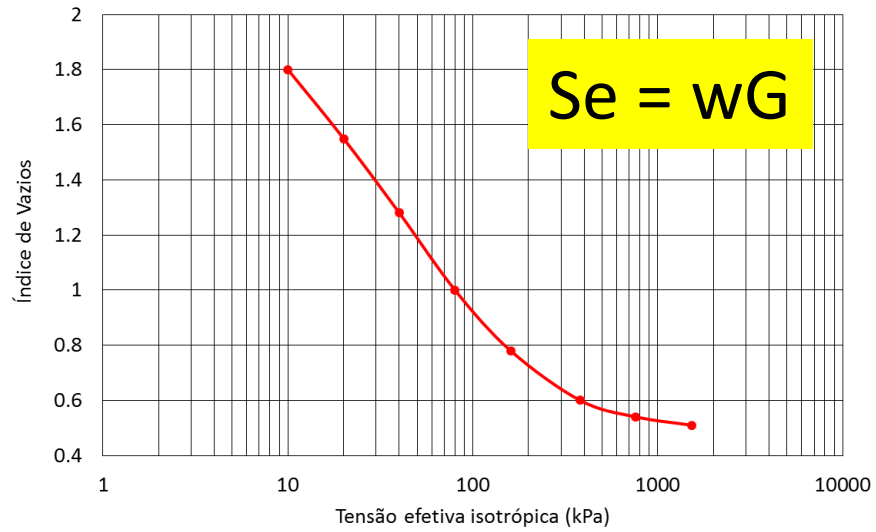


# Conceitos Básicos de Resistência em Solos Não Saturados

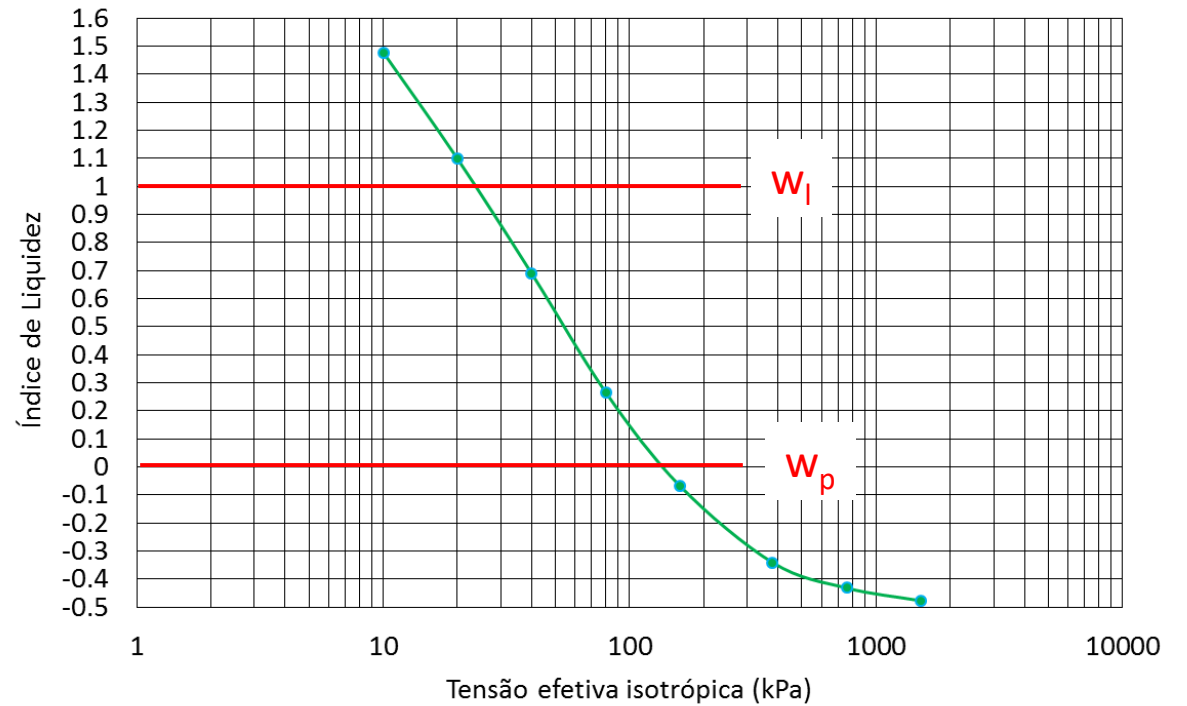
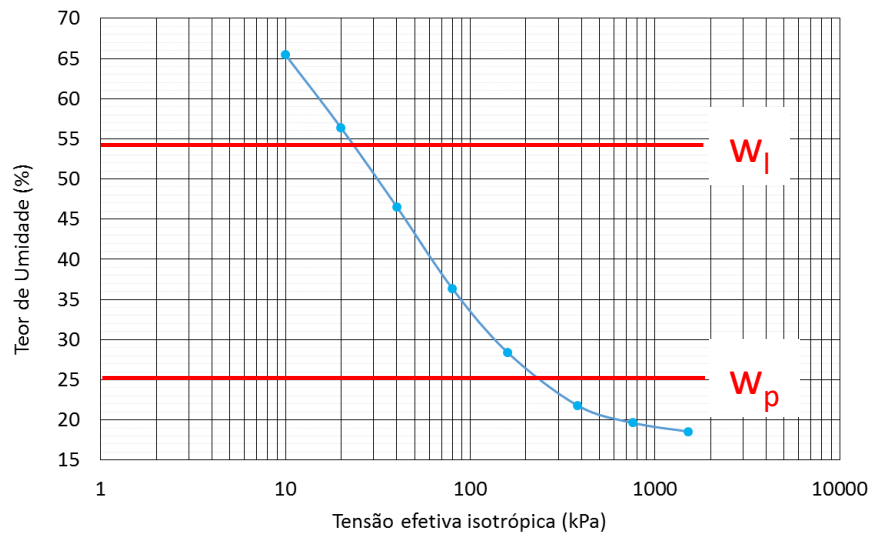
Fernando A. M. Marinho  
2016

# Relação entre índices físicos e o processo de variação de volume no adensamento

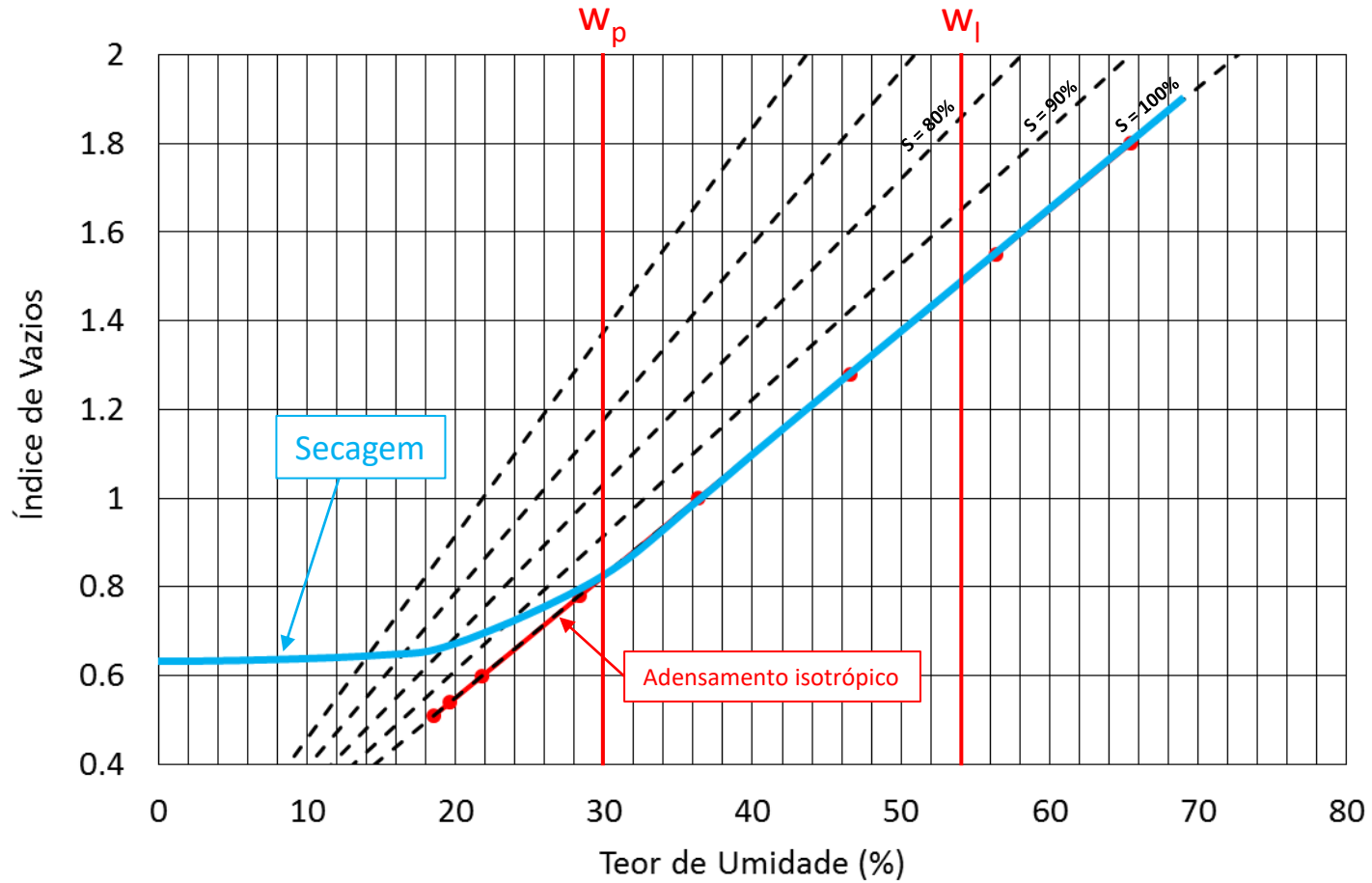


$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

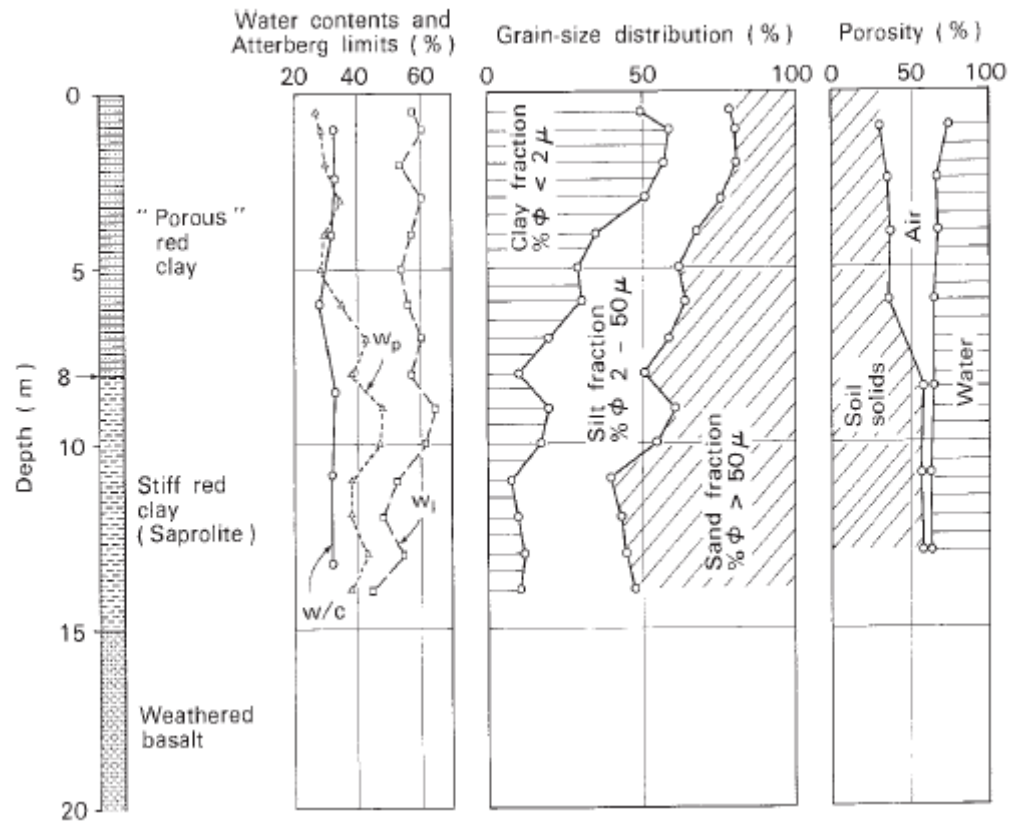
$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}$$



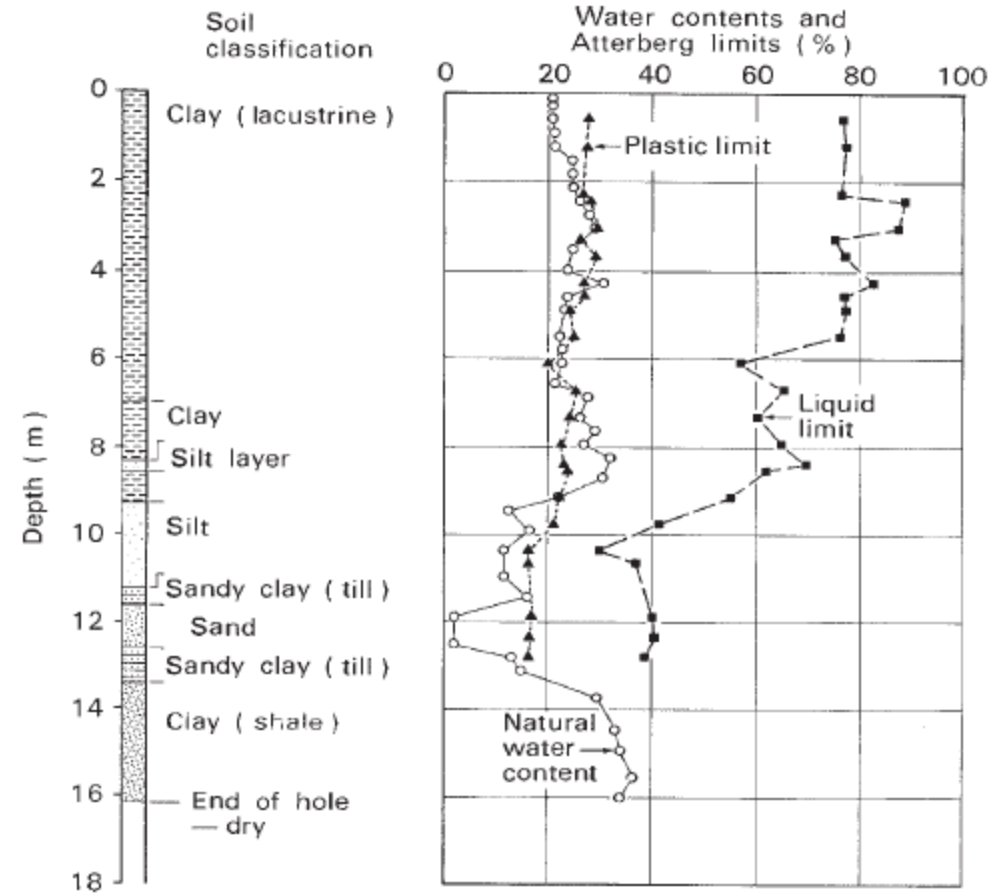
# O processo de variação de volume no adensamento e no ressecamento



# Perfis de Teor de Umidade e a Consistência do Solo

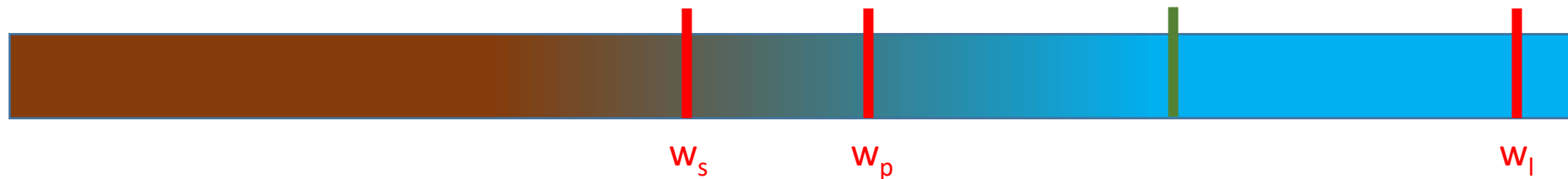


Solo Saprolítico de Basalto - Londrina, Brasil (Vargas, 1985)

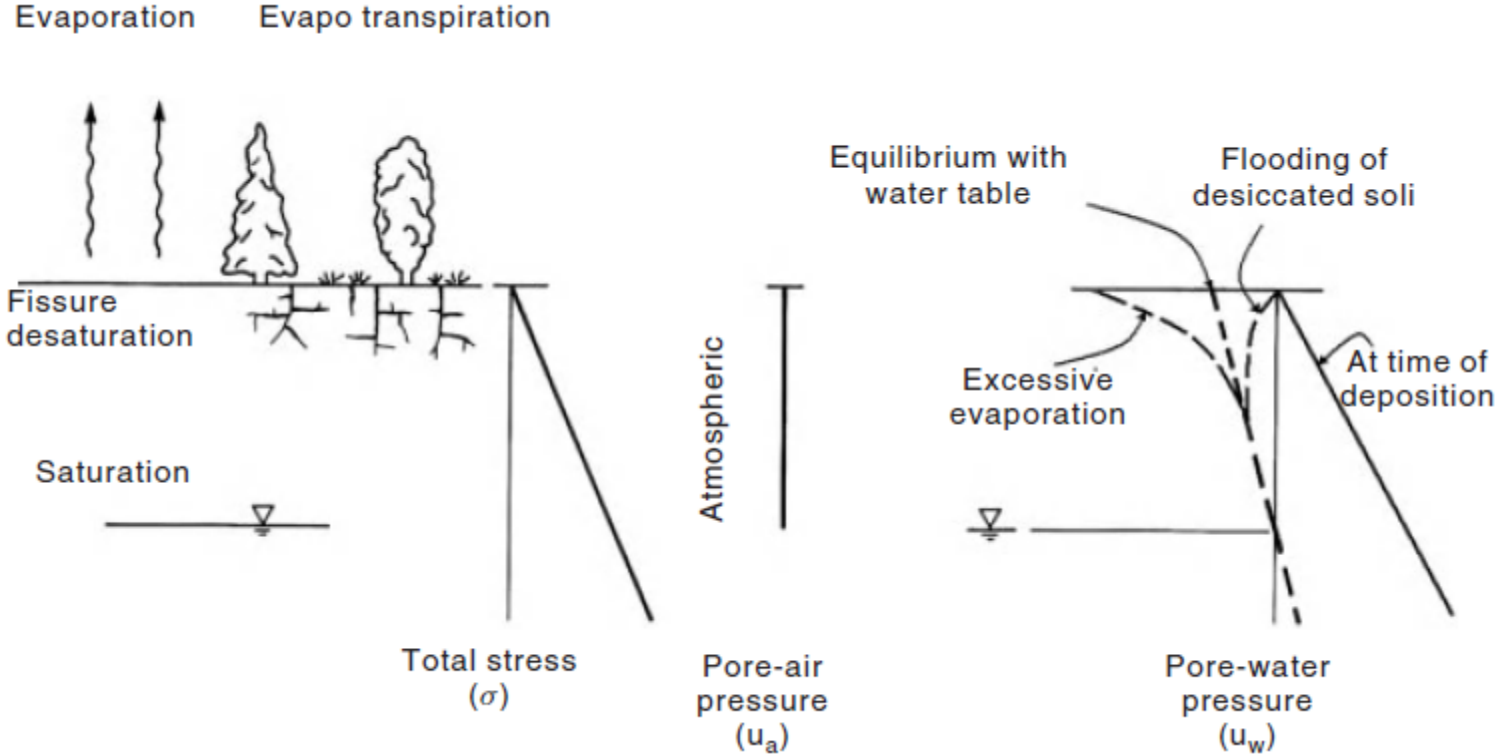


Solo Expansivo - Regina, Canada (Fredlund, 1973)

$$Se = wG$$

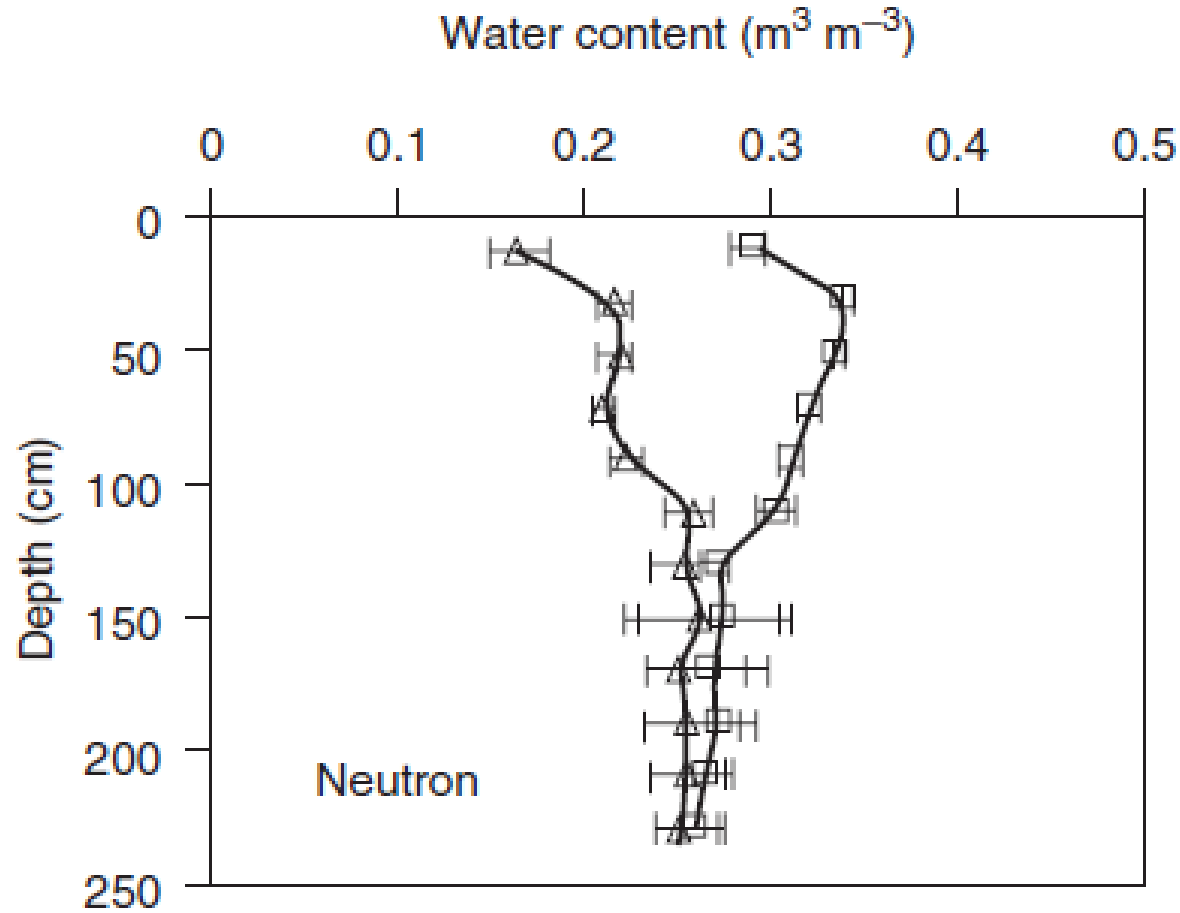


# Distribuição da tensão total, pressão de ar e pressão da água em solos não saturados

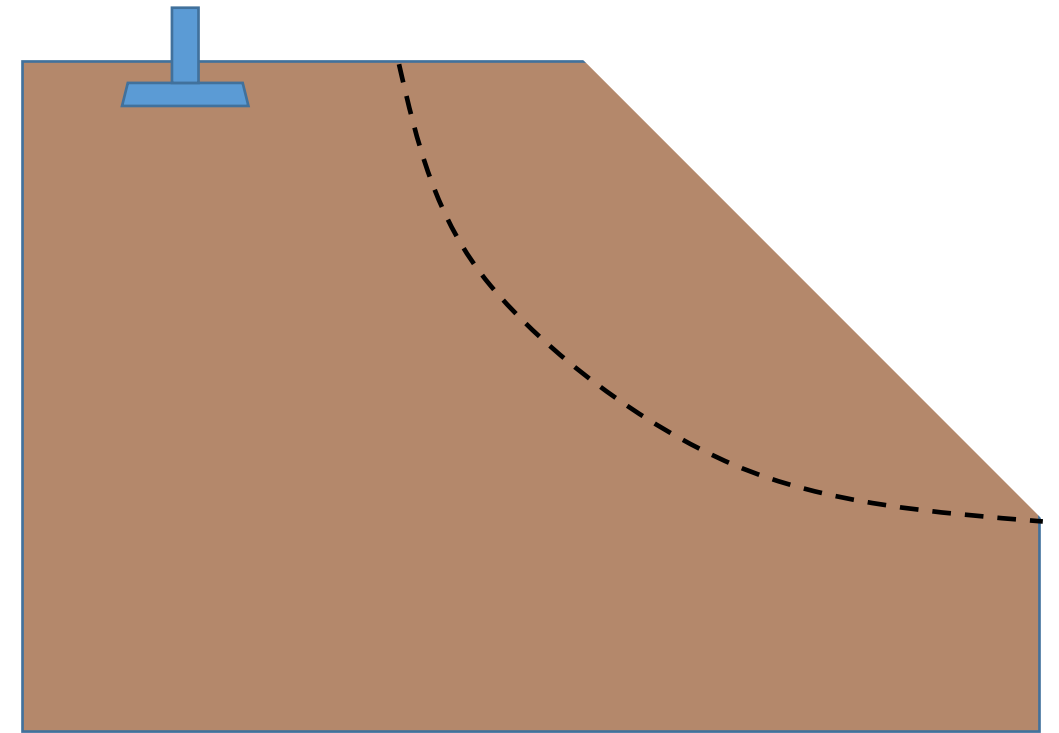


Fredlund et al. (2012)

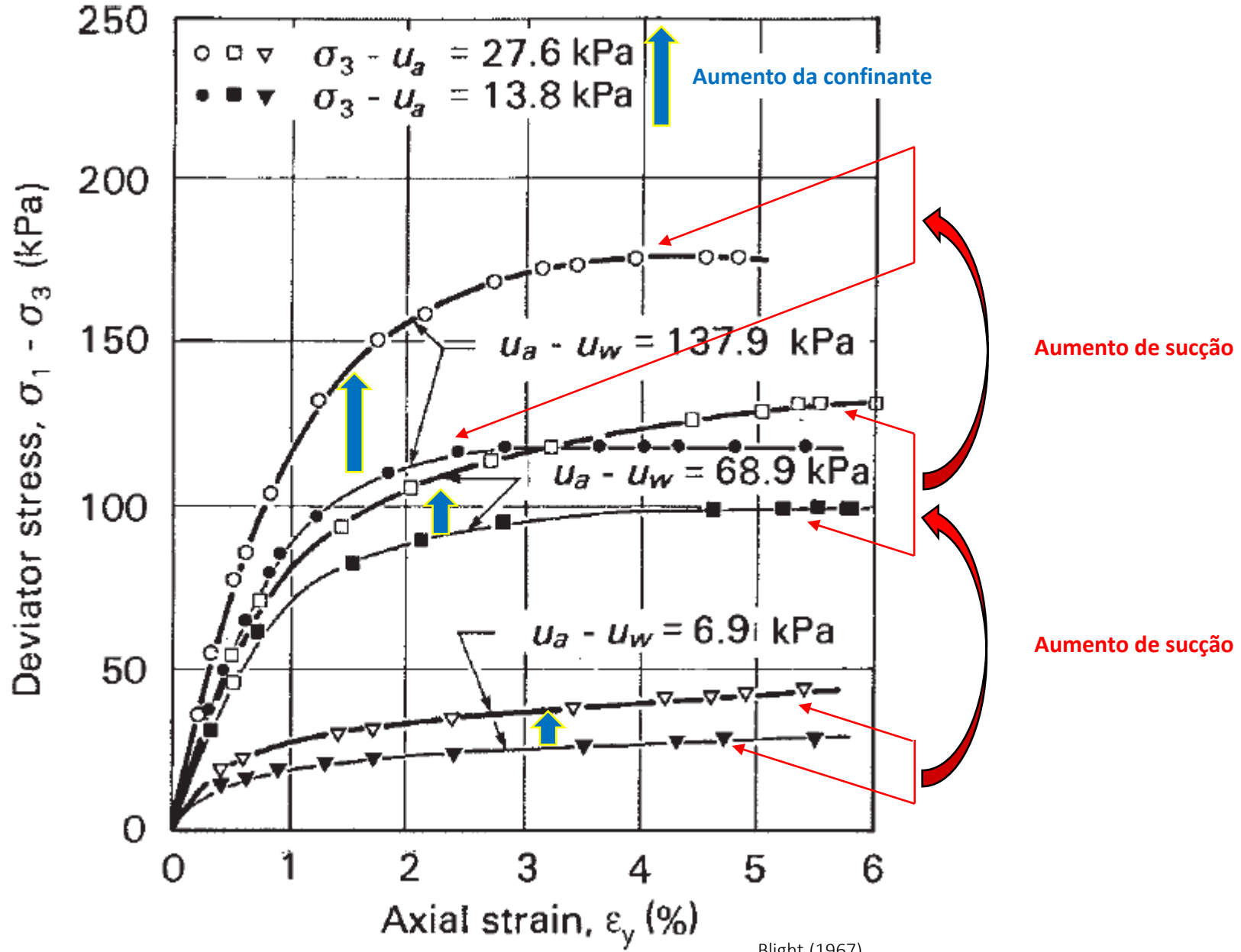
# Variação Sazonal da Sucção



Fredlund et al (2012)



Efeito da sucção e confinante na curva tensão deformação

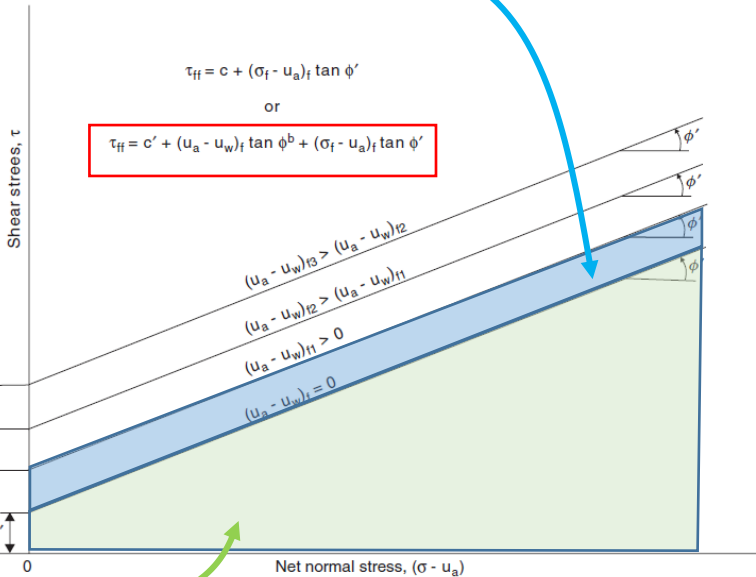
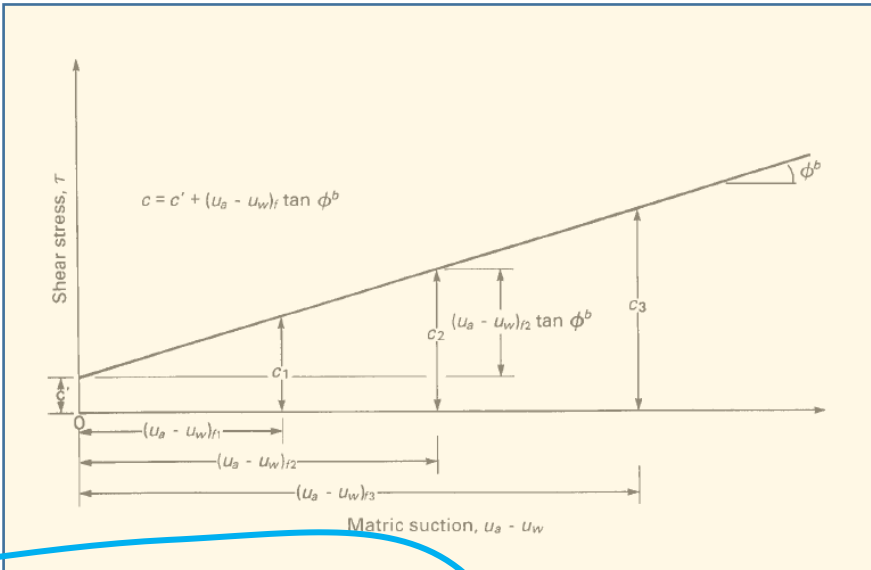
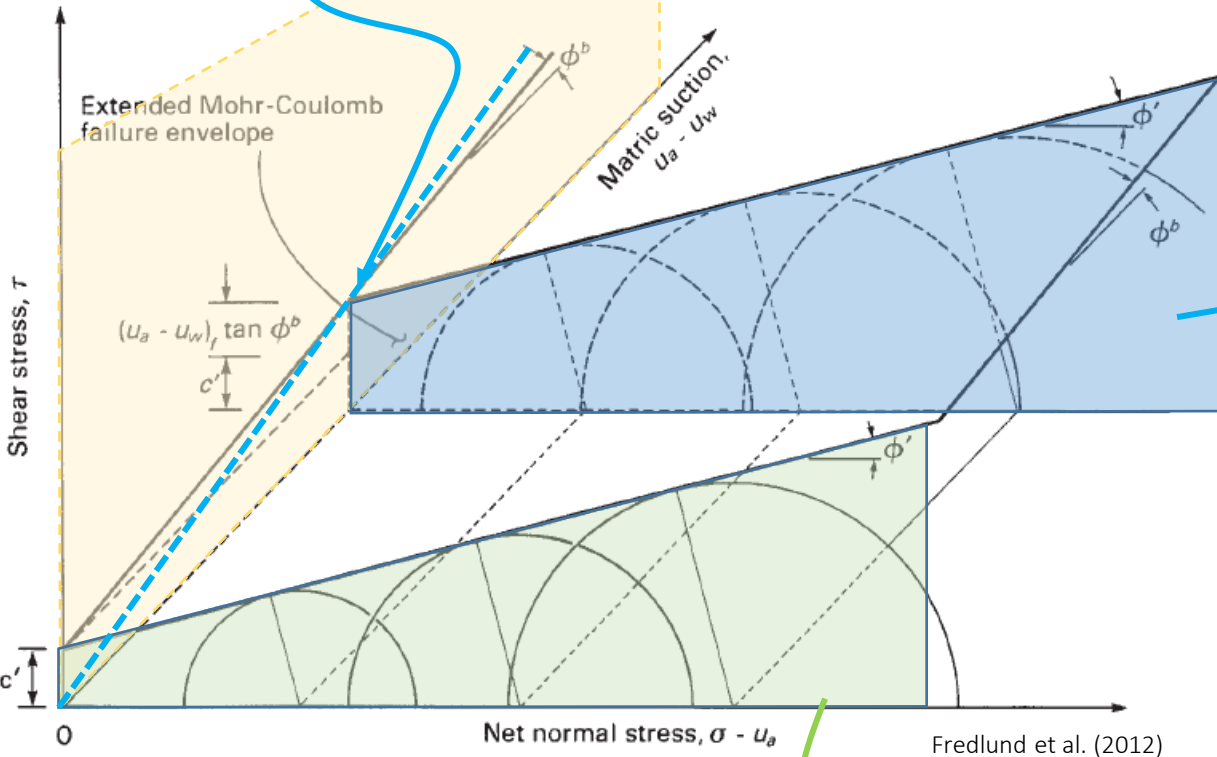


Blight (1967)

# A Envoltória e a Superfície de Ruptura



$$u_a - u_w = \text{sucção}$$

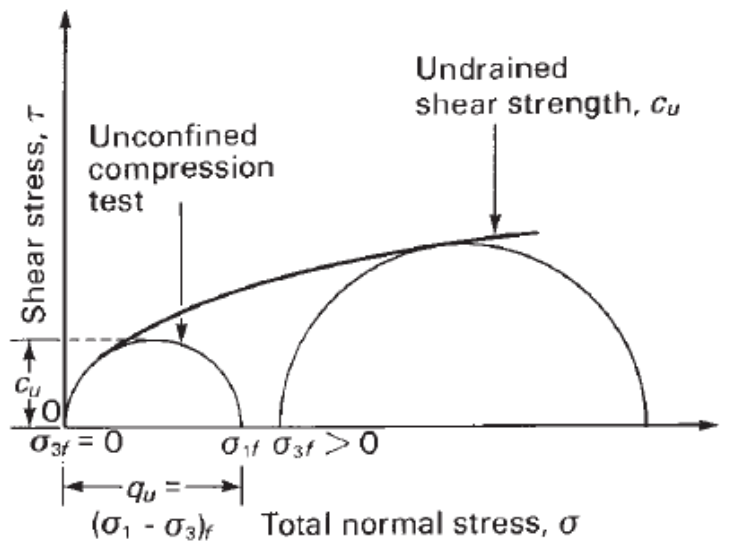


$$c = c' + (\text{sucção}) \tan \phi^b$$

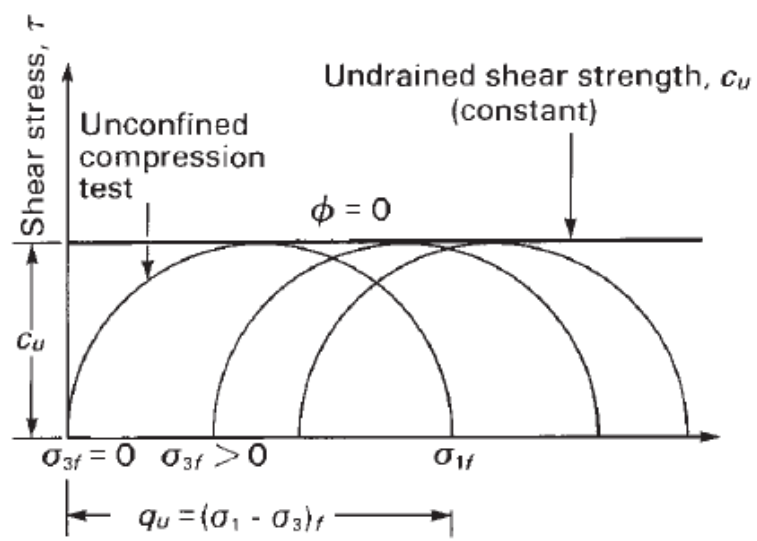
$$\tau_f = c + (\sigma - u_a) * \tan \phi'$$



A Envoltória para a Condição de Teor de Umidade Constante (ou variável durante o próprio ensaio)

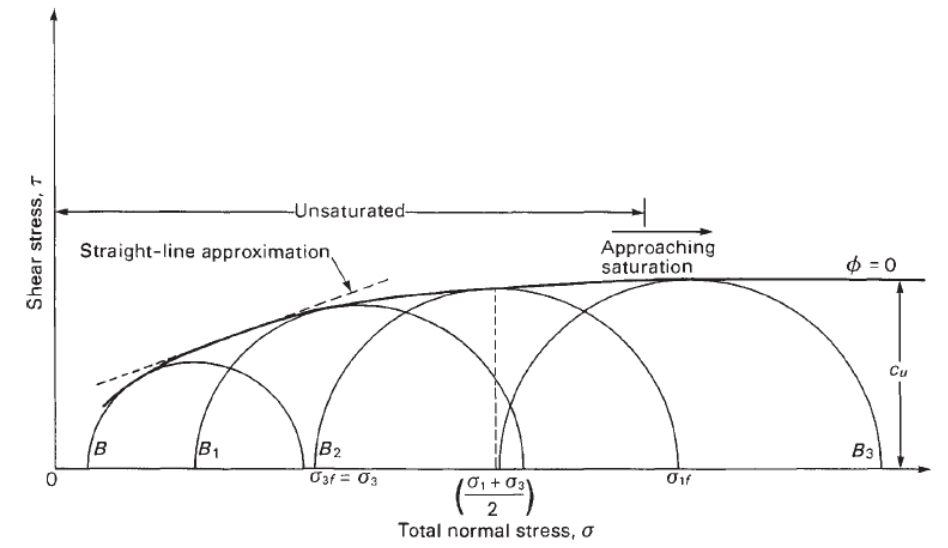


(a)



(b)

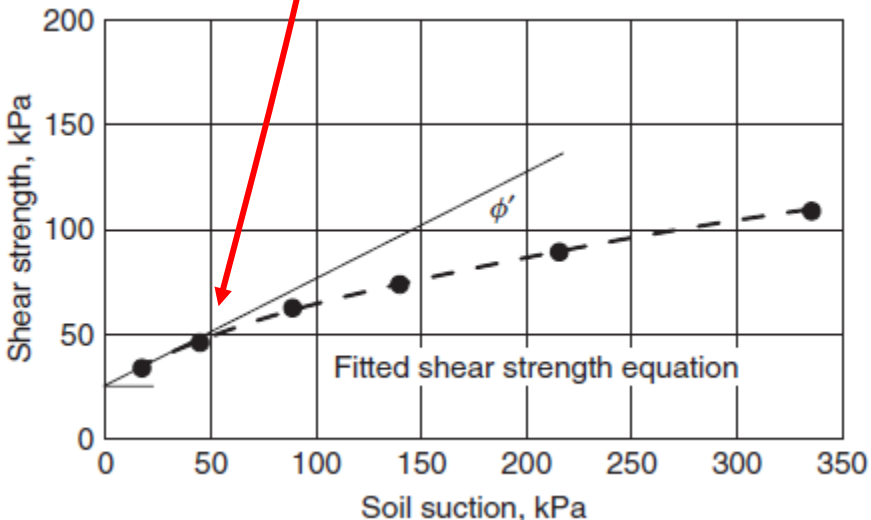
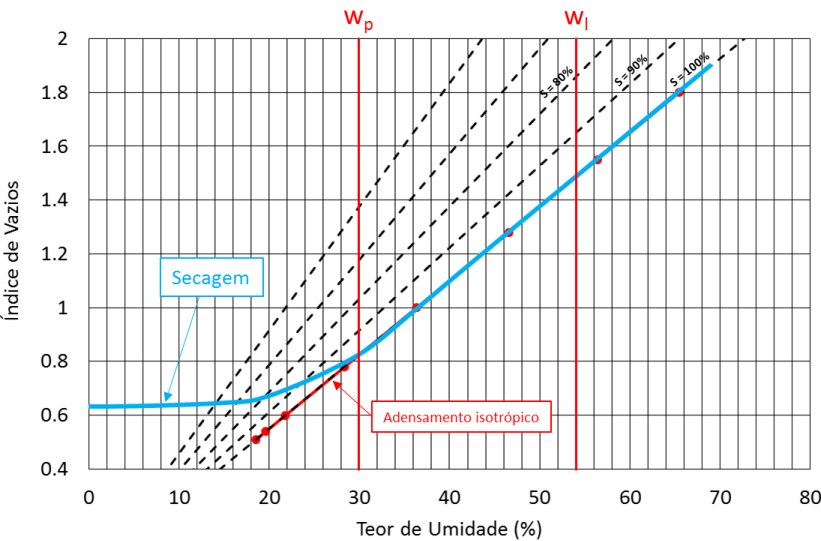
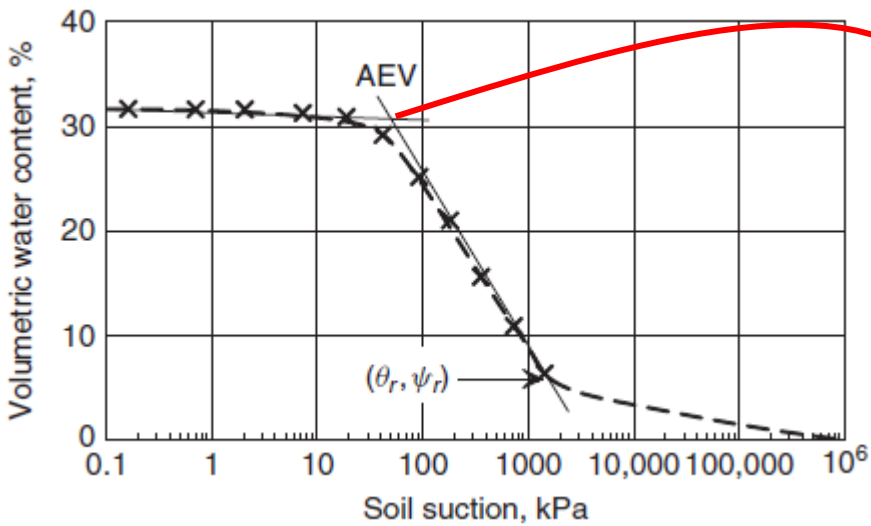
Condição inicial – Não saturado



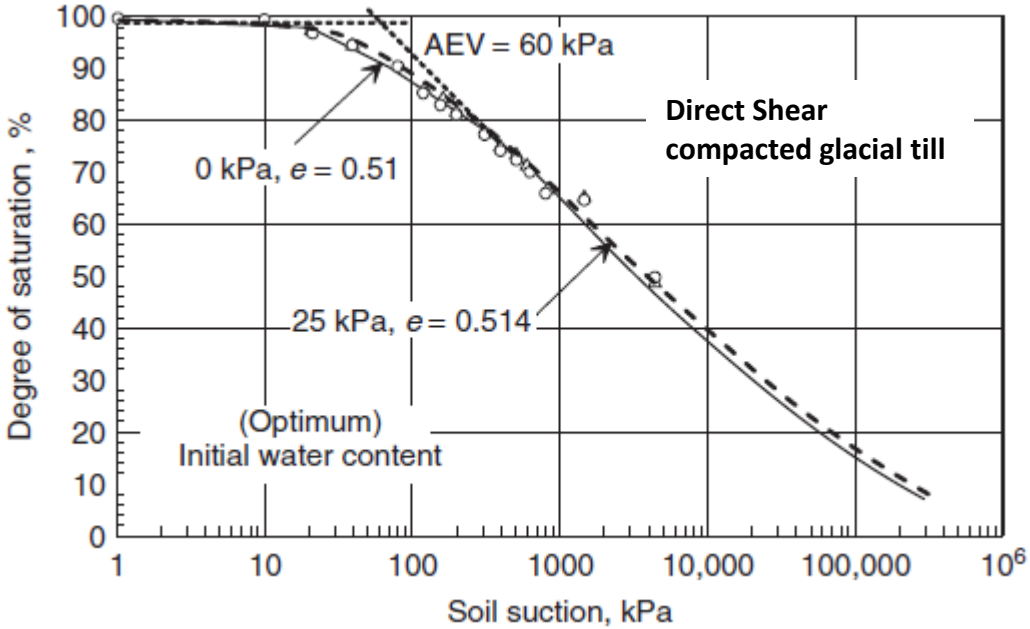
Condição inicial – Saturado

# Curvatura da envoltória de resistência em relação à sucção

Curva de retenção de água

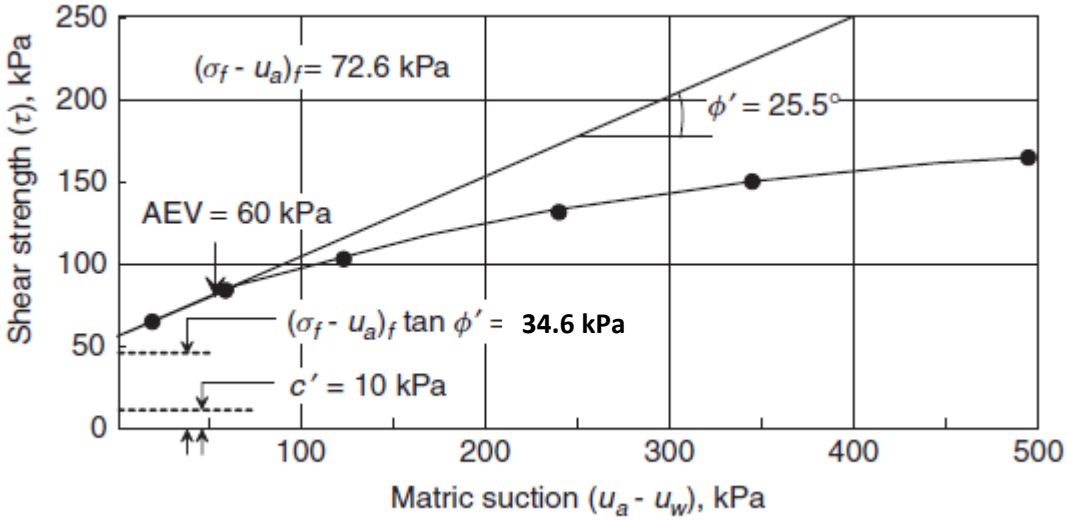


Curvatura da envoltória de resistência em relação a sucção



Curva de retenção de água

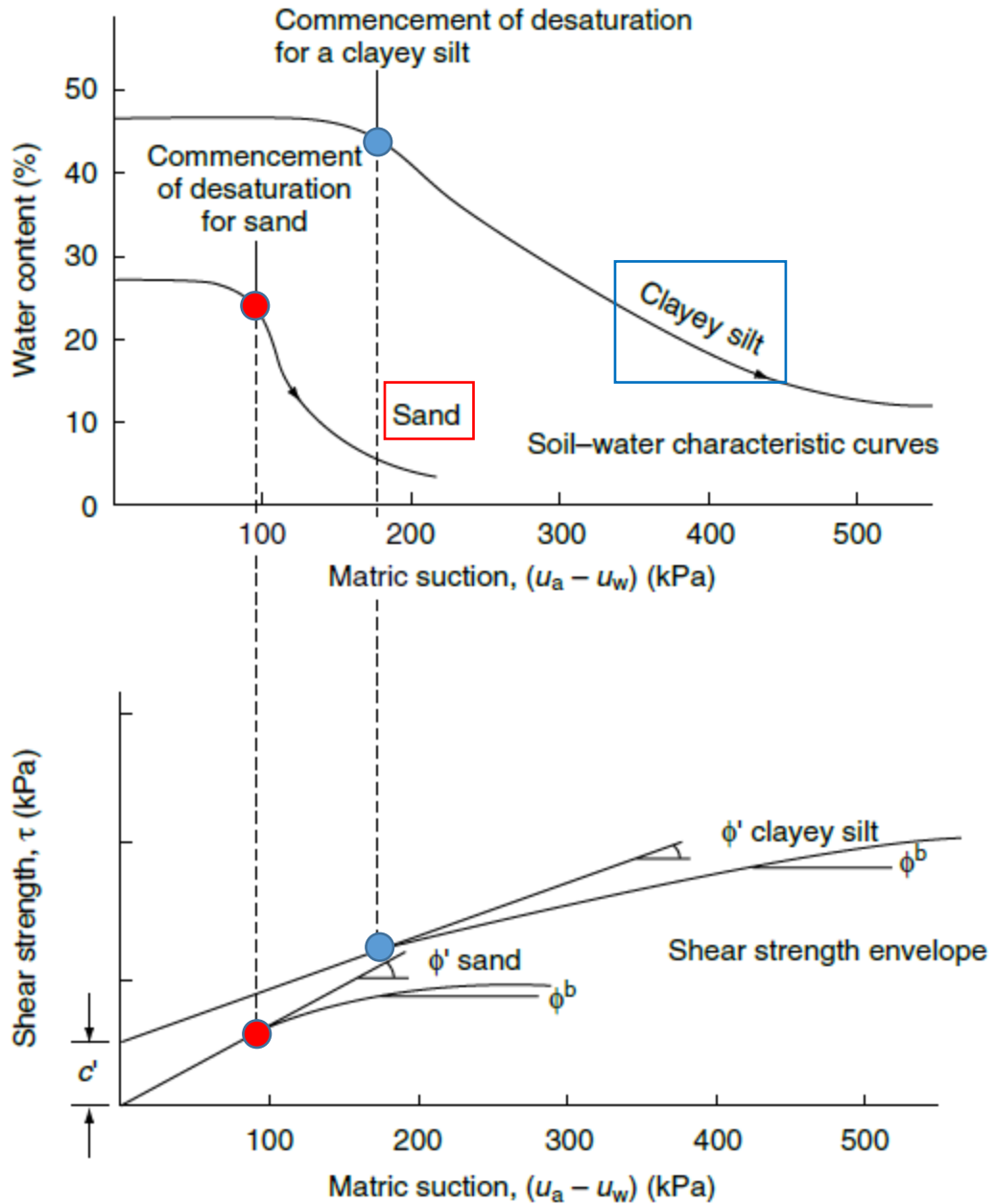
(a)



(b)

Vanapalli et al.(1996) & Gan et al.(1988)

# O tipo de solo e a relação da resistência com a sucção



**Table 11.1** Experimental Values Measured for  $\phi^b$

Soil Type	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (deg)	$\phi^b$ (deg)	Test Procedure	Reference
Compacted shale; $w = 18.6\%$	15.8	24.8	18.1	Constant water content triaxial	Bishop et al. (1960)
Boulder clay; $w = 11.6\%$	9.6	27.3	21.7	Constant water content triaxial	Bishop et al. (1960)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$ , $\rho_d = 1580 \text{ kg/m}^3$	37.3	28.5	16.2	Consolidated drained triaxial	Satija (1978)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$ , $\rho_d = 1478 \text{ kg/m}^3$	20.3	29.0	12.6	Constant drained triaxial	Satija (1978)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$ , $\rho_d = 1580 \text{ kg/m}^3$	15.5	28.5	22.6	Consolidated water content triaxial	Satija (1978)
Dhanauri clay; $w = 22.2\%$ , $\rho_d = 1478 \text{ kg/m}^3$	11.3	29.0	16.5	Constant water content triaxial	Satija (1978)
Madrid grey clay; $w = 29\%$	23.7	22.5 <sup>a</sup>	16.1	Consolidated drained direct shear	Escario (1980)
Undisturbed decomposed granite; Hong Kong	28.9	33.4	15.3	Consolidated drained multistage triaxial	Ho and Fredlund (1982a)
Undisturbed decomposed rhyolite; Hong Kong	7.4	35.3	13.8	Consolidated drained multistage triaxial	Ho and Fredlund (1982a)
Tappen-Notch Hill silt; $w = 21.5\%$ , $\rho_d = 1590 \text{ kg/m}^3$	0.0	35.0	16.0	Consolidated drained multistage triaxial	Krahn et al. (1989)
Compacted glacial till; $w = 12.2\%$ , $\rho_d = 1810 \text{ kg/m}^3$	10.0	25.3	7–25.5	Consolidated drained multistage direct shear	Gan et al. (1988)

<sup>a</sup> Average value.

## Talude natural com nível de água profundo

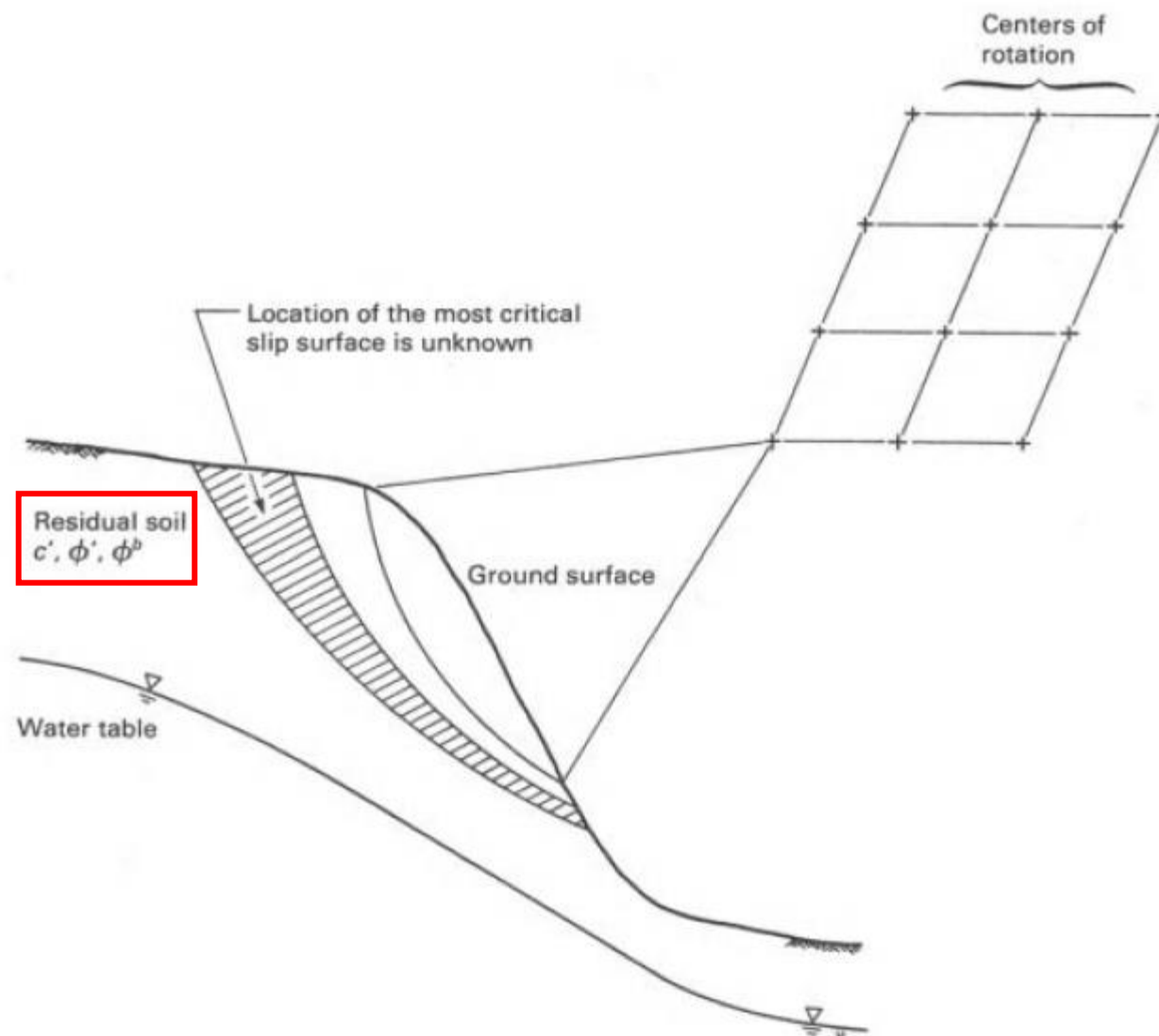
O estudo da estabilidade de um talude com pressão negativa de água (sucção) envolve os seguintes passos:

- 1) Definição da estratigrafia
- 2) Investigação da posição do nível de água
- 3) Adotar uma (ou várias) hipóteses de variação sazonal da sucção em relação à posição de equilíbrio.
- 4) Retirada de blocos indeformados para ensaios de laboratório.

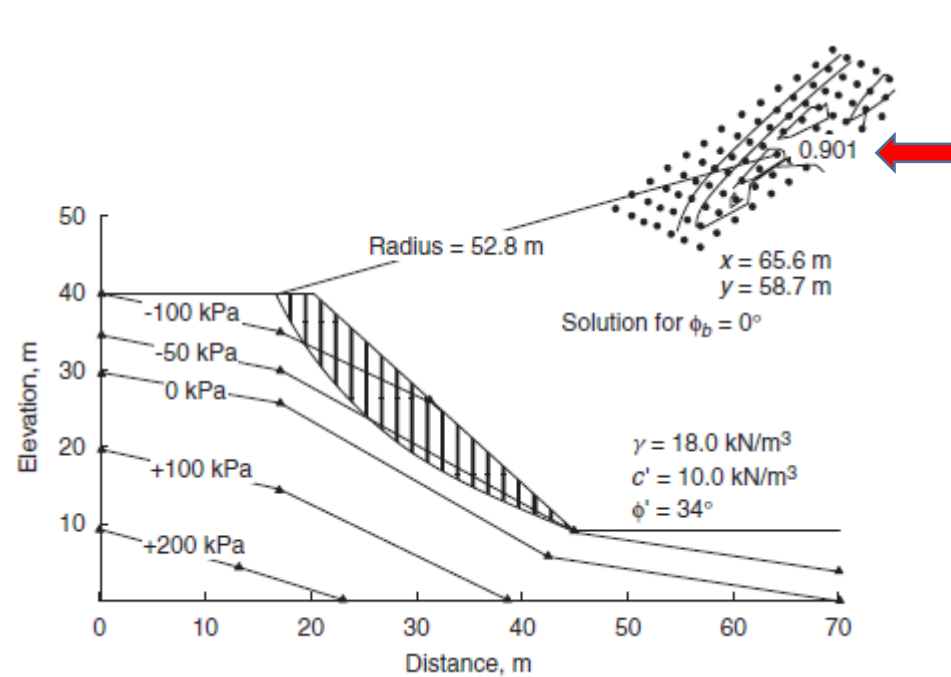
Com estas informações tem-se os dados de entrada da análise de estabilidade.

Contudo a superfície ainda é uma incógnita.

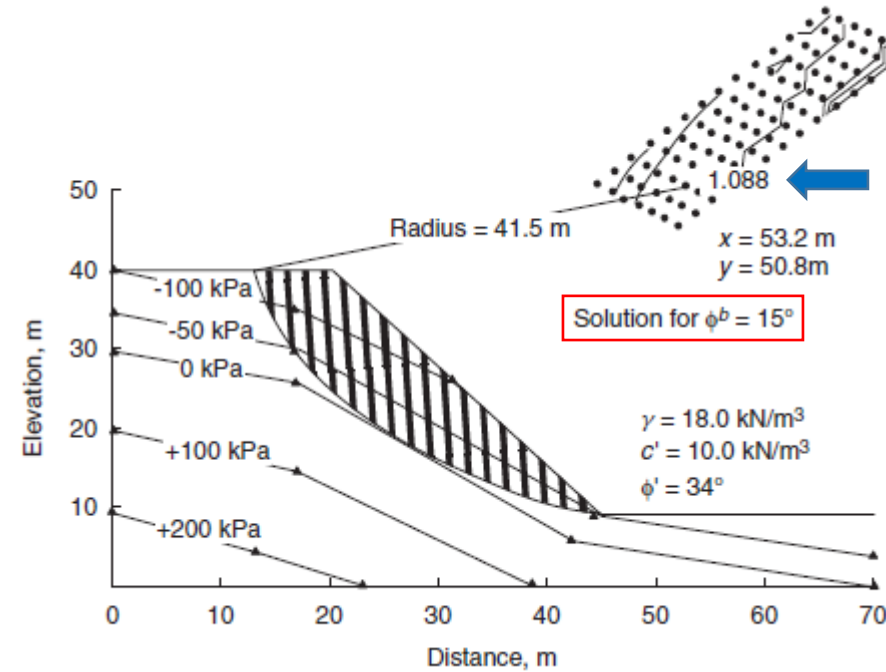
Apenas no caso de um talude já rompido se sabe a superfície.



Localização da superfície crítica em um talude íngreme sem considerar a sucção



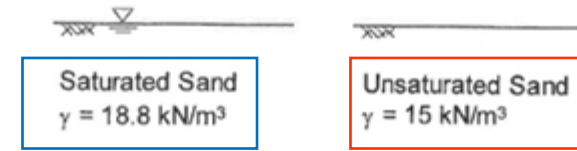
Localização da superfície crítica em um talude íngreme considerando a sucção



Se  $\phi^b$  for  $25^\circ$  o F seria 1.17

- A presença de sucção faz com que a superfície crítica se aprofunde.
- A influência da sucção é maior em taludes íngremes  $> 50^\circ$ .

# Análise de tensão conceitual em um solo arenoso



Perfil saturado

•  $z = 8 \text{ m}$   
•  $z_w = 8 \text{ m}$

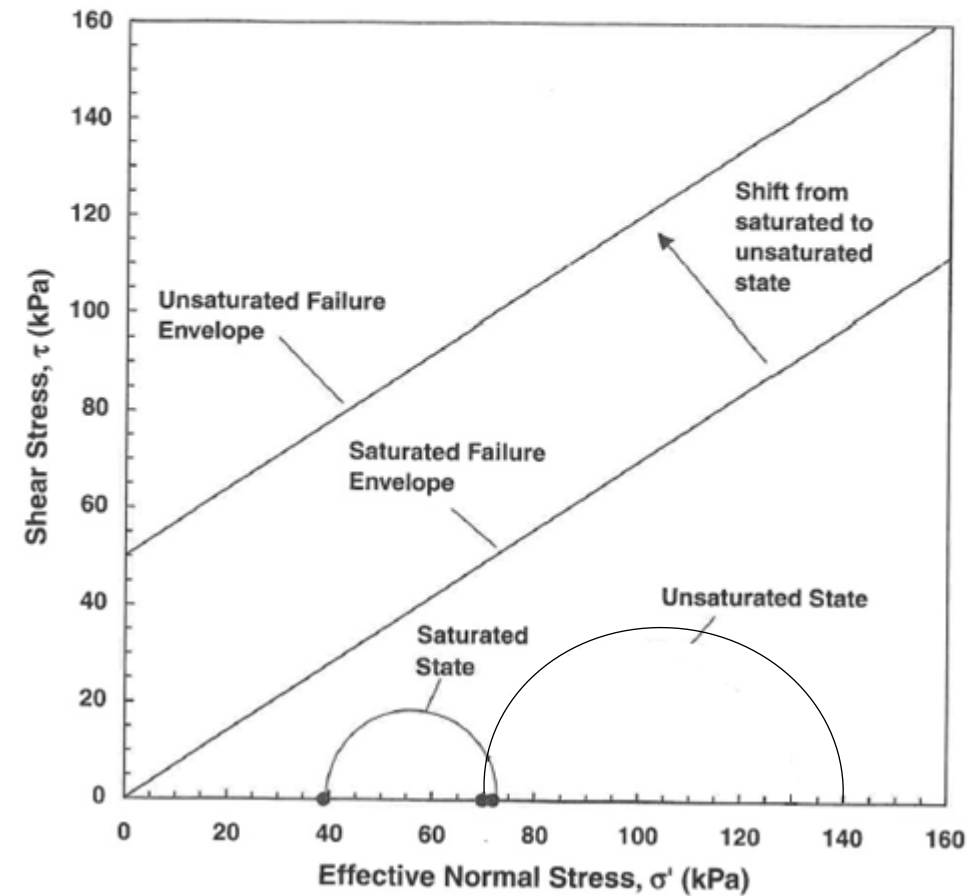
(a)

Perfil não saturado

•  $z = 8 \text{ m}$   
•  $z_w = -2 \text{ m}$

(b)

Estado de tensão a 8 m de profundidade e envoltória de Mohr-Coulomb  
(hipótese – o solo a 8 m está saturado por capilaridade quando o NA está mais abaixo)



(c)



## Exercícios

1. Considere o talude indicado na figura ao lado e responda as seguintes questões e seus respectivos aspectos:
  - a. Assuma que a superfície do talude é completamente impermeável e estabeleça a distribuição de pressão da água a ser usada em uma análise de estabilidade.
  - a. Considere agora que seja possível a infiltração de água de chuva e a evaporação e indique qual a distribuição de pressão de água seria plausível.
  - b. Discuta o uso da pressão negativa nas seguintes situações: Avaliação de uma ruptura, projeto de um talude provisório, projeto de um talude permanente em zona urbana e em zona sem habitações.
2. Qual consideração é necessária, além da definição da distribuição de pressão de água na região não saturada, para que se possa efetuar a análise de estabilidade. Pense em termos de parâmetros.
3. Discuta a razão pela qual a pressão da água não é integralmente considerada quando o solo está na condição não saturada.
4. Escreva a expressão da envoltória de resistência considerando que o solo esteja acima no nível de água, mas completamente saturado por capilaridade. O que você conclui?

