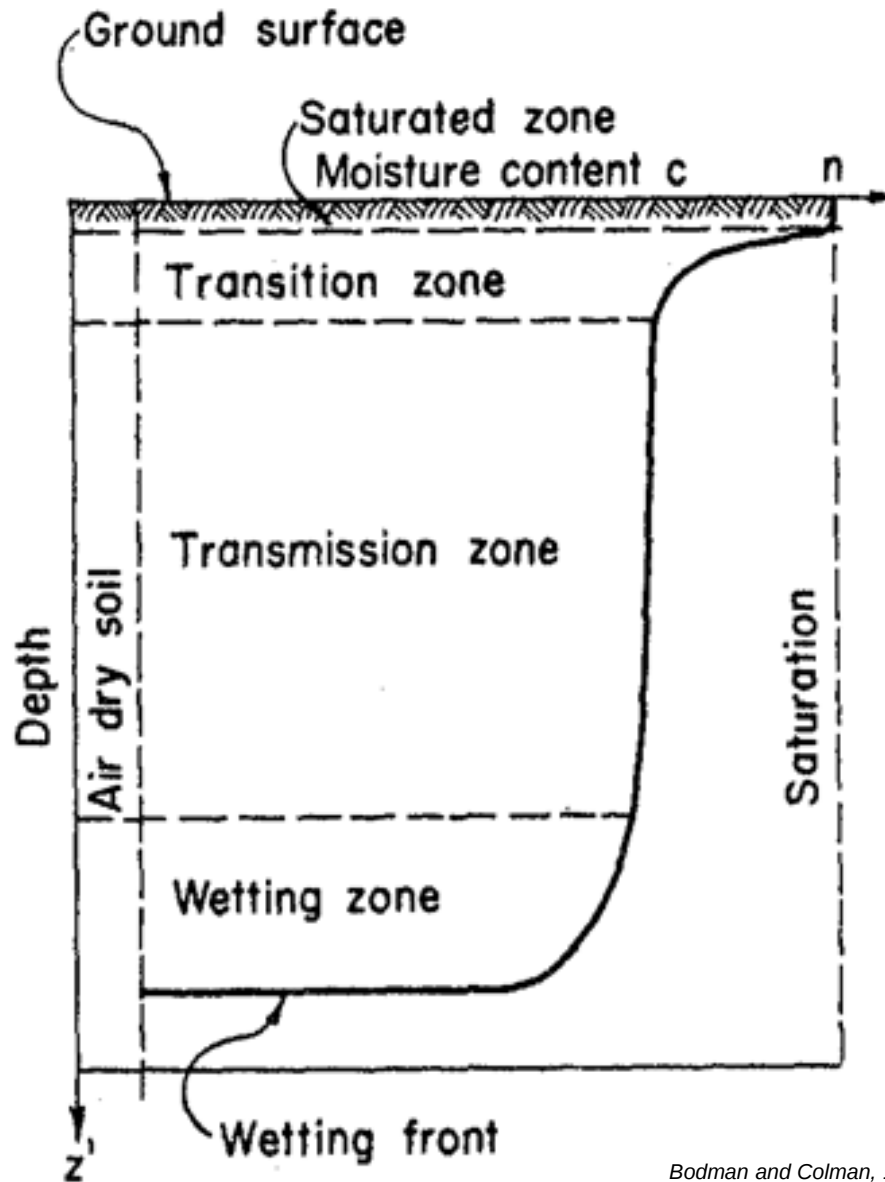


Perfil de pressão da água em meios porosos



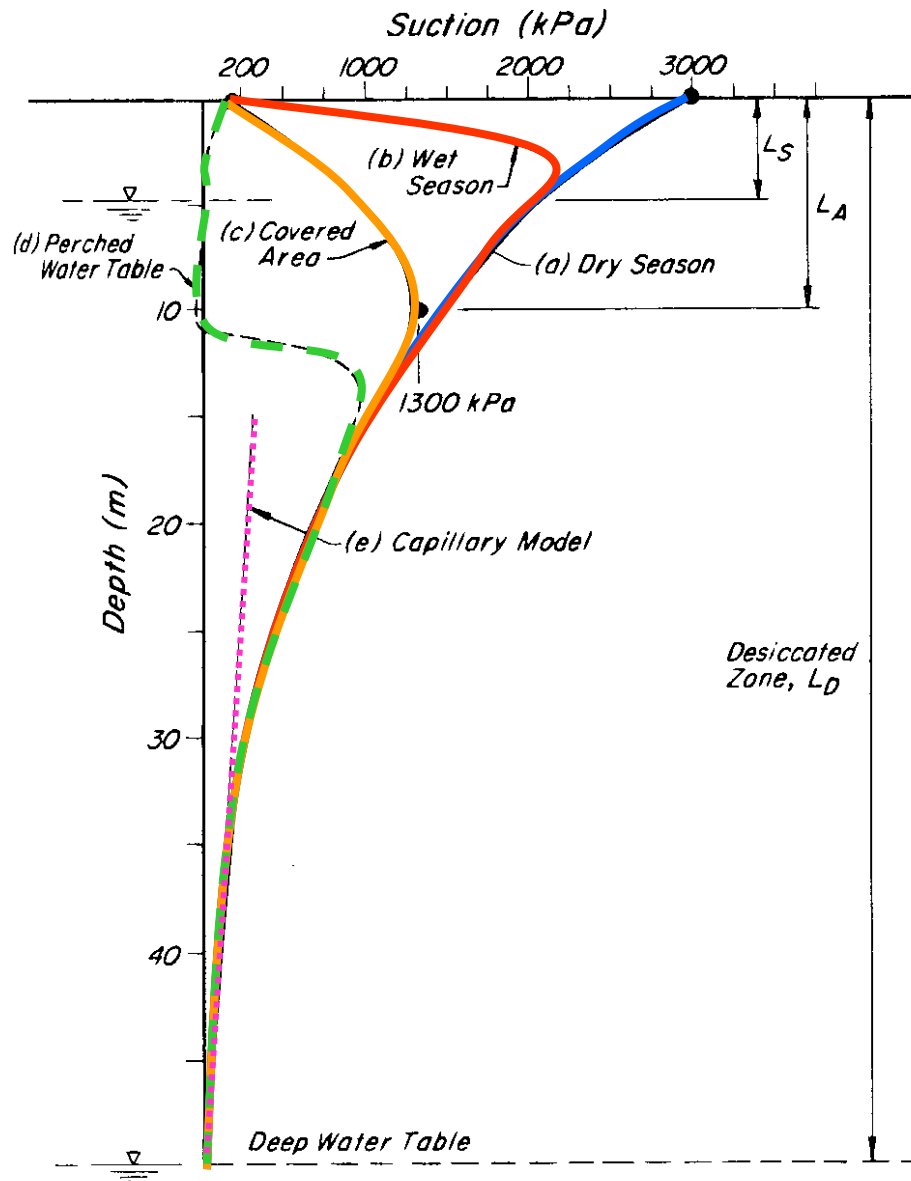


Infiltração



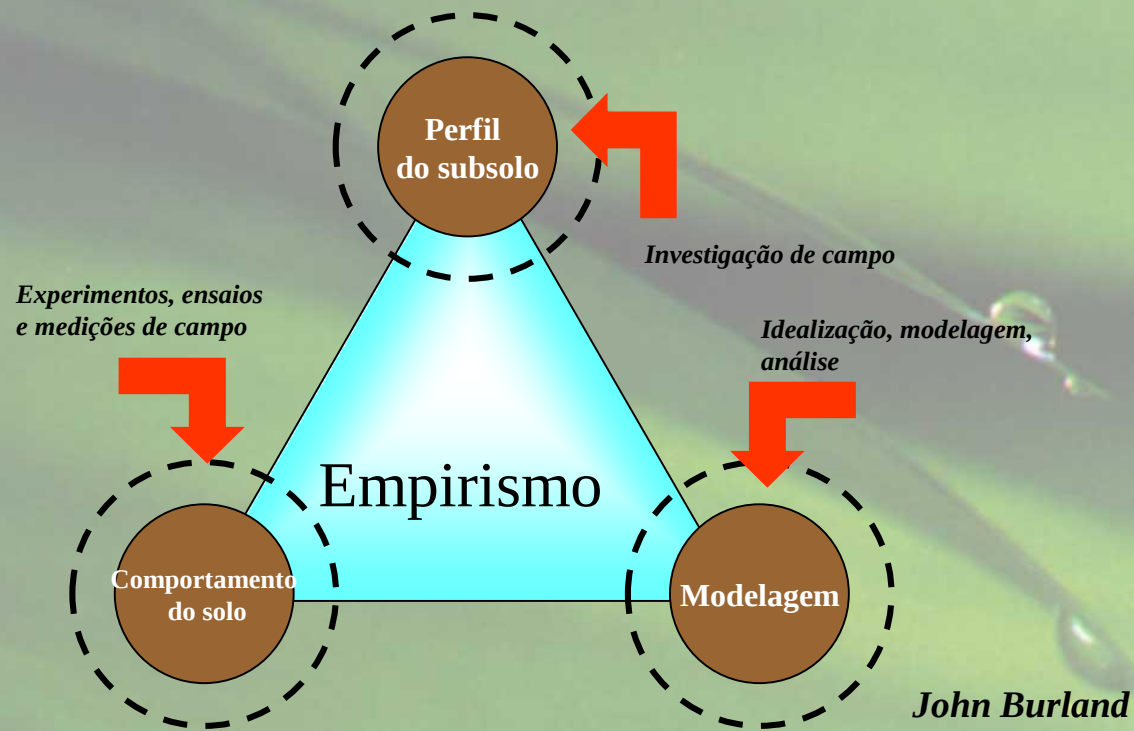
Bodman and Colman, 1948

Exemplos de perfis de sucções



Terzaghi et al. (1996)

- a. Pré-construção em época seca
- b. Pré-construção em época úmida
- c. Pós-construção sob área coberta
- d. Pós-construção acima de nível d'água suspenso
- e. Perfil de Equilíbrio



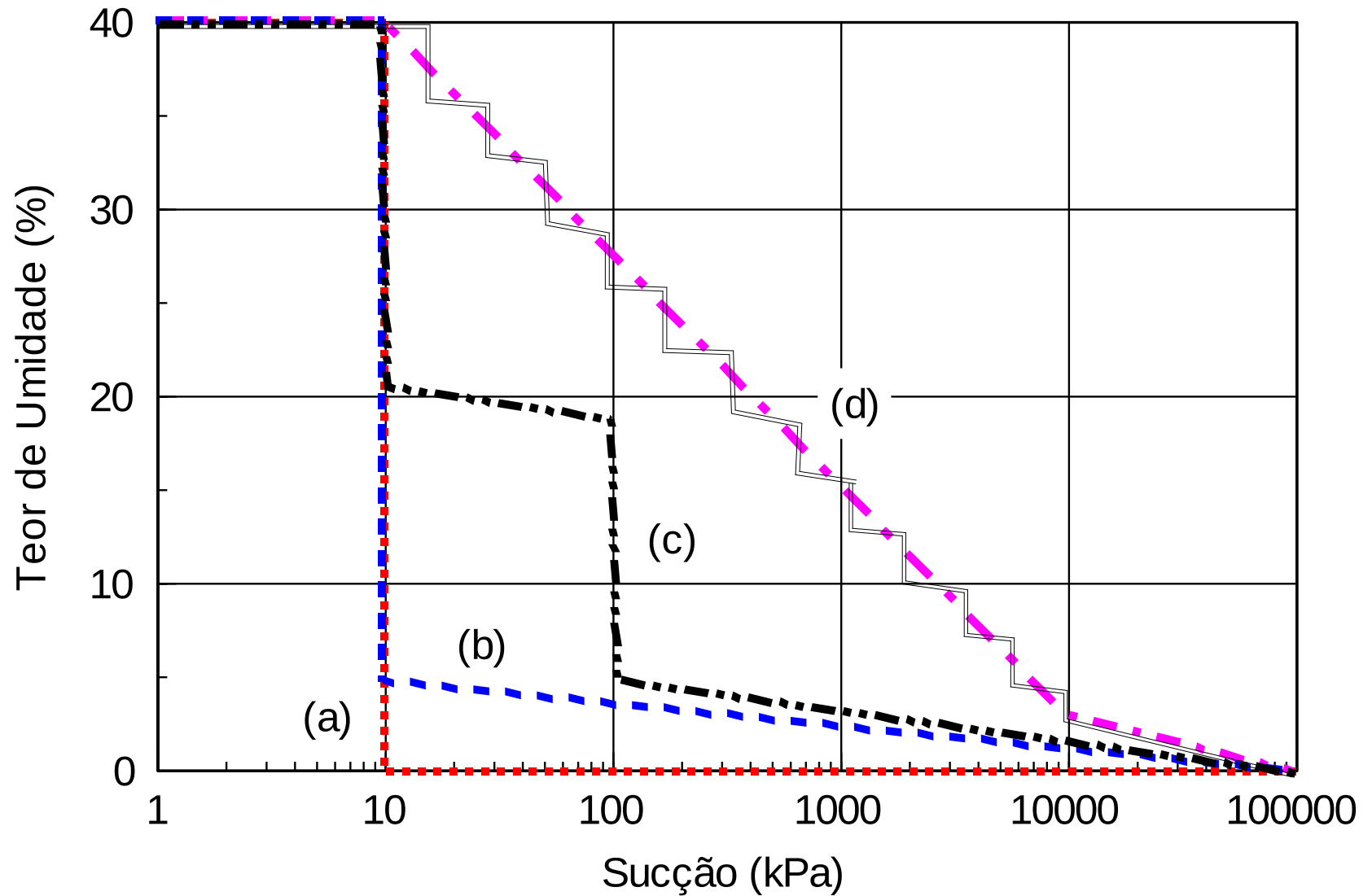
A água nos materiais porosos

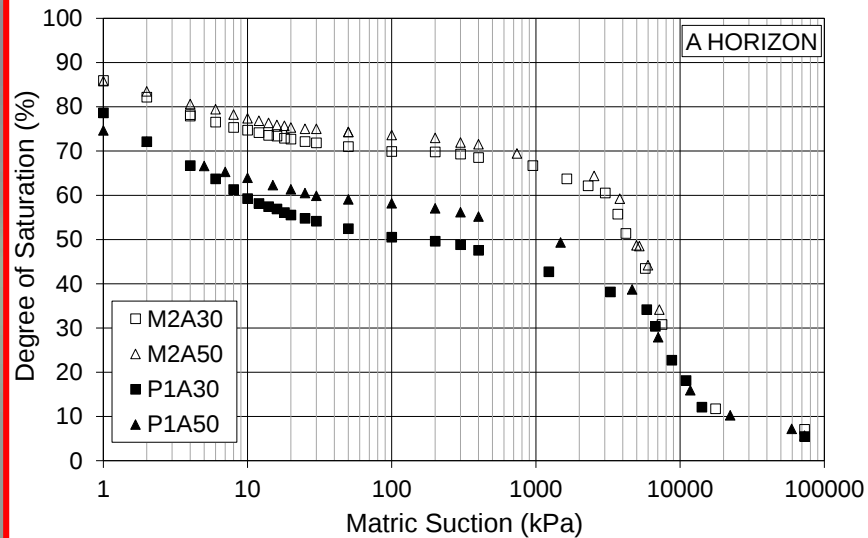
- **Indústria de alimentos**
- **Indústria farmacêutica**
- **Indústria de adubos**
- **Mineração**
- **Agricultura**
- **Engenharia Civil**
- **Engenharia Geotécnica**

A água nos materiais porosos

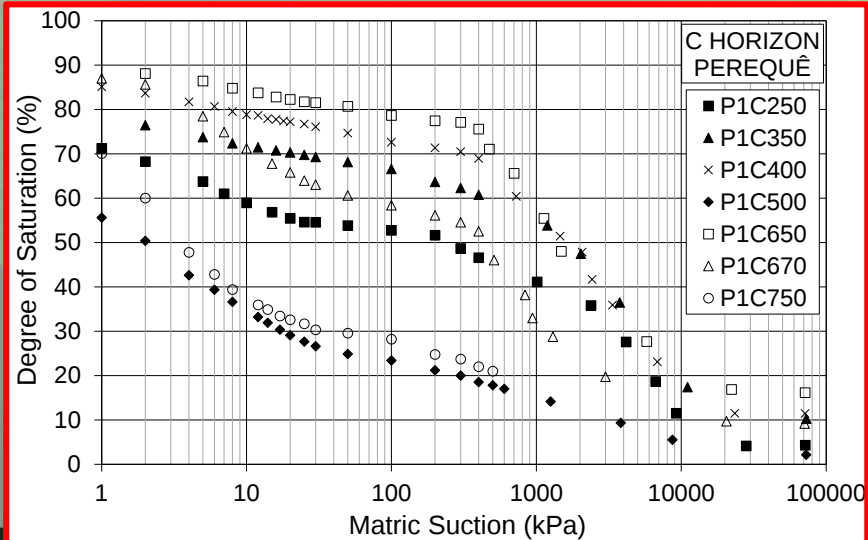


A curva de retenção de água



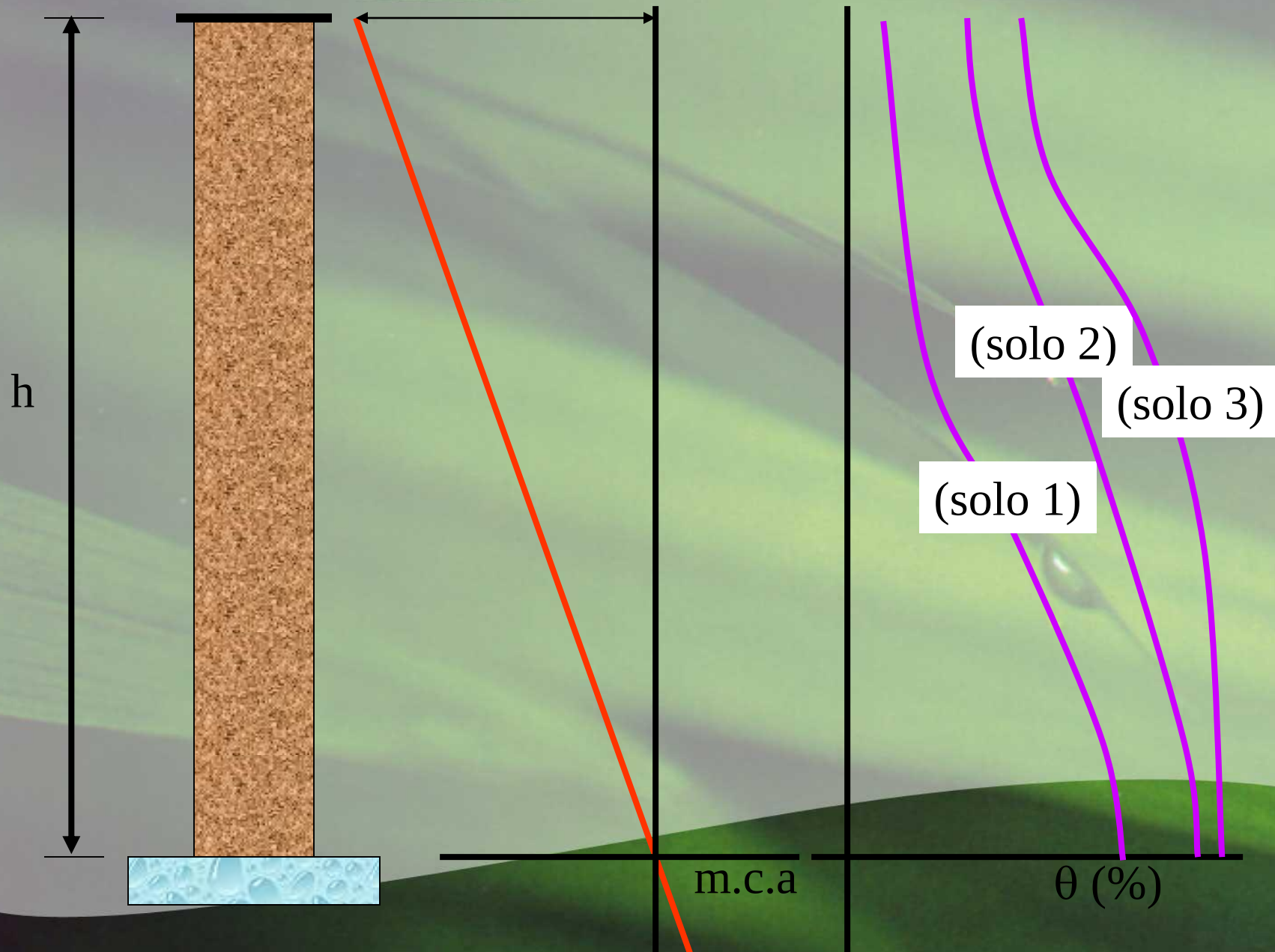


Maranduba and Perequê-Mirim.



Perequê-Mirim

A água nos materiais porosos



Estocagem de minério em Carajás (Brasil -PA)



**Carregamento de minério nos vagões em Carajás
(boa drenagem)**



Terminal Marítimo de Ponta da Madeira



**Estocagem de minério em Ponta da Madeira
(acumulação de água)**



Carregamento do minério no Navio
em Ponta da Madeira



Minério saturado na base do porão



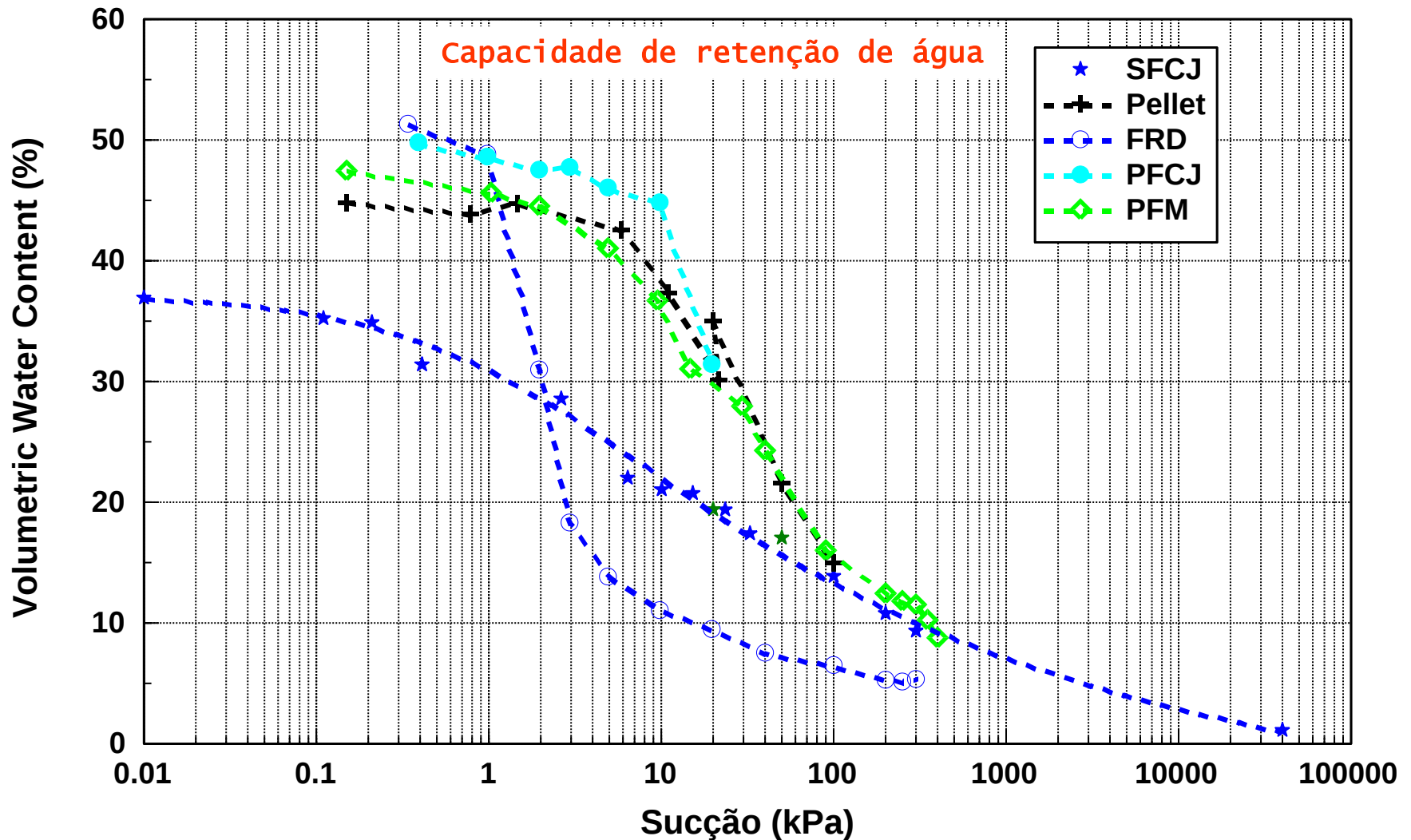
Máquinas para auxiliar a descarga



Perdas de minério

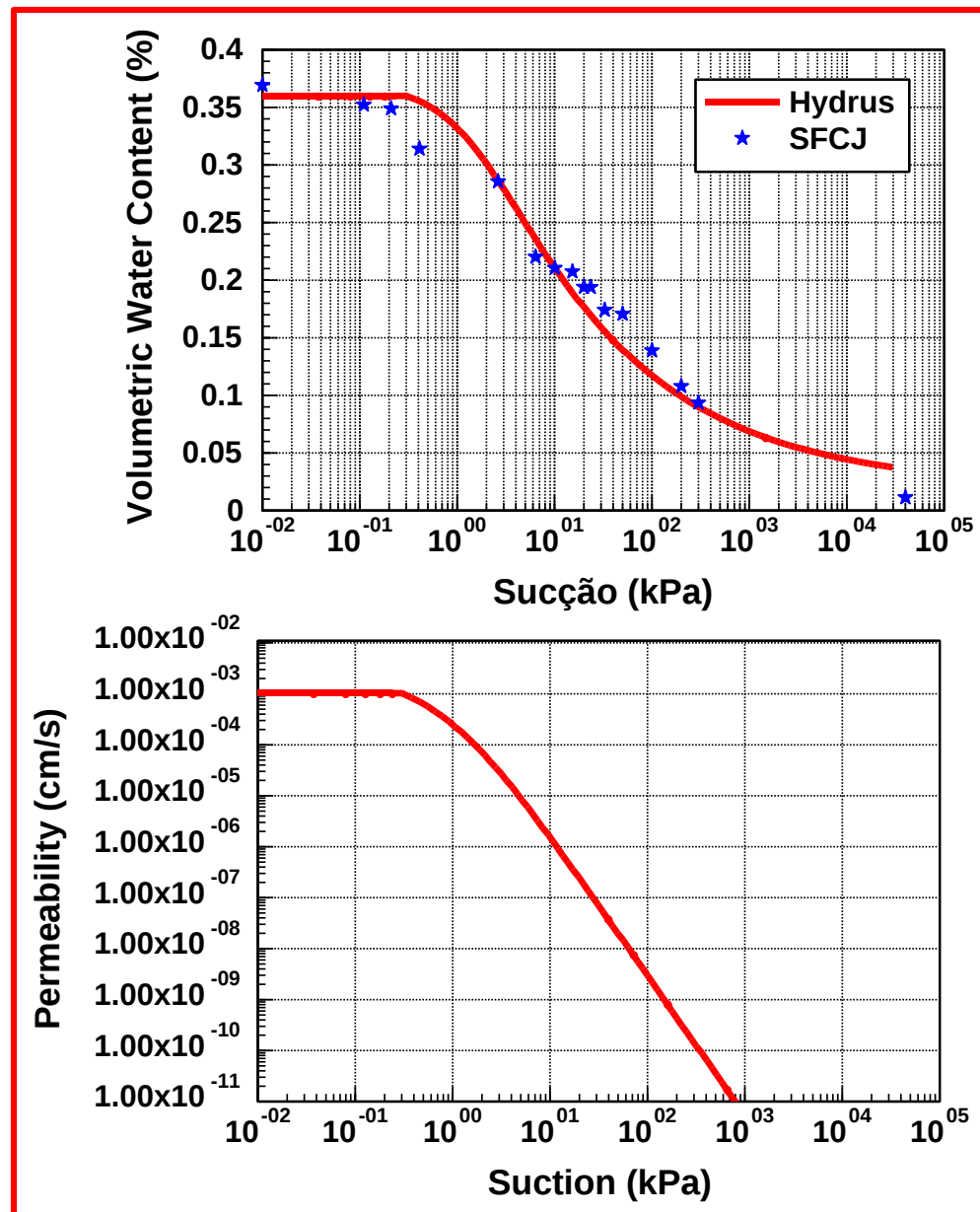


Solos Não Saturados na Prática

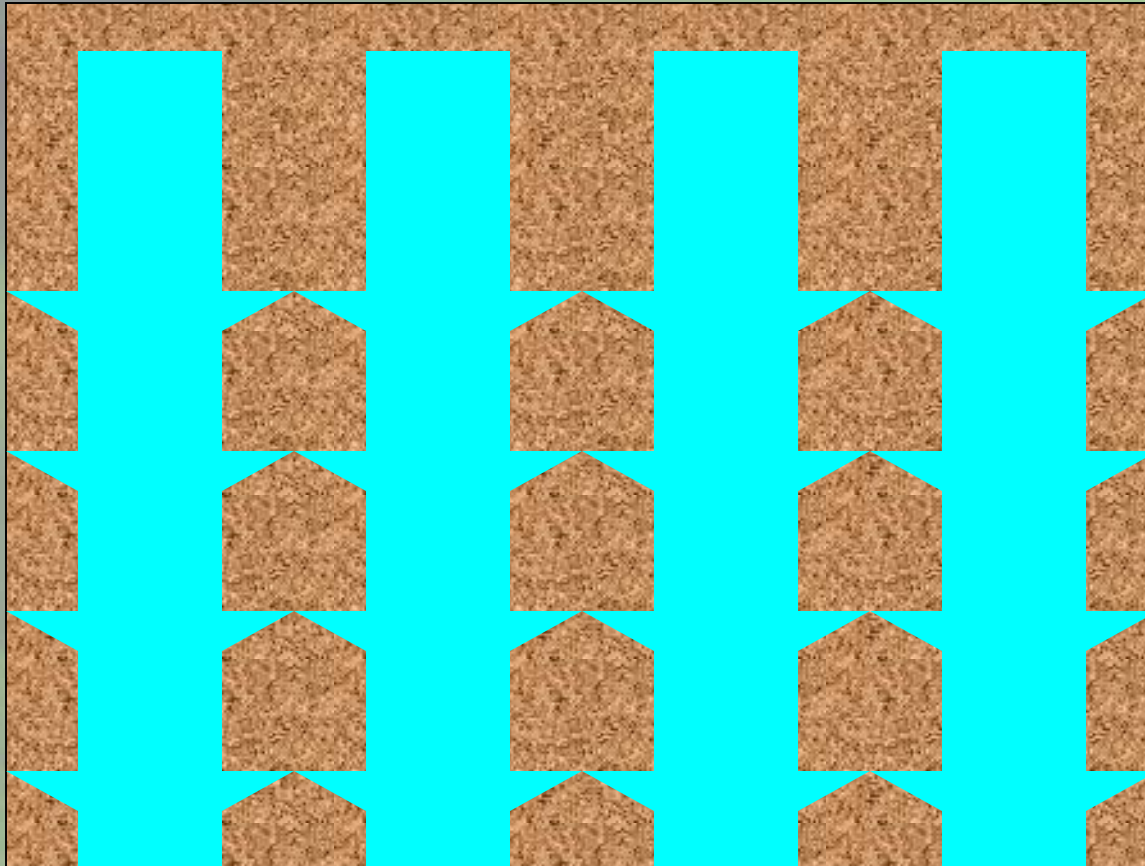


Solos Não Saturados na Prática

Parâmetros e Modelos



Simulação

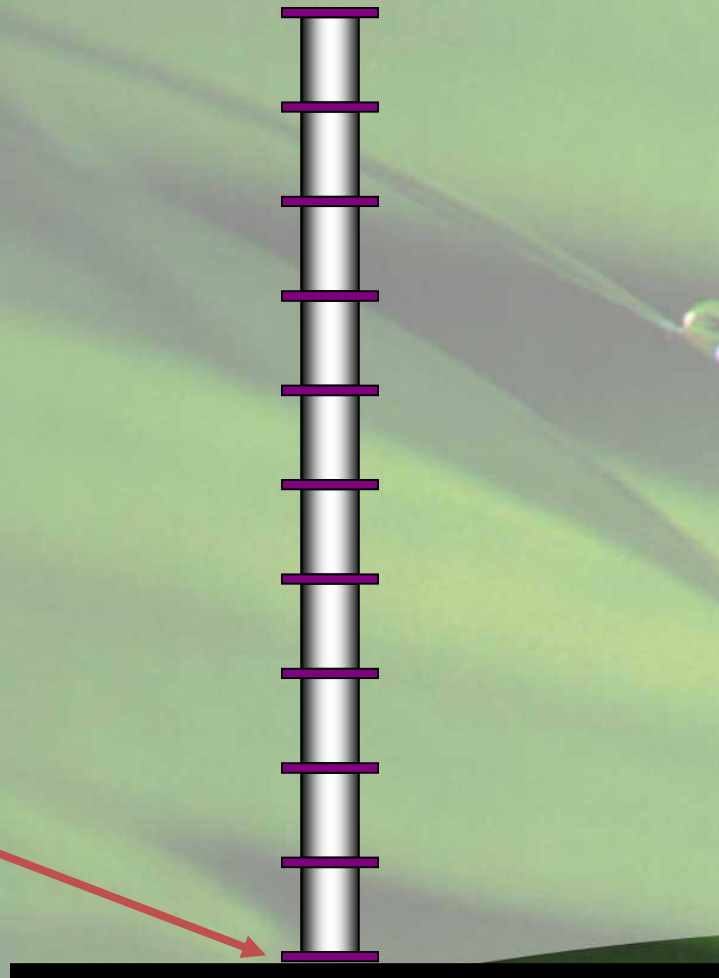


Acumulação de Água

Simulação

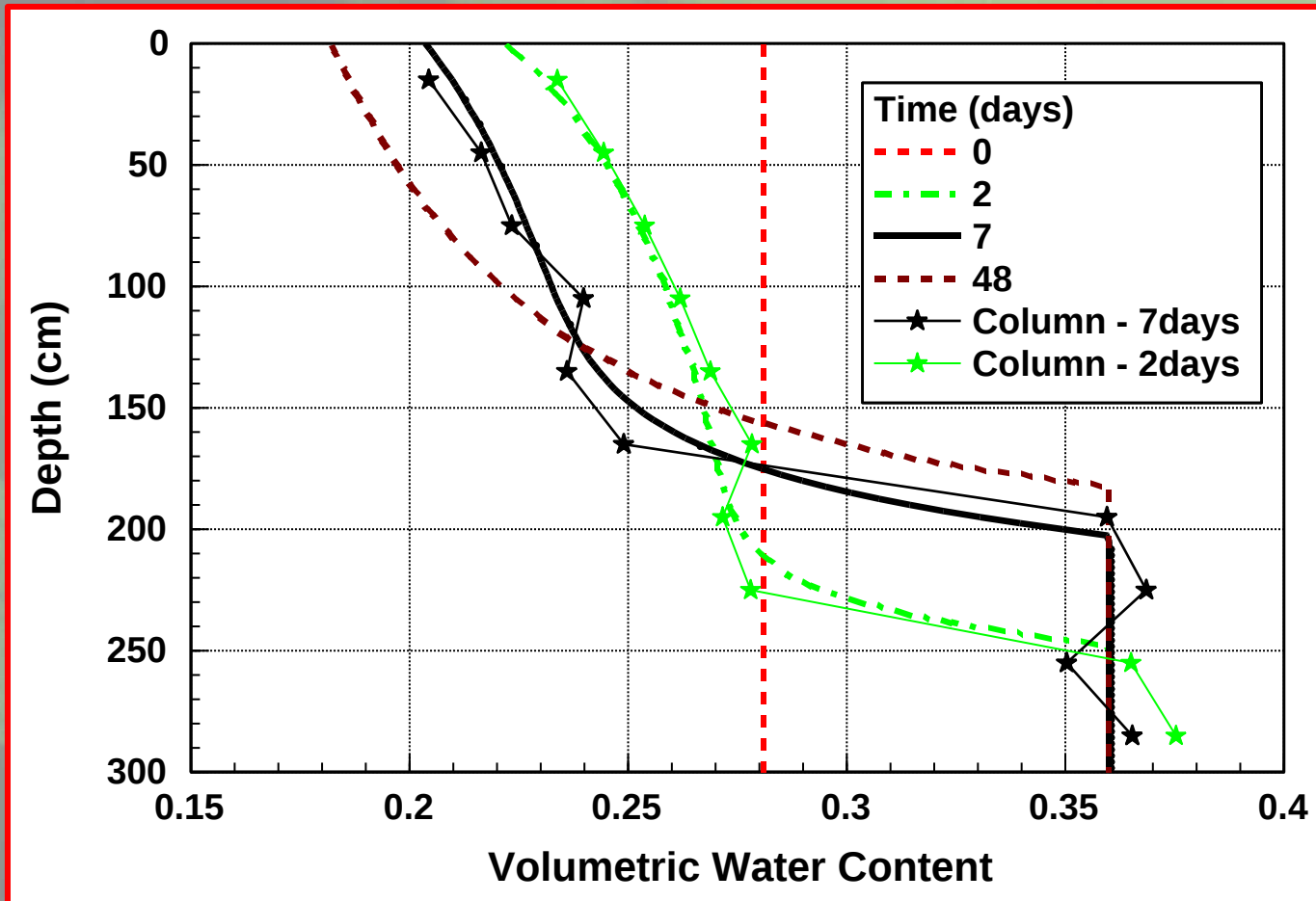
Capacidade de retenção de água

Sem drenagem



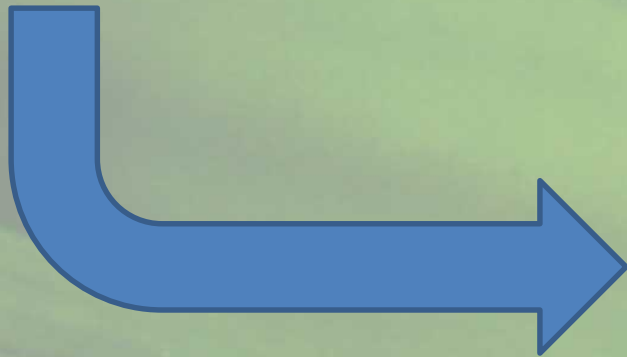


Simulação e Previsão





Ousado (imprudente)



Aumento do FS

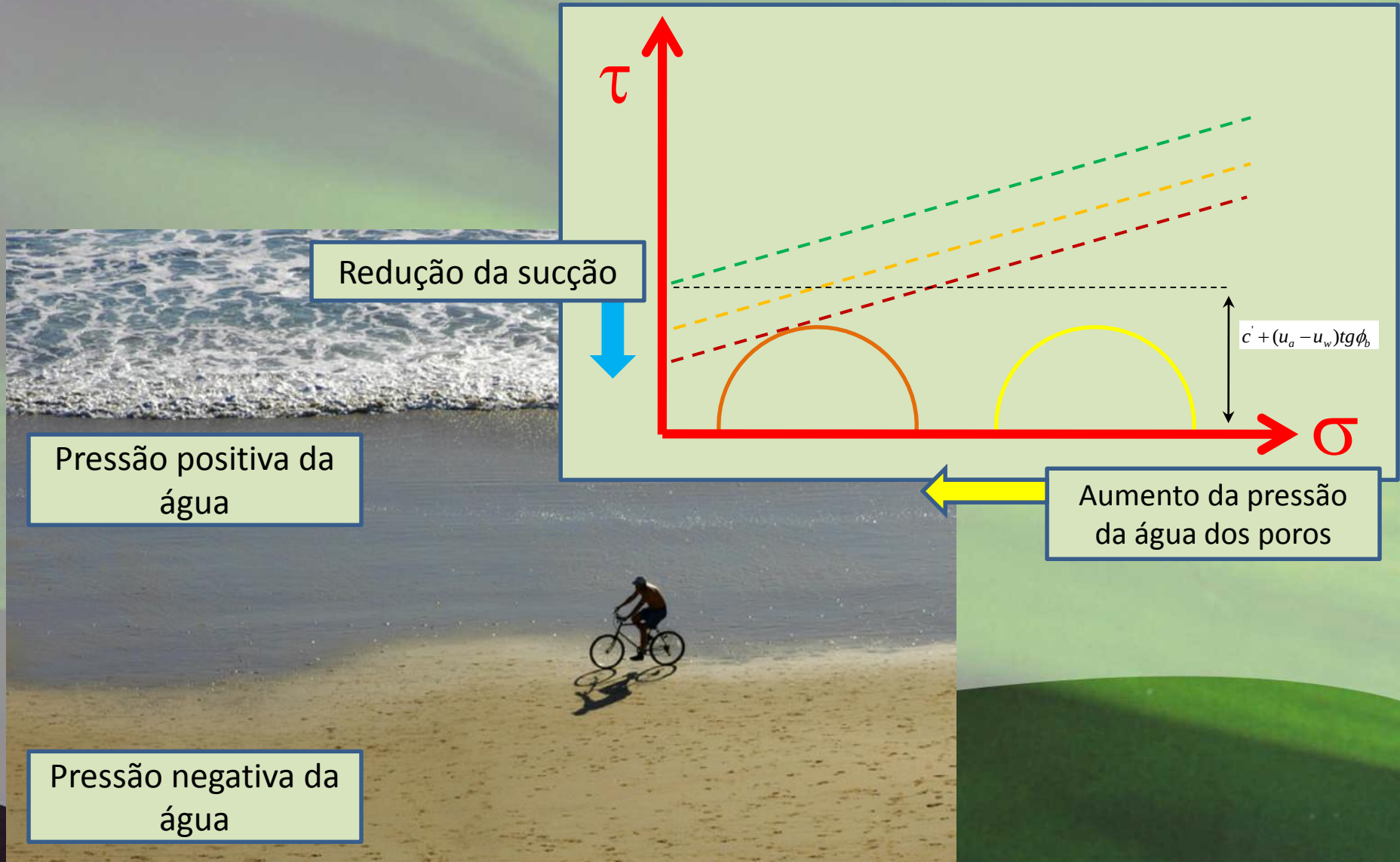


+



Conservador

Solos Não Saturados na Prática



Solos Não Saturados na Prática



Aumento da sucção, aumento da resistência, diminuição da compressibilidade

Argila

Areia

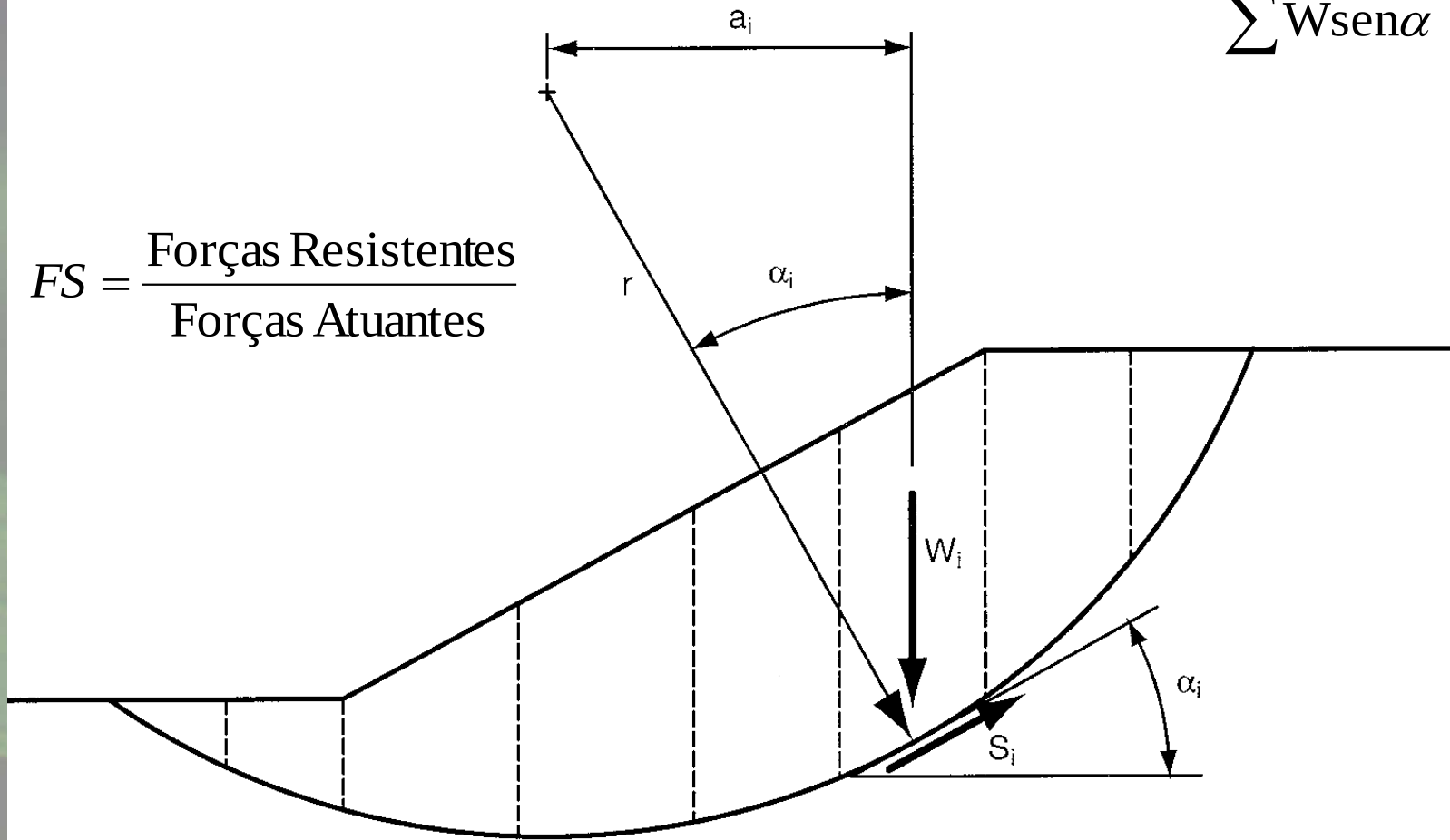
Rupturas de Taludes



Rupturas de Taludes



$$FS = \frac{\text{Forças Resistentes}}{\text{Forças Atuantes}}$$

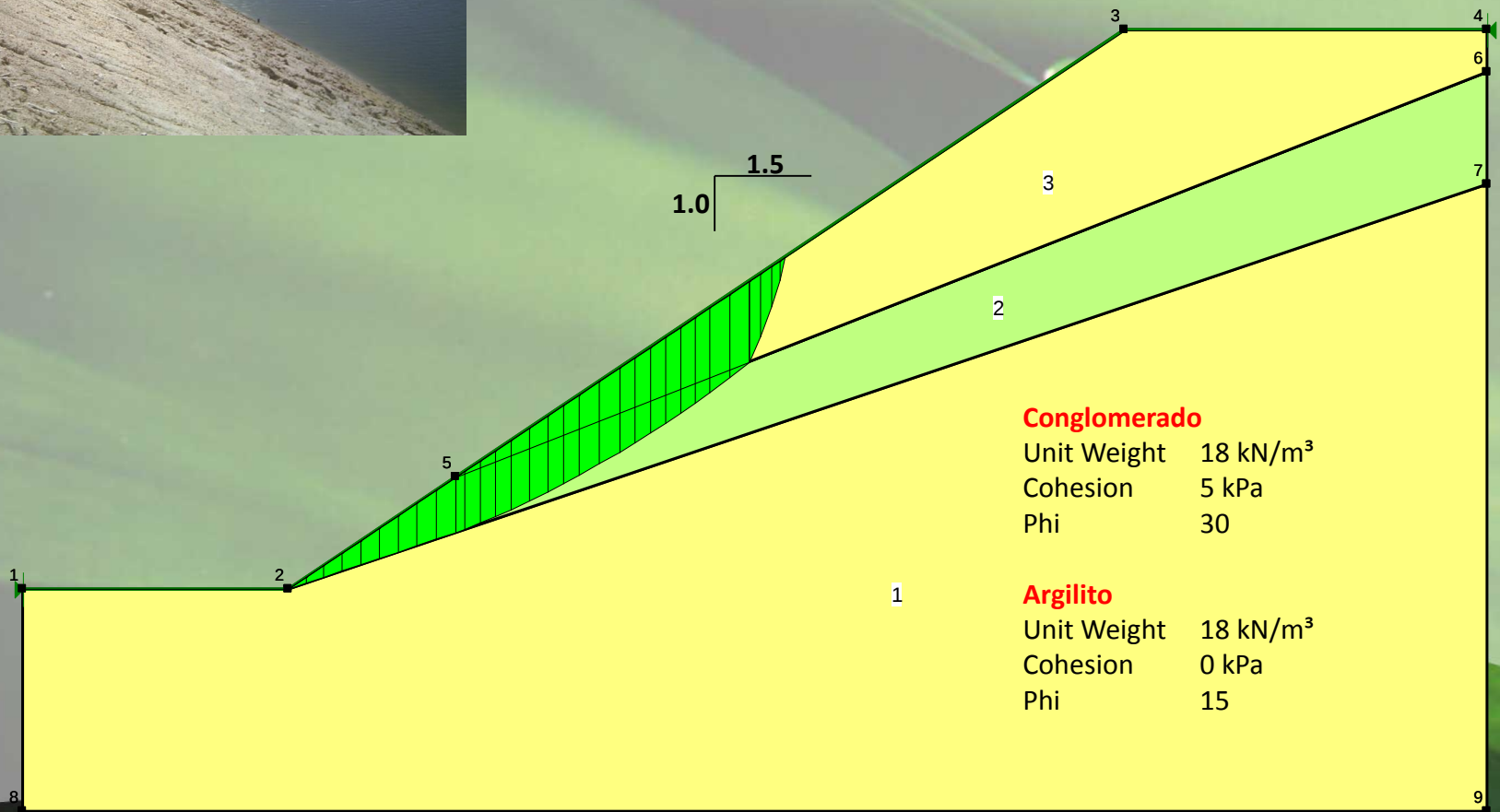


$$FS = \frac{\sum (c' + \sigma' \tan \phi') \Delta l}{\sum W \sin \alpha}$$

$$FS = \frac{\sum (c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b + \sigma' \tan \phi') \Delta l}{\sum W \sin \alpha}$$



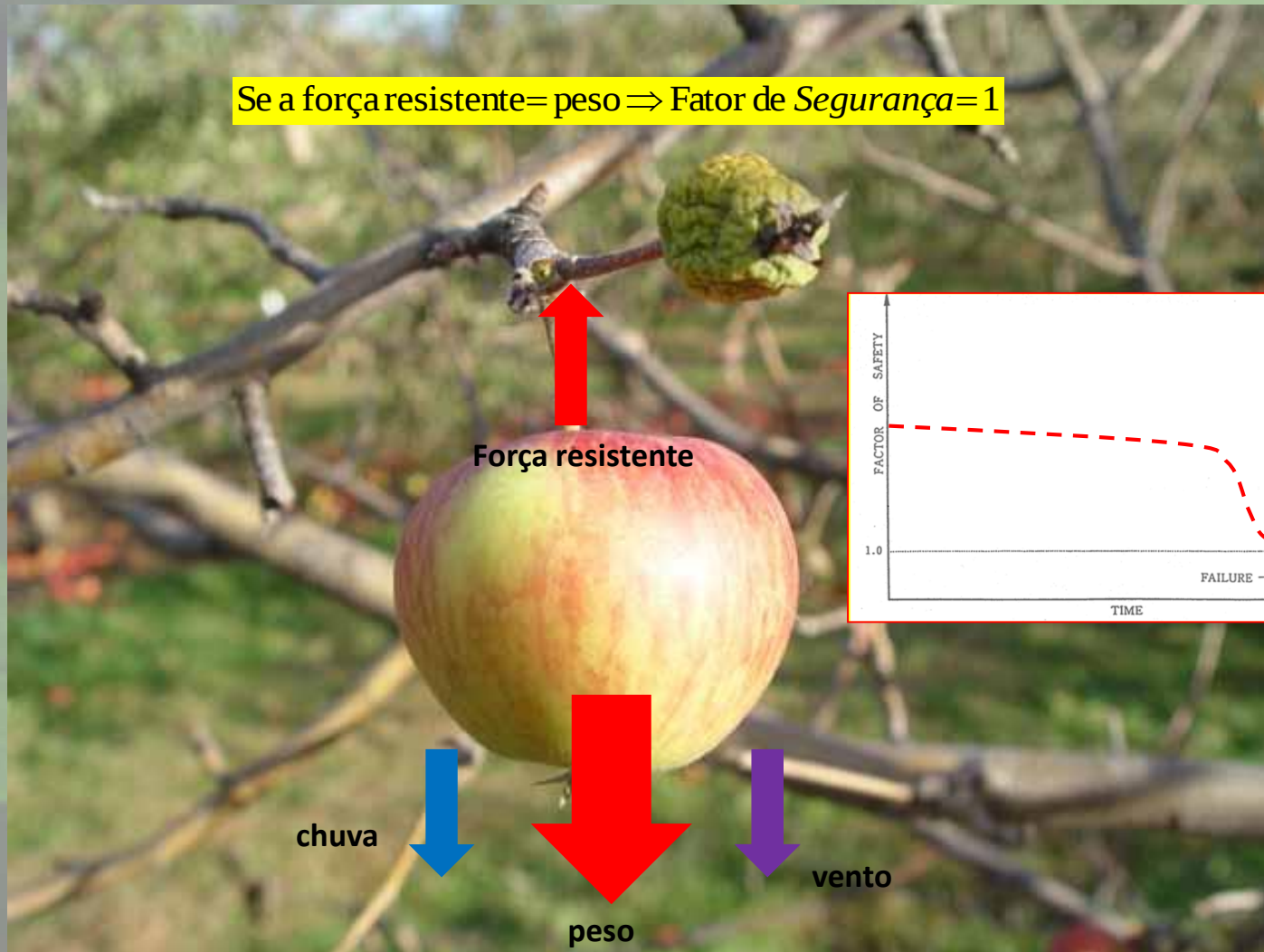
$FS < 1$



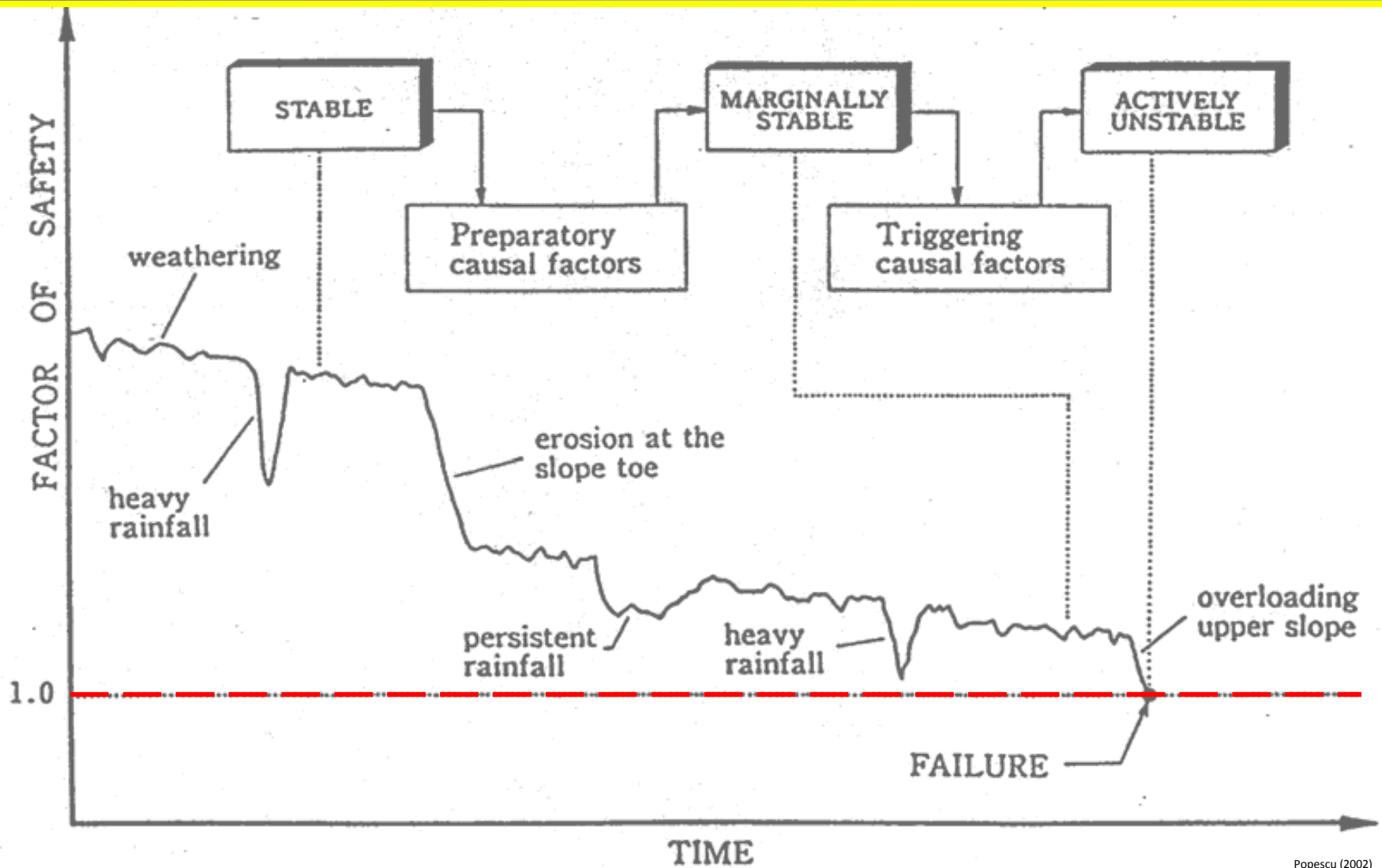
Por que as coisa caem?

Por que as coisas não caem?

Se a força resistente = peso $\Rightarrow$ Fator de *Segurança* = 1



Desenvolvimento do Fator de Segurança de um Talude



Fator de Segurança

Em muitos casos taludes são definidos com base na experiência local que incorpora:

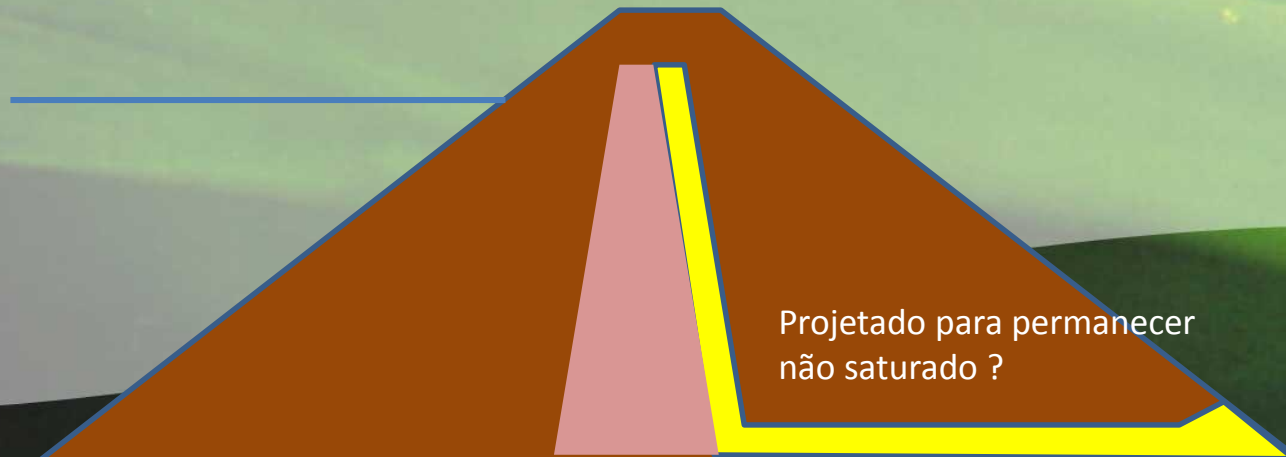
- Conhecimento do solo da região
- Aspectos climáticos



Variabilidade

Observem os taludes nas estradas !

Solos Não Saturados na Prática



Projetado para permanecer
não saturado ?

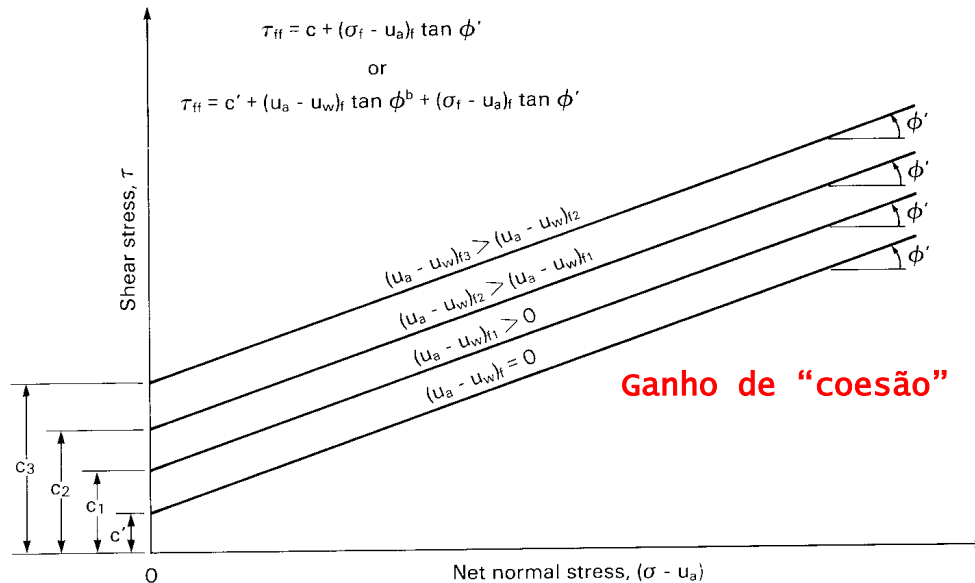
Escavação em areia
(obra temporária)



Proteção para redução
da infiltração de água

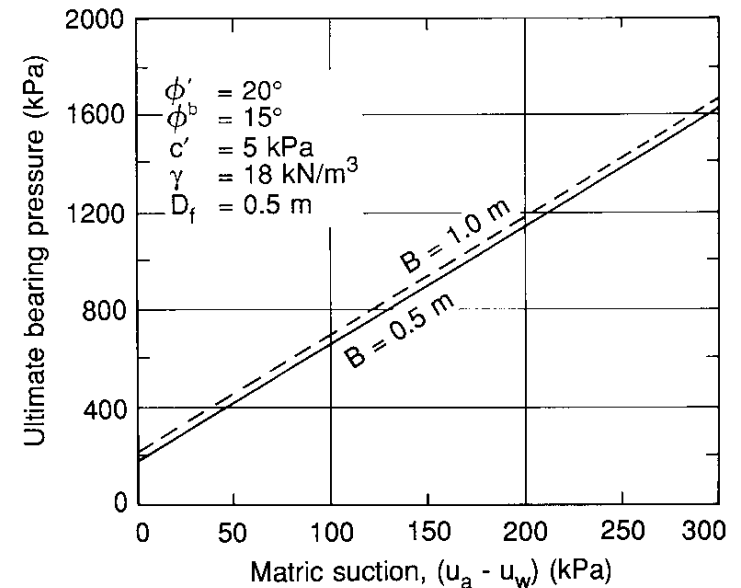


Envoltórias de ruptura para diversas sucções

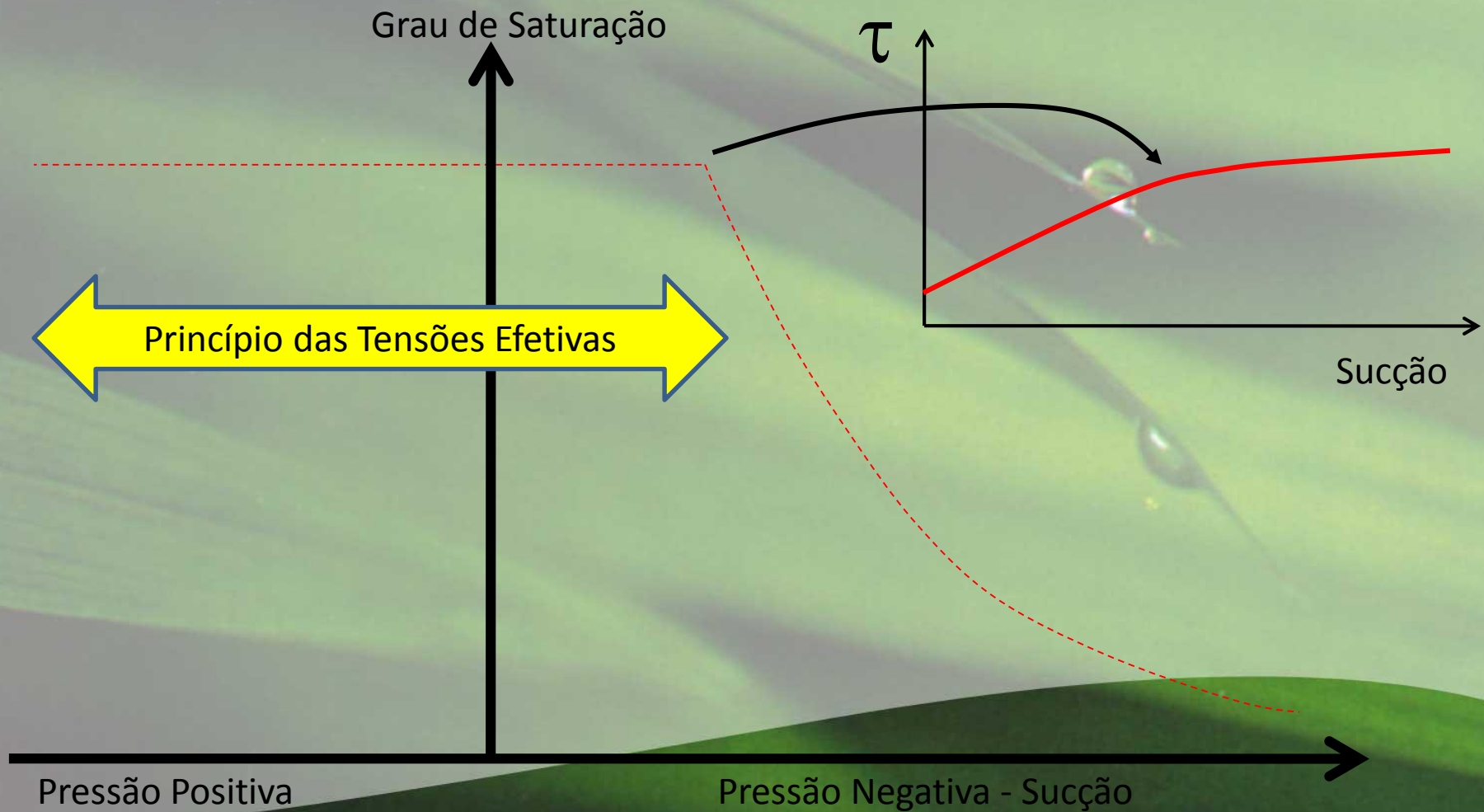


Fredlund & Rahardjo. (2003)

Capacidade suporte em sapata corrida em função da sucção

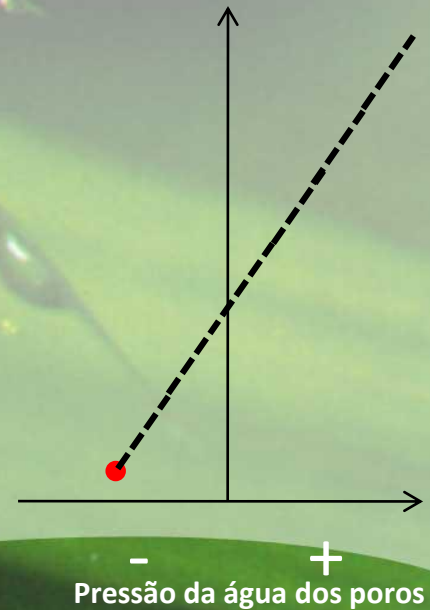
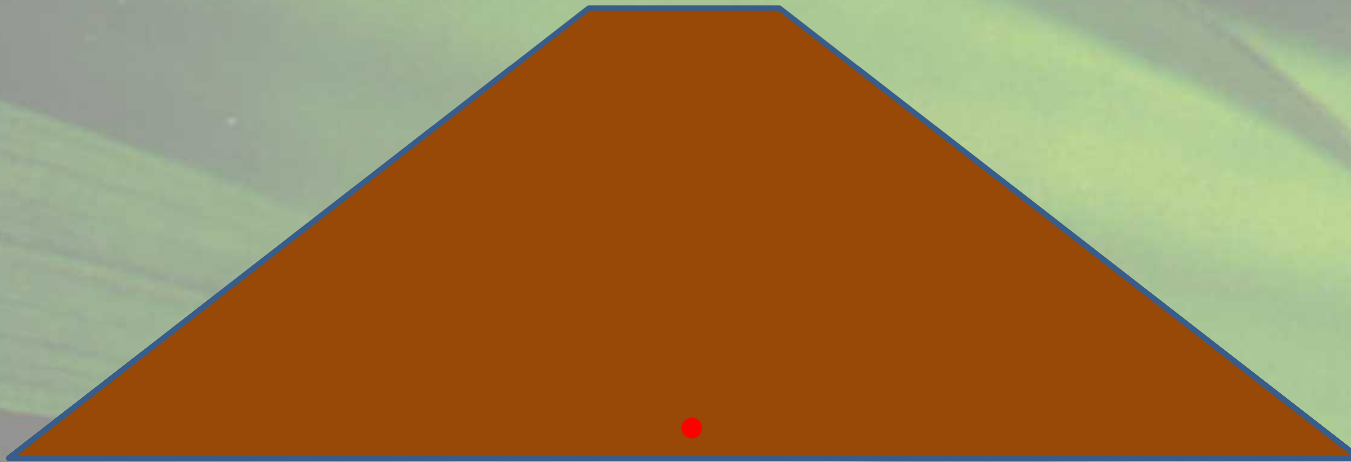


Curva de Retenção de Água

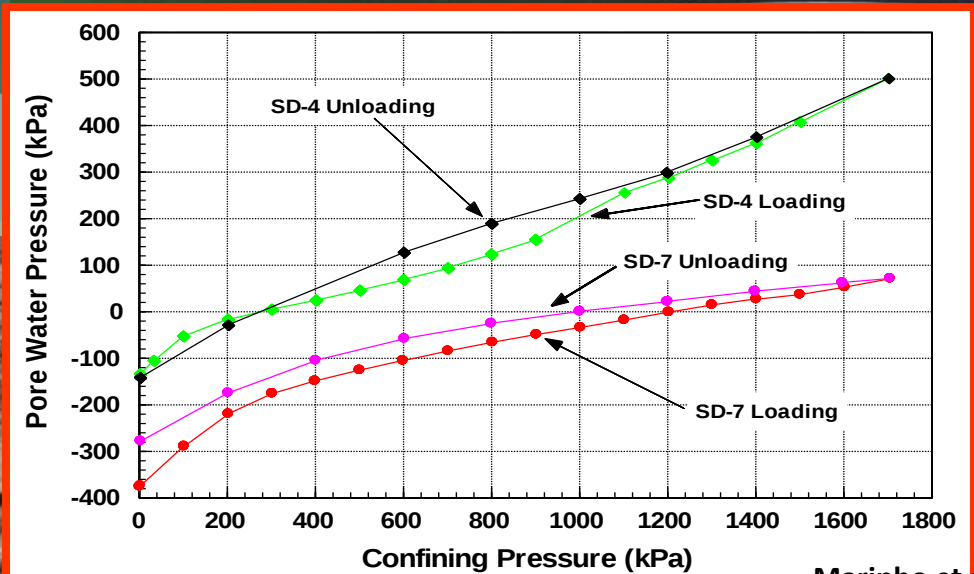


Solos Não Saturados na Prática

Desenvolvimento de pressão da água em solos compactados



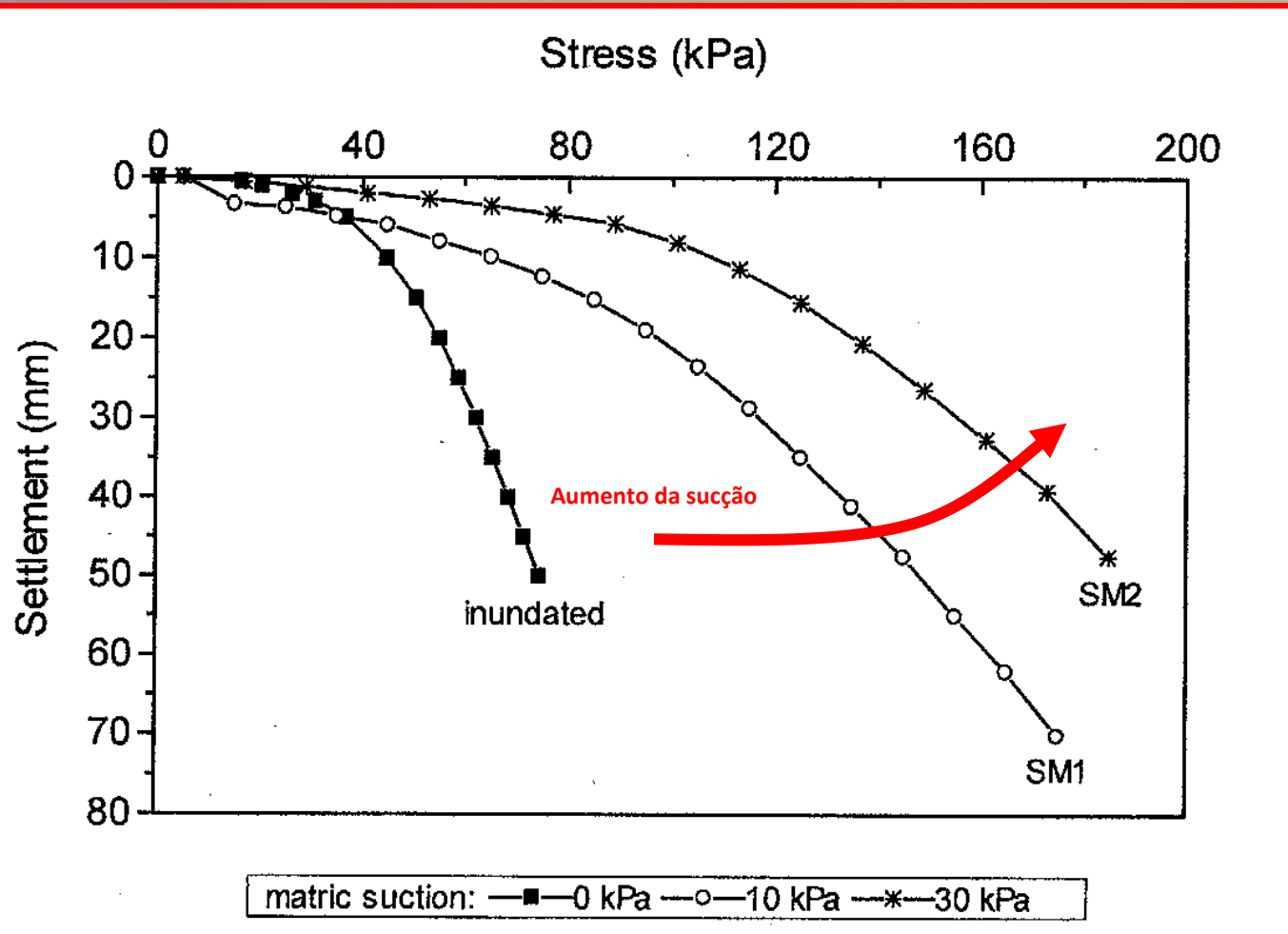
Tensiômetros



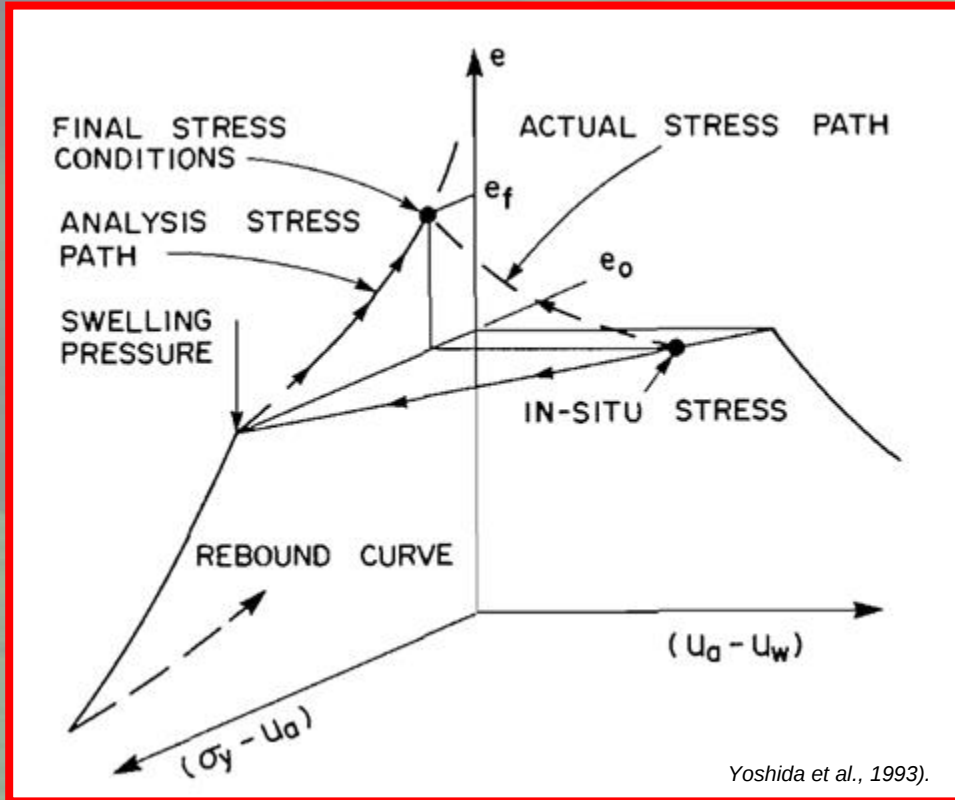
Marinho et al (2003)



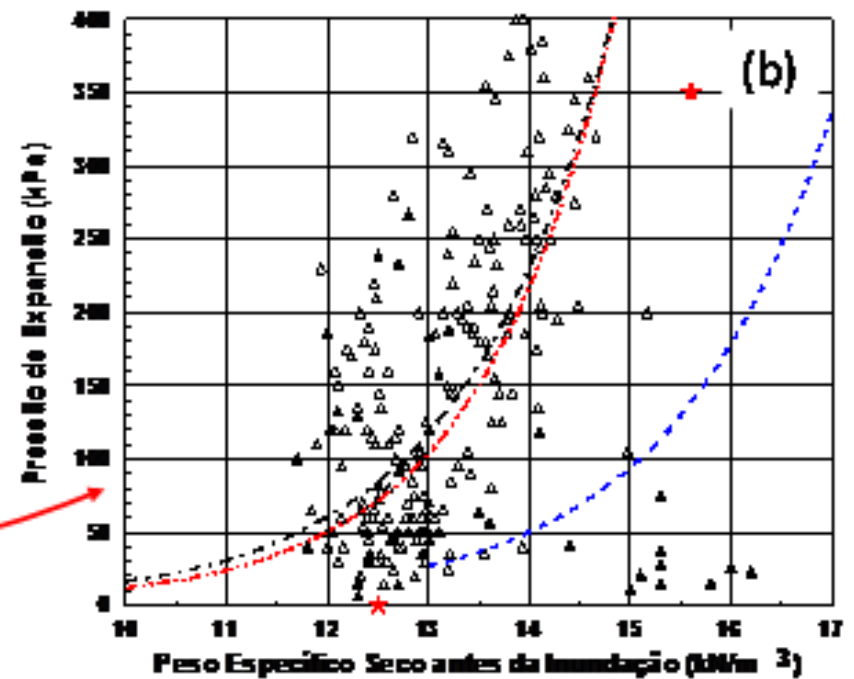
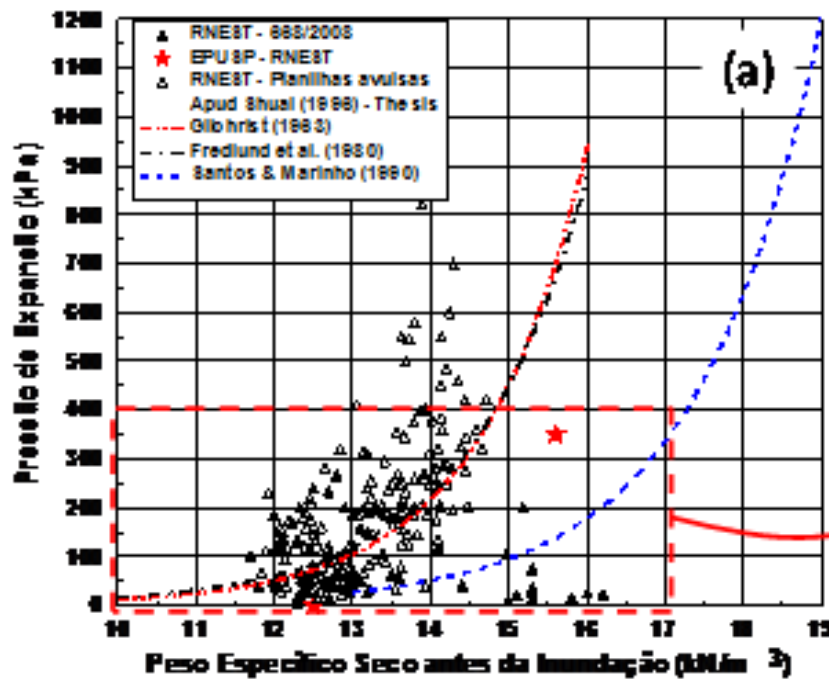
Curva tensão versus recalque de ensaios realizados em areia argilosa com medição de sucção



Solos Potencialmente Expansivos



Variação da pressão de expansão com o peso específico seco para solos compactados



Efeito das Condições Iniciais



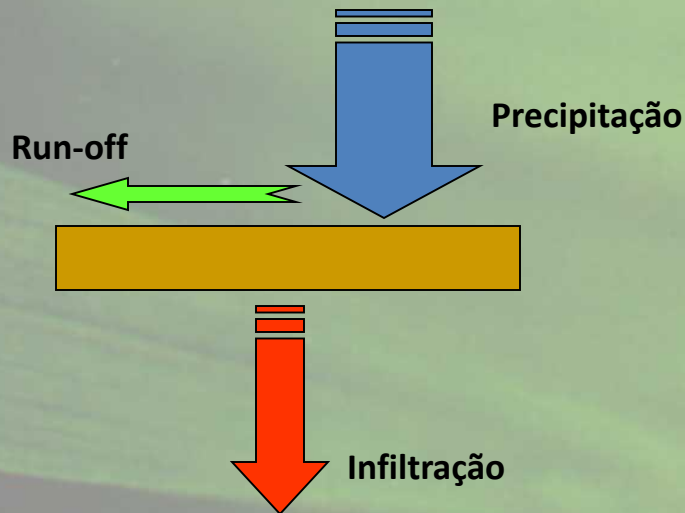
Solução para Evitar a Sazonalidade



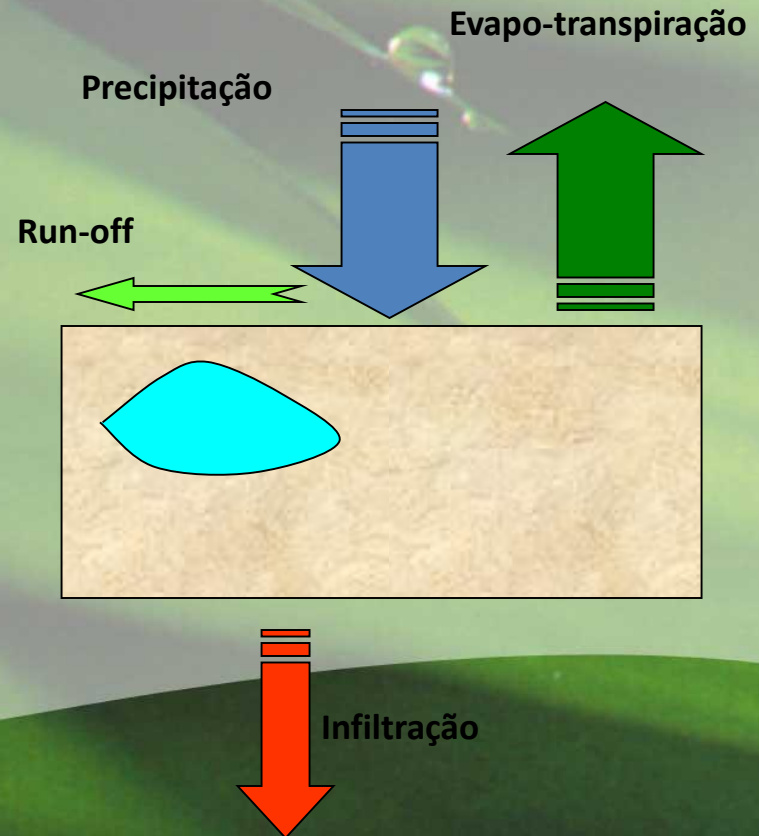
Outras Aplicações

Barreira Evapotranspirativa

Barreira Convencional



Barreira Evapo-Transpirativa



Aterros de resíduos sólidos

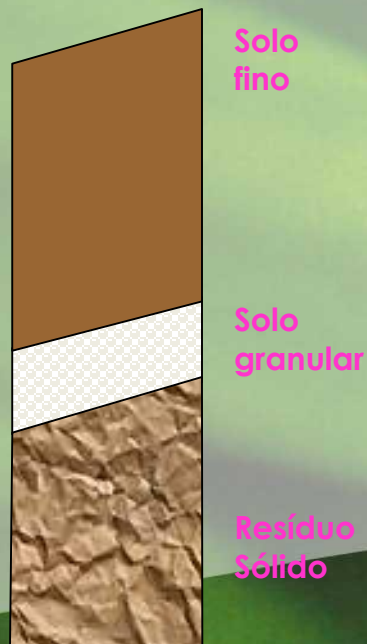
- Minimizar Infiltrações (Controlar a entrada de água)
- Isolar o Resíduo (minerção ou RSU)
- Controlar a saída de gás

Usar os aspectos climáticos associados com características de retenção de água dos materiais porosos (solos e resíduos)

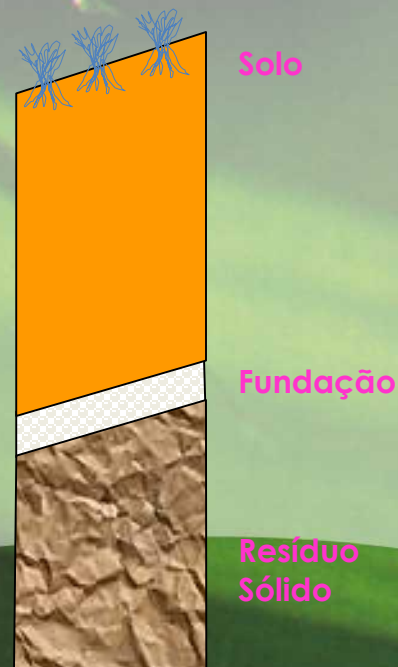
Sistema Tradicional



Barreira Capilar



Barreira Evapotranspirativa / Vegetativa



Definição do problema

A visão do problema é sempre baseada na mecânica dos solos clássica

(É necessário o conhecimento!)

Medição do estado de tensão

A determinação da sucção pode ser uma tarefa difícil

(Será que precisamos sempre da sucção?)

Ensaio para obtenção de parâmetros

Os ensaios levam muito tempo e são muitas vezes difíceis de analisar

(Será que escolhemos os ensaios corretos para a solução de problemas?)

Observar
Observar
Observar
Observar

Definição do problema

Com os aspectos relativos aos fenômenos da mecânica dos solos não saturados em mente, pode-se facilmente(?) elaborar um cenário que define com precisão o problema a ser analisado

Medição do estado de tensão

Existem muitas técnicas que permitem medir ou inferir a sucção. O uso da curva de retenção de água é um grande facilitador

Ensaio para obtenção de parâmetros

Cada vez mais os ensaios estão sendo simplificados e o uso da curva de retenção tem colaborado para uma avaliação rápida de diversos aspectos do comportamento dos solos não saturados

Análise numérica

Tem sido uma maneira rápida de se avaliar os problemas com o enfoque: **“o que acontece se?”**

A photograph of a large, smooth sand dune in a desert landscape. The dune is a vibrant orange color, and its surface shows some subtle textures and shadows. The sky above is a clear, bright blue. The word "Obrigado" is written in a large, black, sans-serif font across the middle of the dune. The entire image is framed by a thick black border.

Obrigado