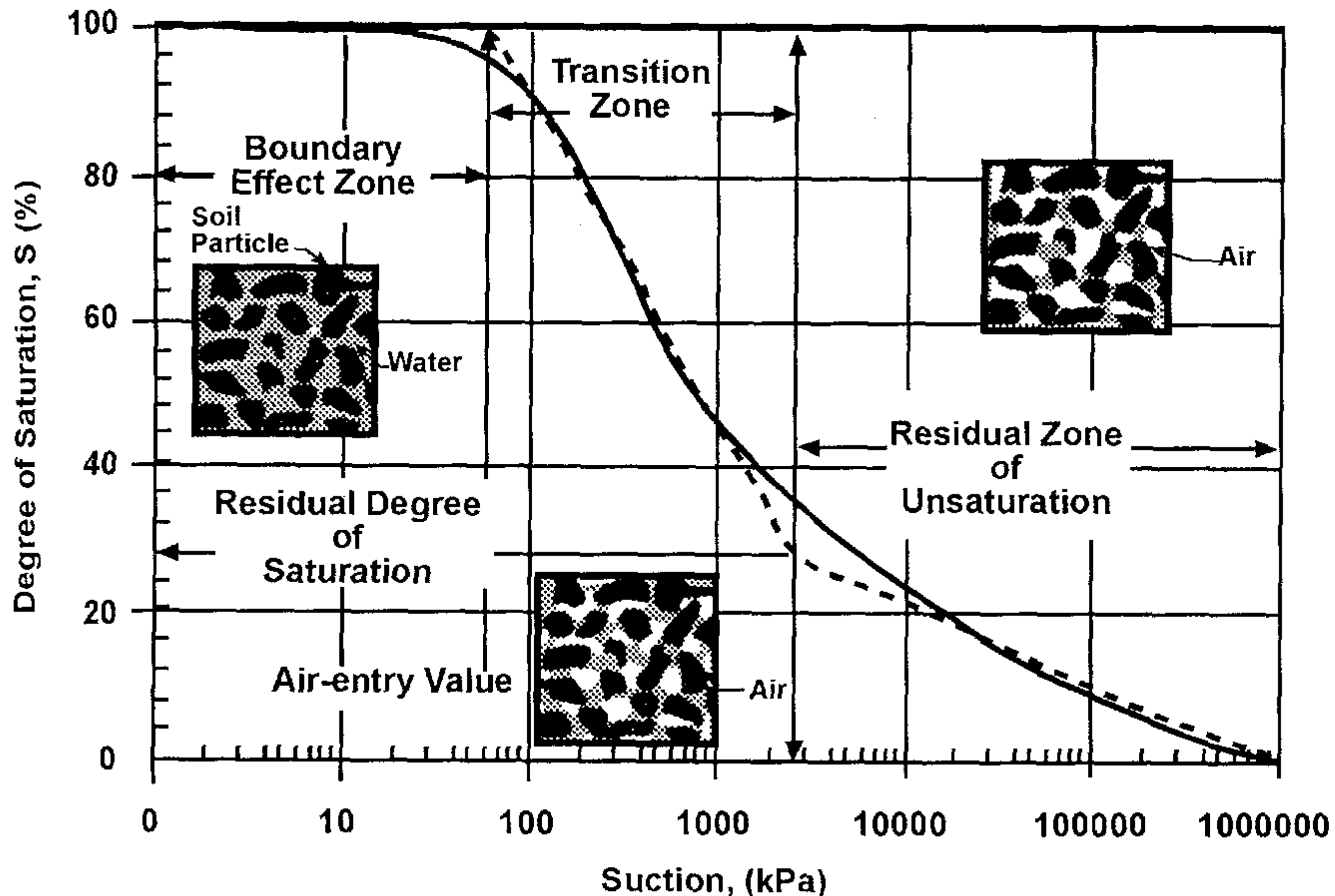
Modelos para a Resistência ao Cisalhamento Usando a Curva de Retenção de Água

Fernando A. M. Marinho

2006

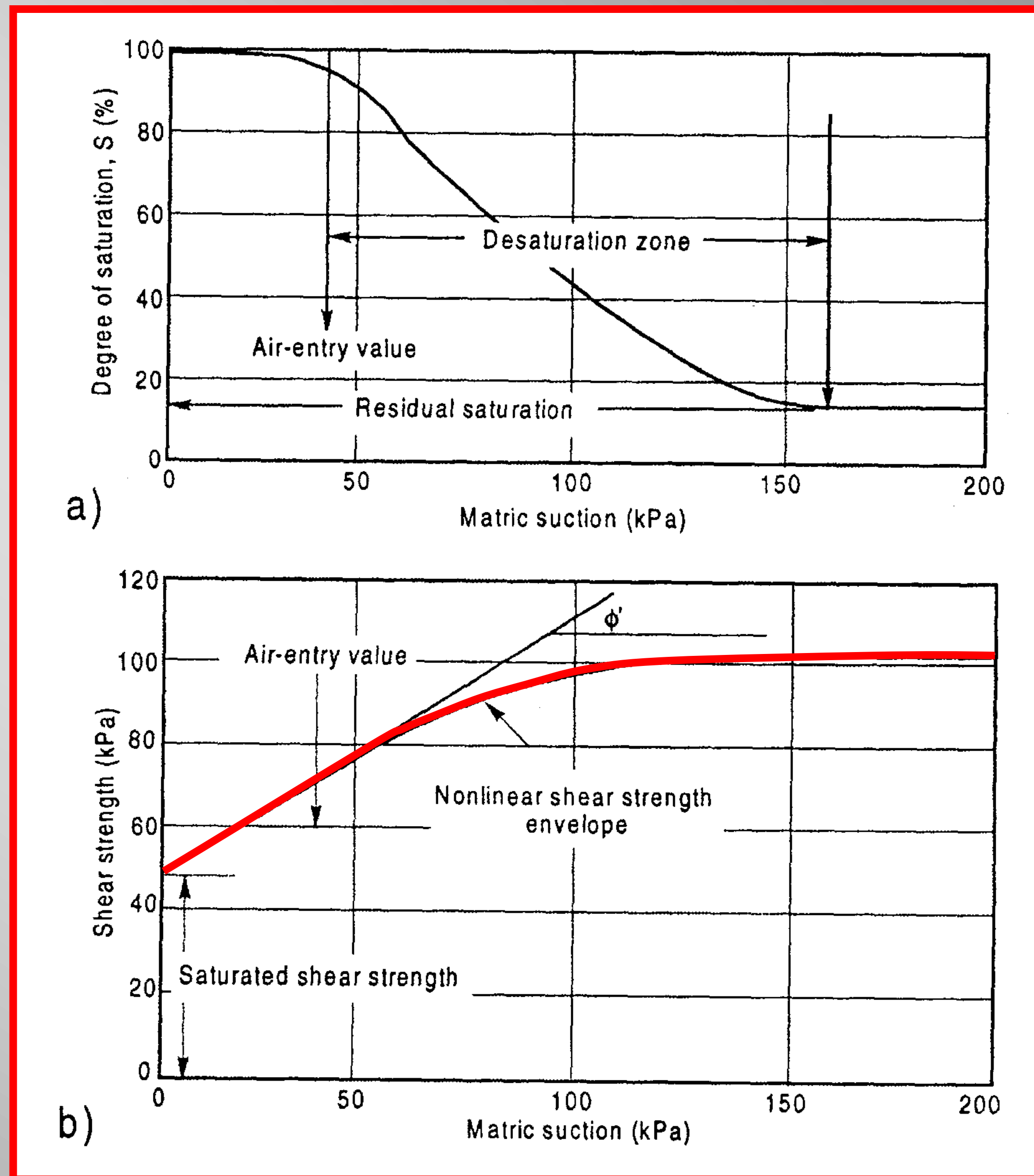


(Vanapalli et al, 1999)

Curva de retenção de água típica com as diversas zonas de dessaturação

Curva de retenção de água

Relação entre a resistência e a curva de retenção de água



Modelos encontrados na Literatura

Fredlund et al . (1996)
Vanapalli et al (1996)
Oberg & Salfors (1997)
Khalili & Khabbaz (1998)
Rassam & Cook (2002)
Vilar (2006)

Vanapalli et al (1996)

$$a_w = \frac{A_{dw}}{A_{tw}}$$

- A_{dw} → Área total de água para S = 100%
- A_{tw} → Área de água para qualquer S

→ **Área de água normalizada**

- Quantidade de água no solo
- Varia de 1 a um valor pequeno no grau de saturação residual
- Vale zero quando o solo está seco

Teor de umidade volumétrico normalizado

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}}$$

Se $\Theta_{res} = 0$

$$\Theta = \frac{\theta}{\theta_{sat}}$$

$$a_w = \Theta^{\kappa}$$

κ → Parâmetro de ajuste

Vanapalli et al (1996)

A contribuição da sucção para a resistência pode ser matematicamente expressa por:

$$\tau_{us} = (u_a - u_w) * (a_w \tan \phi')$$

$$\tau_{us} = (u_a - u_w) * (\Theta^{\kappa} \tan \phi')$$

A contribuição incremental da sucção para a resistência vale:

$$d\tau_{us} = d(u_a - u_w) * [(\Theta^{\kappa})(\tan \phi')] + (u_a - u_w)[d(\Theta^{\kappa})(\tan \phi')]$$

O valor de $\tan\phi^b$ em qualquer sucção vale:

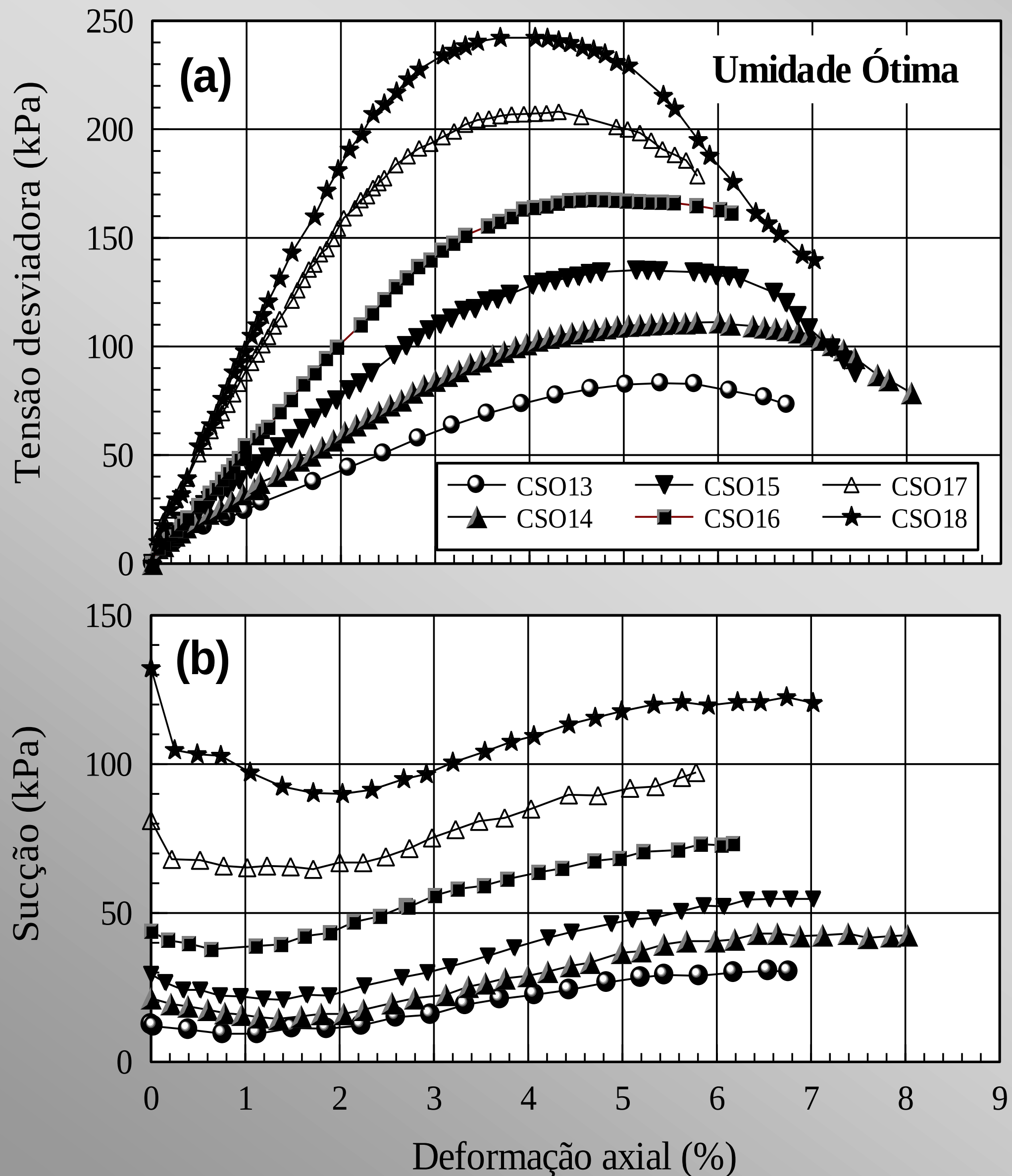
$$\tan \phi^b = \frac{d\tau}{d(u_a - u_w)} = \left[\left(\Theta^{\kappa}\right) + (u_a - u_w) \frac{d(\Theta^{\kappa})}{d(u_a - u_w)} \right] \tan \phi'$$

A resistência ao cisalhamento do solo não saturado vale:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a)\tan\phi'] + (u_a - u_w)[(\Theta^{\kappa})(\tan\phi')]$$

Resistência do solo saturado — Contribuição da sucção

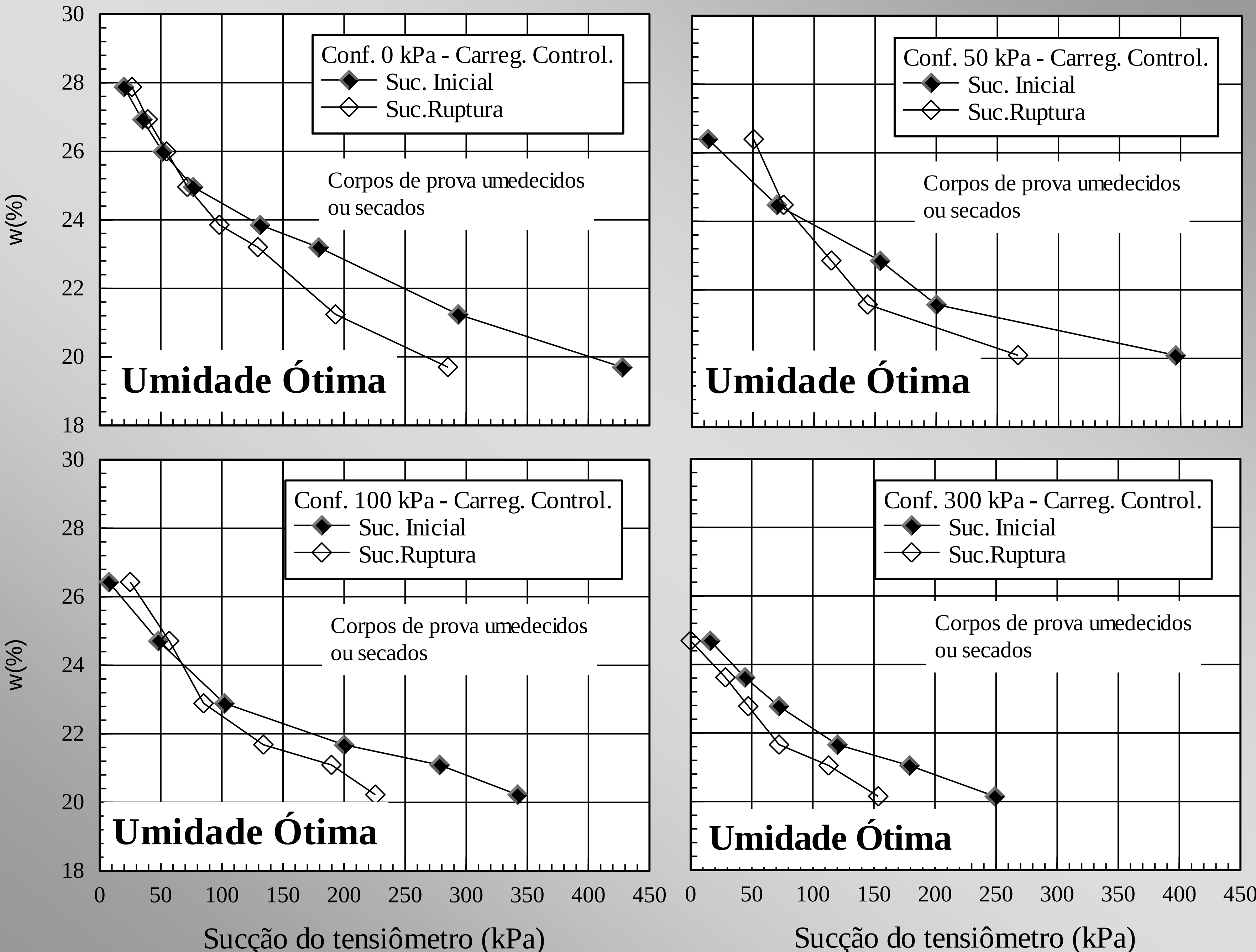
Vanapalli et al (1996)



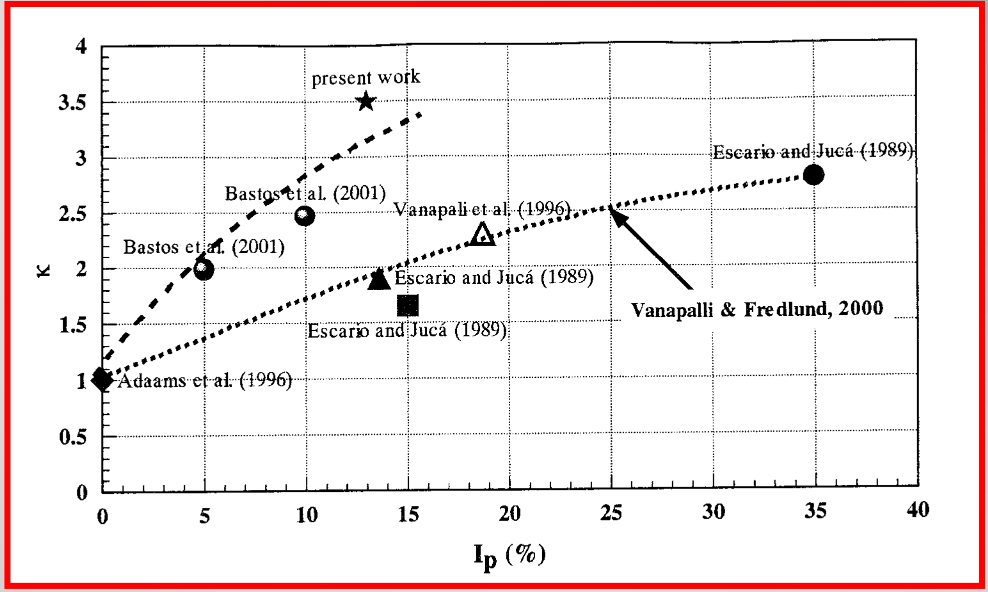
Solo residual de gnaisse - ensaio de compressão simples com medição direta de sucção

Oliveira (2004)

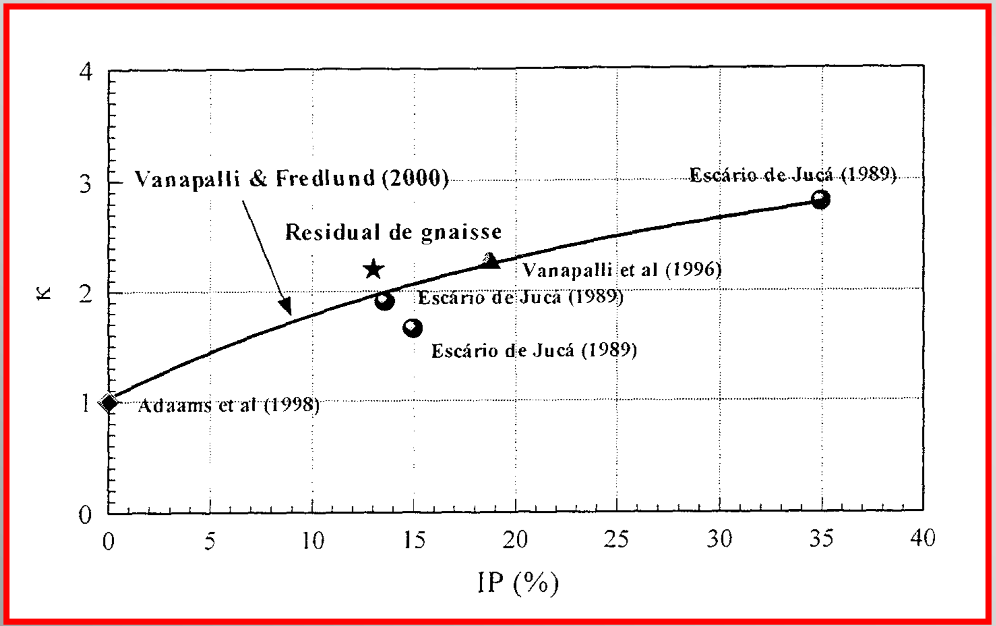
Aplicação - Vanapalli et al (1996)



Aplicação - Vanapalli et al (1996)

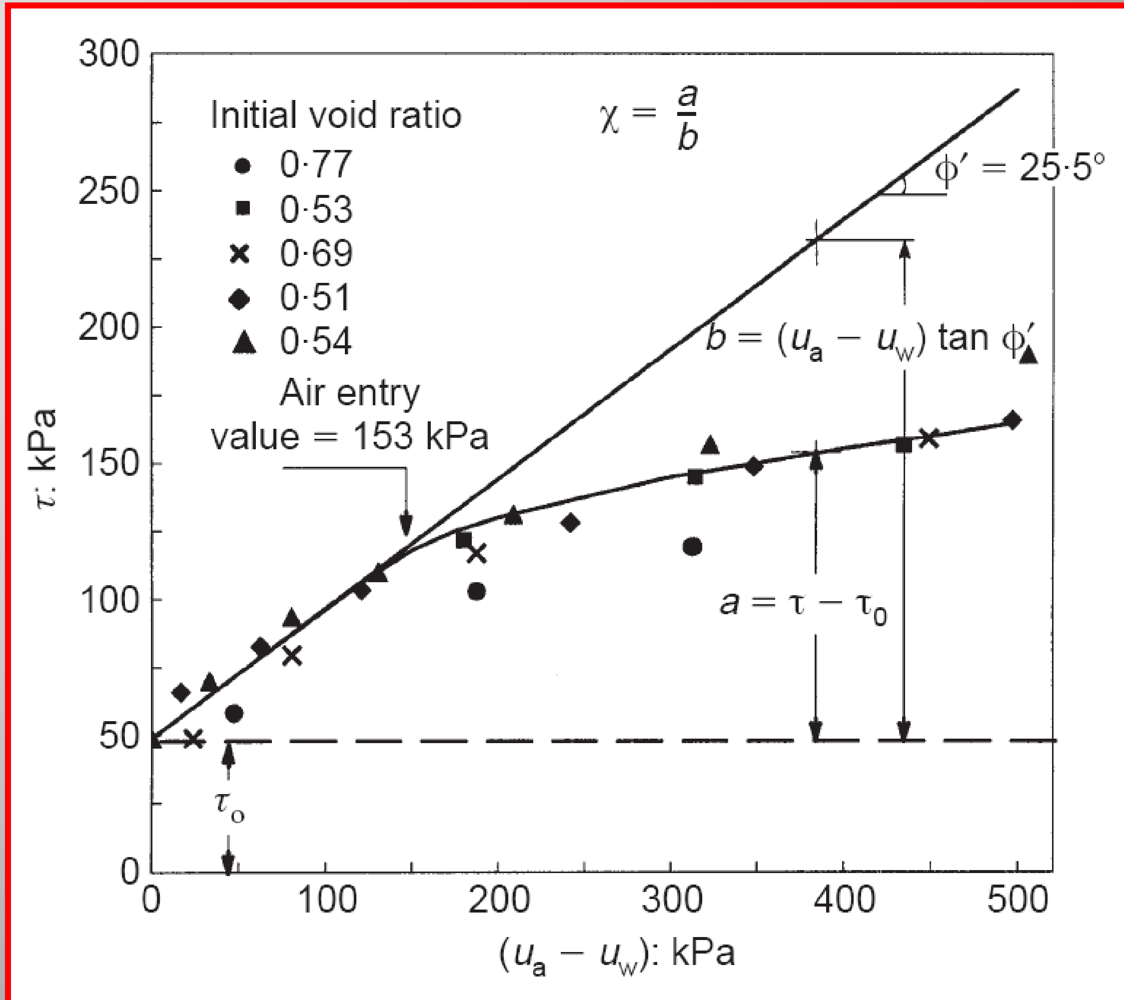


Oliveira & Marinho (2003)



Oliveira (2004)

Khalili & Khabbaz (1998)



Khalili & Khabbaz (1998)

1

$$\tau = c' + [(\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w)]\tan\phi'$$

2

$$\tau_o = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' \quad \text{sendo } u_a = u_w$$

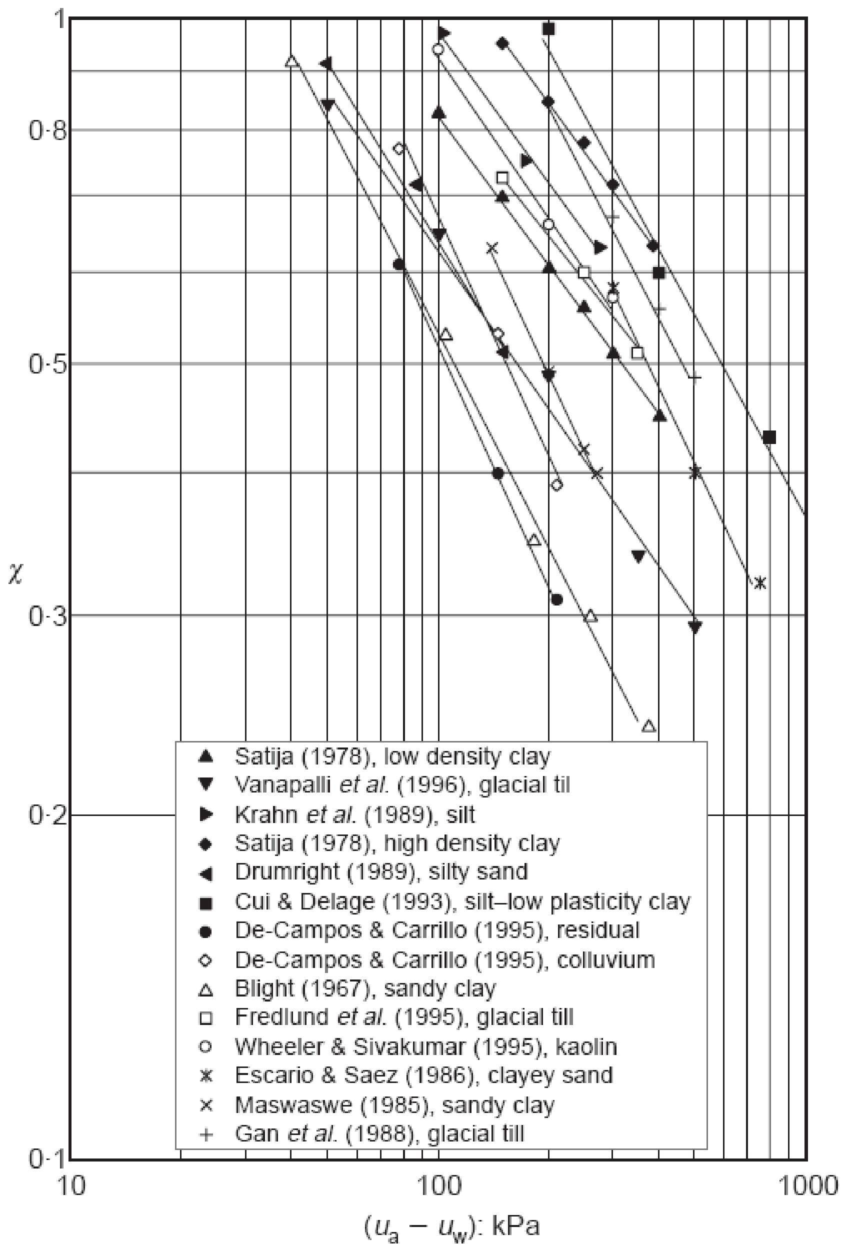
Solo saturado

1 - 2

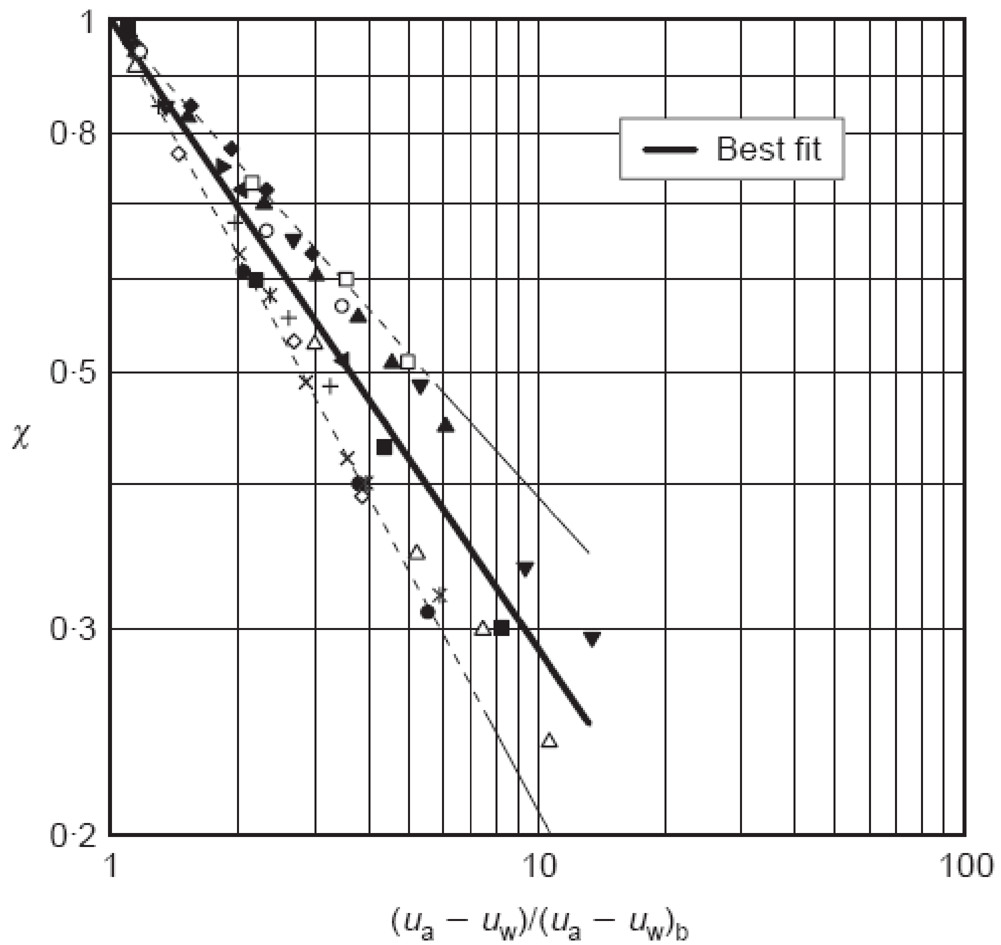
$$\tau - \tau_o = \chi(u_a - u_w)]\tan\phi'$$

$$\chi = \frac{\tau - \tau_o}{(u_a - u_w)]\tan\phi'}$$

Khalili & Khabbaz (1998)

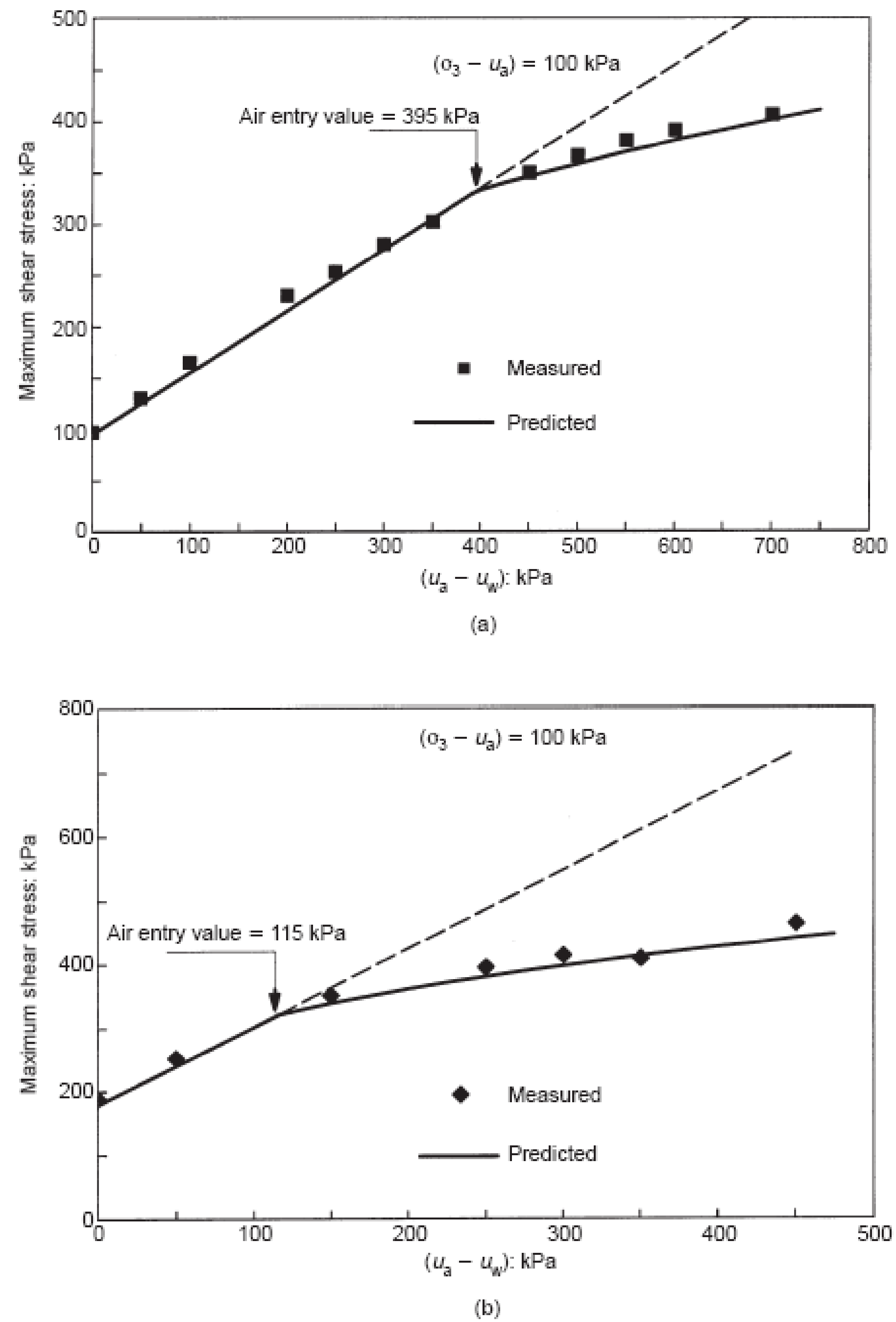


Khalili & Khabbaz (1998)

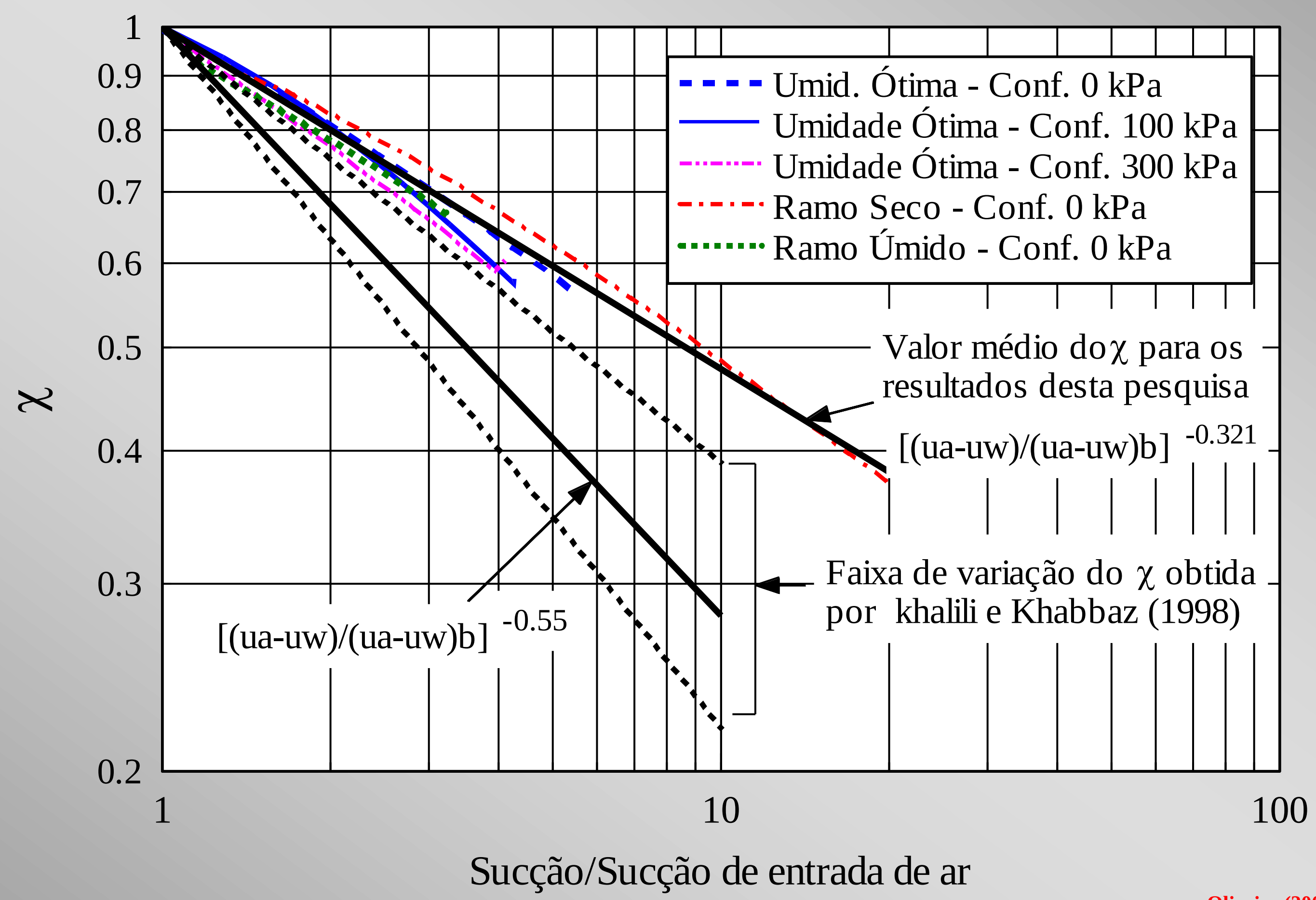


$$\chi = \left[\frac{(u_a - u_w)}{(u_a - u_w)_b} \right]^{-0.55}$$

Khalili & Khabbaz (1998)



Khalili & Khabbaz (1998)



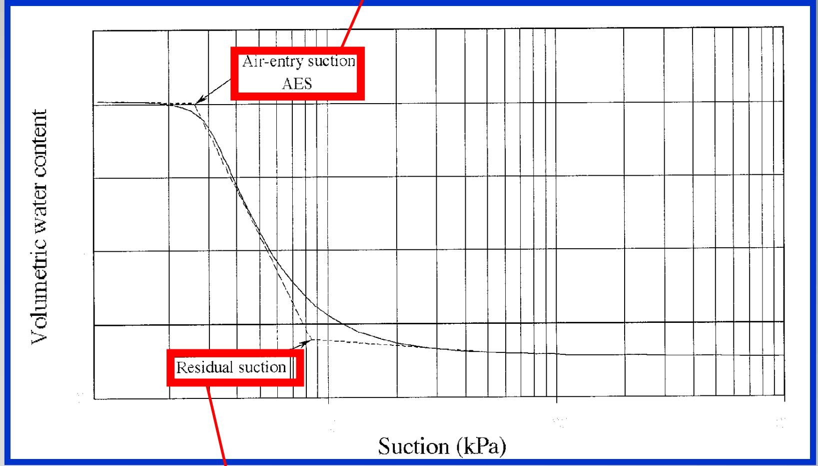
Oliveira (2004)

Rassam & Cook (2002)

$$\tau_s = \psi \tan\phi' - \varphi(\psi - \psi_e)^{\beta}$$

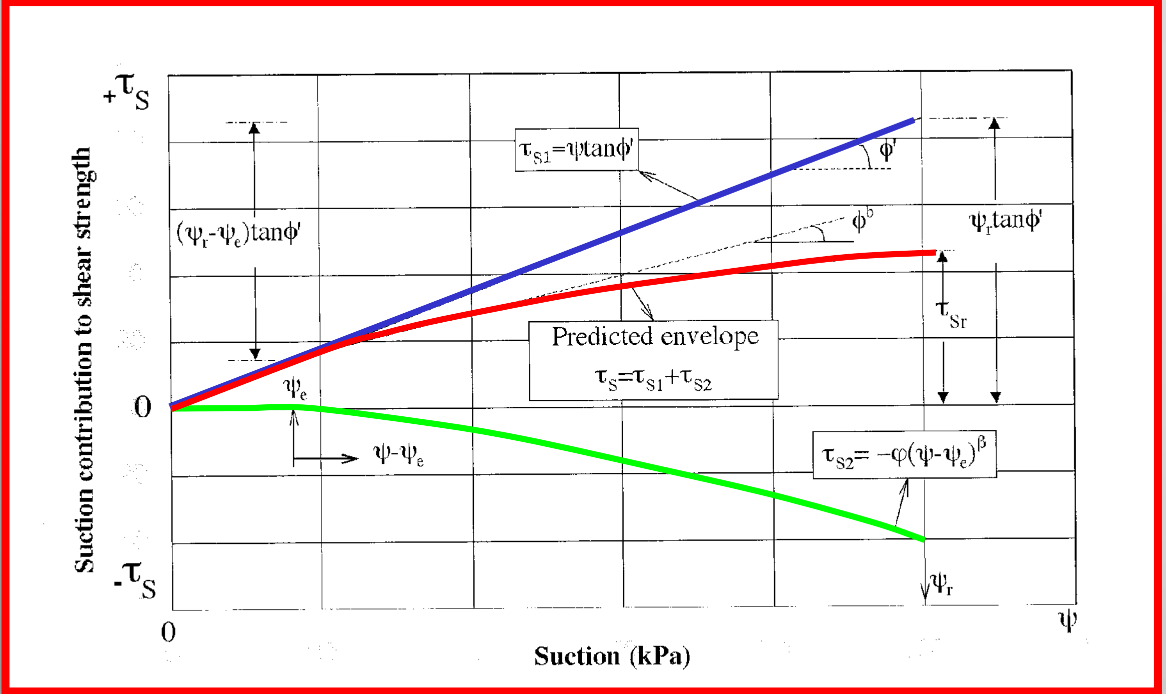
Parâmetros de ajuste

Sucção de entrada de ar



ψ_e

ψ_r



$$\varphi = \frac{\psi_r \tan\phi' - \tau_{Sr}}{(\psi_r - \psi_e)^{\beta}}$$

$$\beta = \frac{\tan\phi' (\psi_r - \psi_e)}{\psi_r \tan\phi' - \tau_{Sr}}$$

Vilar (2006)

$$\tau = c' + (u_a - u_w)\tan\phi^b + (\sigma - u_a)\tan\phi'$$

$$c = c' + (u_a - u_w)\tan\phi^b$$

Ajuste hiperbólico

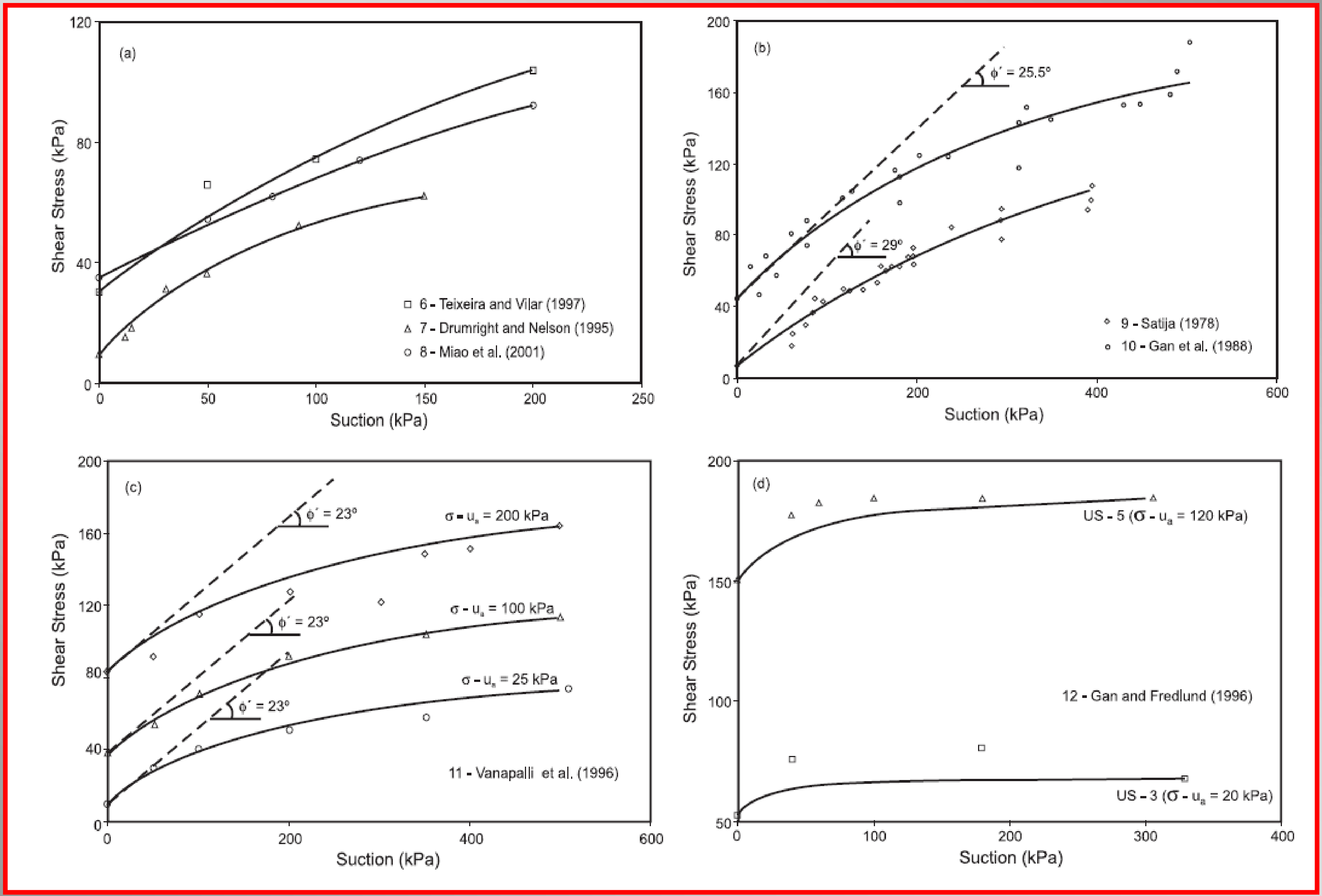
$$c = c' + \frac{\psi}{a + b\psi}$$

Parâmetros de ajuste

$$\frac{1}{a} = \tan\phi'$$

$$b = \frac{1}{(c_{ult} - c')}$$

Vilar (2006)



(a)
Shear Stress (kPa)
Suction (kPa)
6 - Teixeira and Vilar (1997)
7 - Drumright and Nelson (1995)
8 - Miao et al. (2001)
(b)
ϕ´ = 25.5°
ϕ´ = 29°
9 - Satija (1978)
10 - Gan et al. (1988)
(c)
ϕ´ = 23°
σ - u_a = 200 kPa
σ - u_a = 100 kPa
σ - u_a = 25 kPa
11 - Vanapalli et al. (1996)
(d)
US - 5 (σ - u_a = 120 kPa)
12 - Gan and Fredlund (1996)
US - 3 (σ - u_a = 20 kPa)