

---

# ENSAIOS EM MACIÇO ROCHOSO

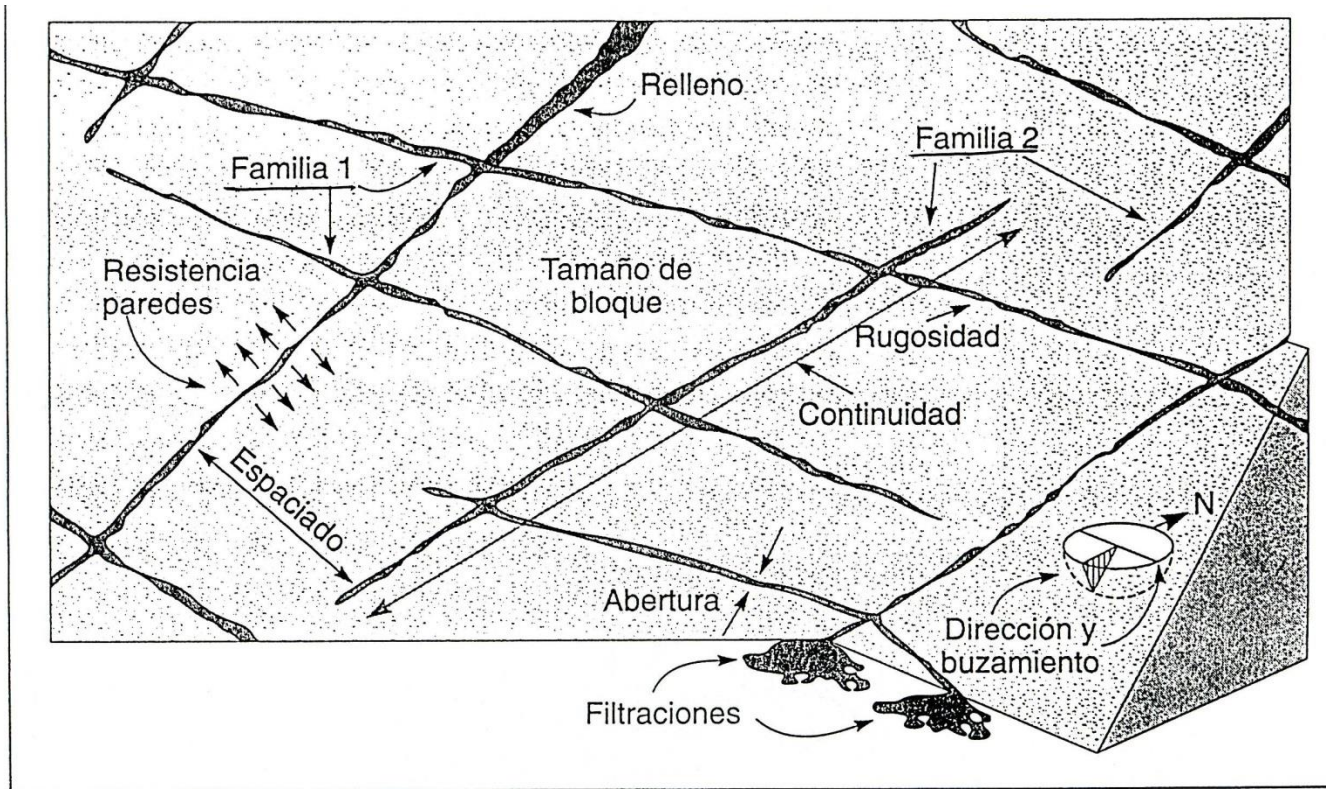
---

---

# Ensaaios em maciço rochoso

- Rocha  $\neq$  maciço rochoso
  - Características que é necessário estudar para grandes obras em maciço rochoso:
    - Deformabilidade
    - Resistência
    - Permeabilidade
    - Estado de tensão *in situ* (com interesse em obras executadas a grande profundidade)
-

# Ensaaios em maciço rochoso



# Ensaaios em maciço rochoso

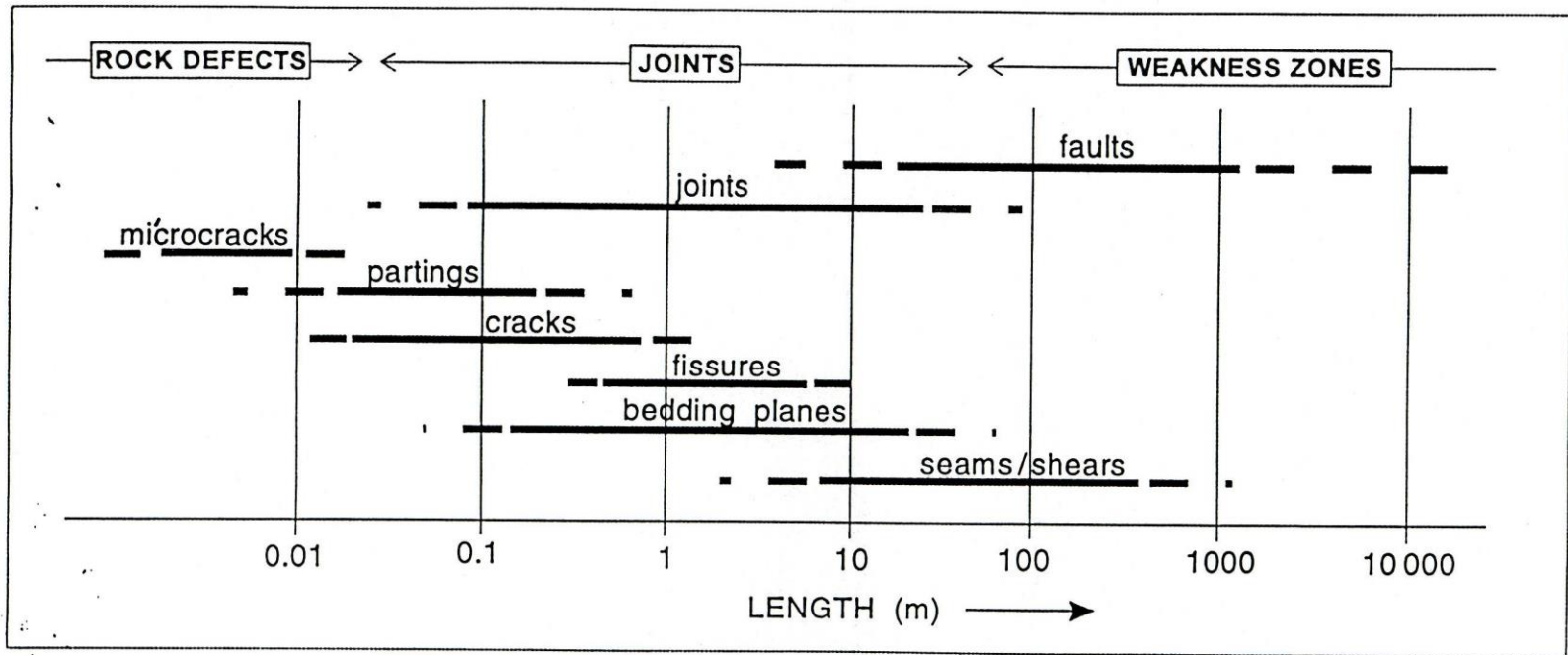


Figure 3.1 The main types of discontinuities according to size. The size range (length) used for joints is indicated (revised from Palmström, 1995).

---

# Permeabilidade

---

---

# Ensaaios em maciço rochoso

- Ensaaios de permeabilidade tipo Lugeon
    - Patamares de pressão em intervalos de tempo definidos
    - Objectivos:
      - Determinar o valor (aproximado) da permeabilidade de maciços rochosos
      - Avaliar o grau de fracturação das rochas (também estudado nas carotes de sondagem)
      - Determinar a necessidade de impermeabilização dos maciços e quantidade de calda de cimento a injectar
-

# Ensaaios em maciço rochoso

- Procedimento:
  - Injecção de água sob pressão num troço do furo e determinação da absorção de água. Pode usar-se um só obturador ou dois obturadores
  - Utilizar vários patamares de pressão, durante 10 minutos cada, aumentando a pressão de injecção até  $10 \text{ kg/cm}^2$
  - Redução de pressão pelos mesmos patamares, com determinação da absorção em cada patamar
  - O maciço deve estar saturado, até atingir estabilização

---

# Ensaaios em maciço rochoso

- Propostas de alteração:
    - Pressão máxima não deve ultrapassar o peso próprio do maciço no local do ensaio
    - Cálculo da absorção em litros por minuto e por metro de furo, extrapolada para pressão de 1MPa (expresso em unidades Lugeon)
    - Não existe uma correspondência recíproca entre a fracturação e a permeabilidade/regime de escoamento
-

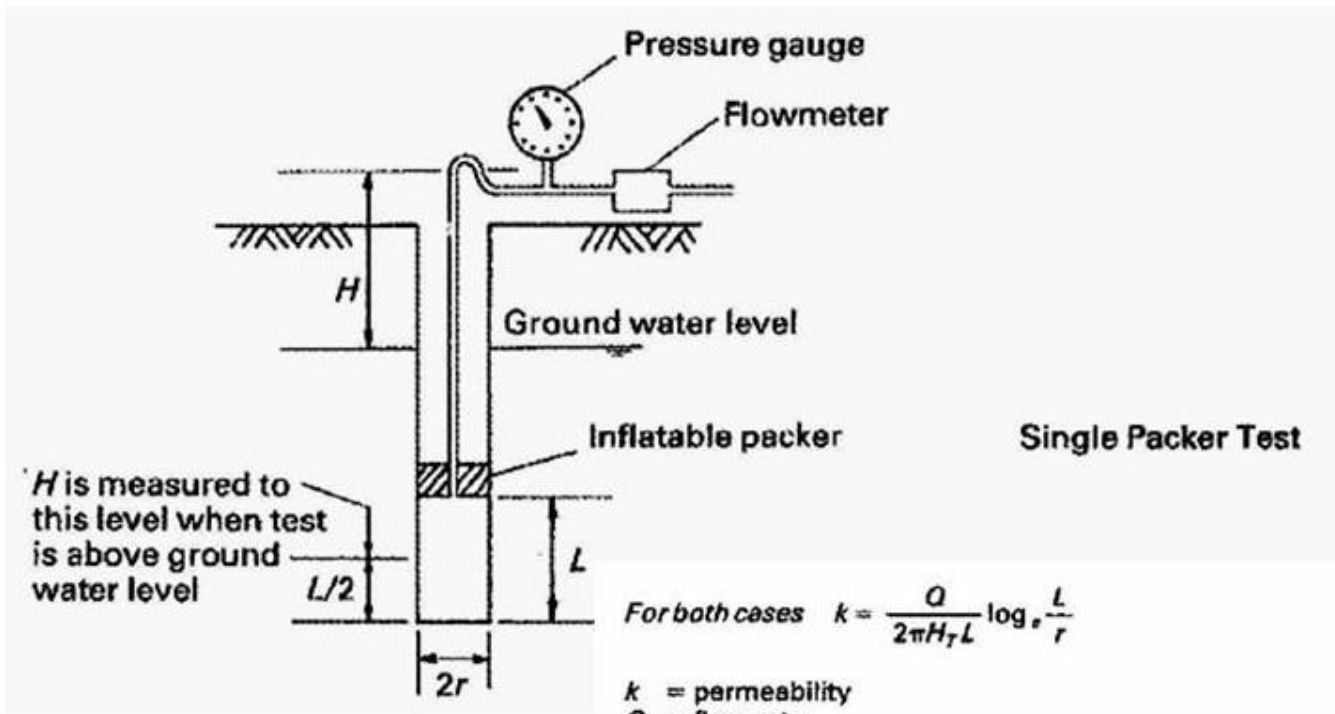


# Ensaaios em maciço rochoso

- Patamares de pressão alternativos:
  - $P1=0,09 \times \text{profundidade}$
  - $P2=0,16 \times \text{profundidade}$
  - $P3=0,23 \times \text{profundidade}$
  
- Atendendo à profundidade:
  - Até 25 m – 0,5 MPa
  - 25 a 50 m – 1,0 MPa
  - 50 a 75 m – 1,5 MPa
  - Abaixo de 75 m – 2,0 MPa

# Ensaios em maciço rochoso

Obturador simples – execução do ensaio à medida que avança a sondagem

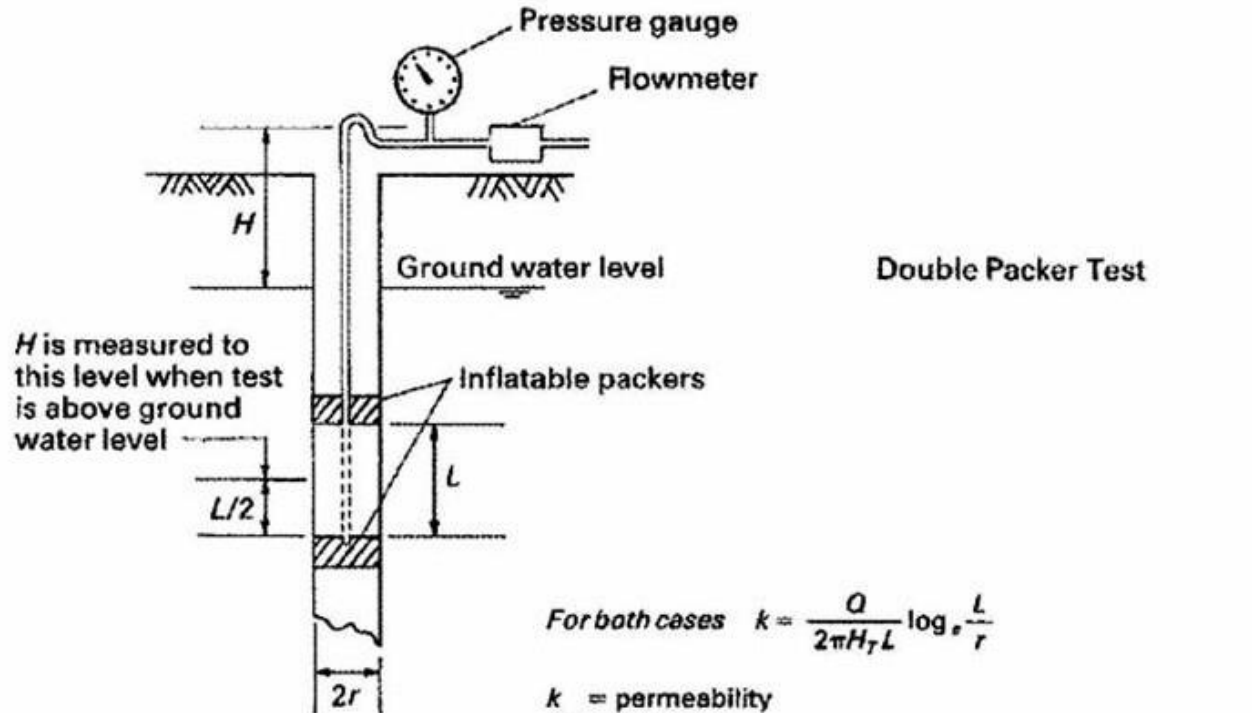


*H* depende da posição do nível freático

$k$  = permeability  
 $Q$  = flow rate  
 $L$  = length of test section  
 $r$  = radius of test section  
 $H_T$  = pressure head in test section causing flow into rock  
 $H_T = P + H - H_f$   
 $P$  = pressure gauge reading  
 $H$  = head difference as shown  
 $H_f$  = friction head loss in pipes

# Ensaio em maciço rochoso

Obturador duplo – execução do ensaio após furação



$$\text{For both cases } k = \frac{Q}{2\pi H_T L} \log_e \frac{L}{r}$$

*k* = permeability

*Q* = flow rate

*L* = length of test section

*r* = radius of test section

*H<sub>T</sub>* = pressure head in test section causing flow into rock

*H<sub>T</sub>* = *P* + *H* - *H<sub>f</sub>*

*P* = pressure gauge reading

*H* = head difference as shown

*H<sub>f</sub>* = friction head loss in pipes

*H* depende da posição  
do nível freático

---

# Ensaaios em maciço rochoso

- Interpretação dos resultados
    - Tipo de escoamento
    - Fracturação
    - Tendência para colmatação ou desobstrução das fracturas
    - Determinação da profundidade recomendável para tratamento de impermeabilização e consolidação
-

# Ensaaios em maciço rochoso

O maciço é considerado estanque se em 2 troços consecutivos (2x5m)  $UL < 1$

□ Unidade Lugeon (UL) = 1 l/min.m à pressão de  $10 \text{ kg/cm}^2$  ( $\sim 1 \text{ MPa}$ ) durante 10 min

□ Unidade de absorção (UA) =  $A$   
 $(\text{l}/10\text{min}) / [t(\text{min}) \times l(\text{m}) \times p(\text{kg/cm}^2)]$

# Ensaaios em maciço rochoso

- Cálculo de coeficiente de permeabilidade (regime laminar)

- $K = 1,67 \times 10^{-6} \times (1/c) \times (Q/P_e)$  (m/s)

- $c$  – coeficiente de forma (m)       $c = 2L/[\log(2L/D)]$

- $Q$  – caudal absorvido (l/min)

- $P_e$  – pressão efectiva (MPa)

# Ensaaios em maciço rochoso

- Cálculo do regime de escoamento
  - $n = \log(P_1/P_0) / \log(A_1/A_0)$ 
    - Sendo P, pressão e A, absorção em litros
    - $n < 1$  – regime anormal, por aumento de absorção
    - $n = 1$  – regime laminar
    - $1 < n < 2$  – regime intermédio
    - $n = 2$  – regime turbulento
    - $n > 2$  – regime anormal por diminuição de absorção

# Ensaaios em maciço rochoso

- Pressão efectiva:

- Acima do NF

- $P_e = H/10 + P_m - P_c$

- Abaixo do NF

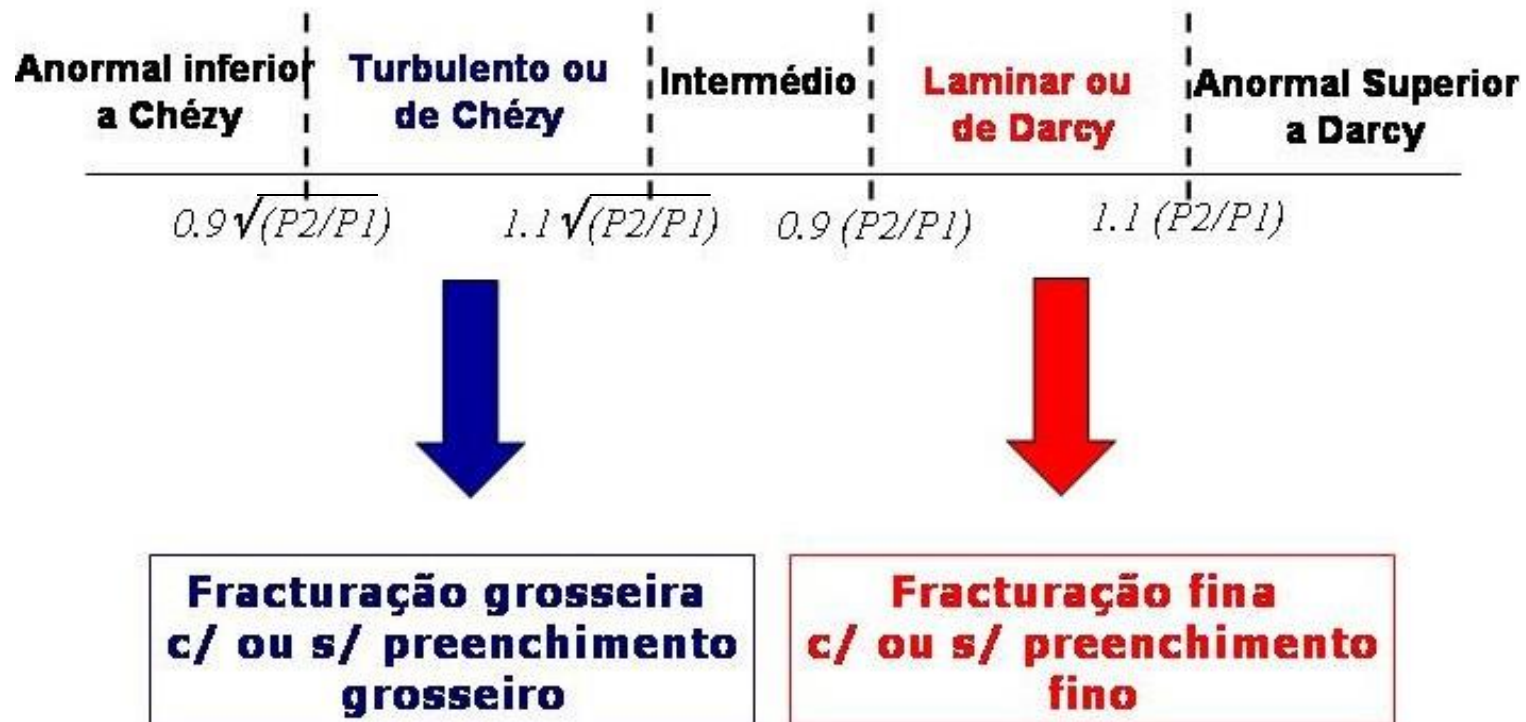
- $P_e = NF/10 + P_m - P_c$

- Com  $P_m$  a pressão manométrica,  $P_c$  perda de carga,  $H$  profundidade média do ensaio,  $NF$  profundidade do nível freático;  $P_c$  determinado por gráfico (curvas de calibração determinadas no campo) ou fórmulas

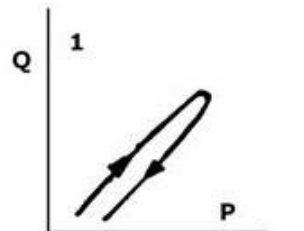


# Ensaio em maciço rochoso

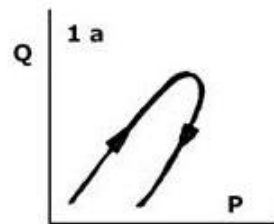
O regime de escoamento está dependente do tipo de fracturação ou do tipo de preenchimento das fracturas



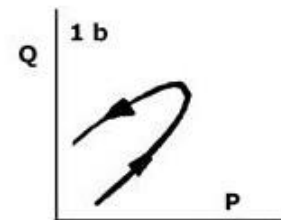
# Ensaio em maciço rochoso



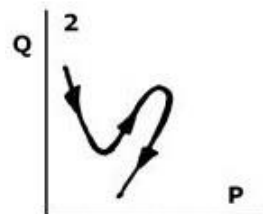
Escoamento laminar com colmatagem



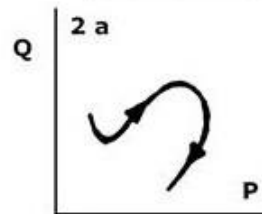
Escoamento laminar com colmatagem a pressão elevada



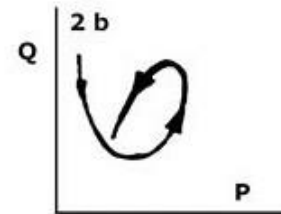
Escoamento laminar com desobstrução a pressão elevada



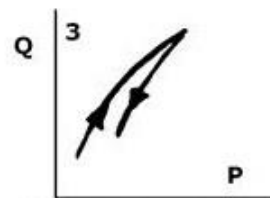
Colmatagem a pressão baixa



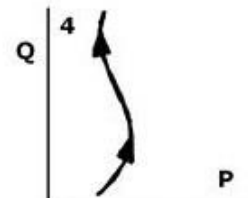
Colmatagem a baixa e depois a alta pressão



Colmatagem a baixa pressão e desobstrução a elevada pressão



Escoamento turbulento com colmatagem



Desobstrução progressiva