



PEF3304 - POLUIÇÃO DO SOLO

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE *IN SITU*

Felipe Ramires Neudl

Jacqueline Vergely Fraga Ferreira

Rodrigo Felizardo N. Souza

Victor Zenzo Kaiya Nakakura

NºUSP - 9373570

NºUSP - 8583882

Nº USP - 10379461

NºUSP - 10771970

O que é o coeficiente de permeabilidade?

O coeficiente de permeabilidade do solo é definido como a **velocidade média aparente** de escoamento da água através de uma **área total da seção transversal do solo** sob um gradiente hidráulico unitário.

Ensaio de permeabilidade do solo

Definição

- Utilizados para calcular o coeficiente de permeabilidade do solo
- Frequentemente utilizados em furos de sondagem à percussão
- Medida da **vazão**, (volume absorvido ou retirado), durante um intervalo de tempo, em função da aplicação de **diferenciais de pressão induzida** por colunas d'água (injeção ou retirada de água do furo).
- Consolidação de obras civis/ambientais

Como determinar o coeficiente?

O tipo de ensaio a ser realizado está relacionado, além de outros fatores, com o **tipo do terreno**:

Maciço Rochoso (escoamento em cavidades) - Ensaio de Lugeon

Maciço Terroso (escoamento em vazios) - Ensaio de Lefran ou Lugeon

Do ponto de vista hidráulico, **o escoamento num maciço rochoso difere em geral bastante do que é observado num meio poroso**. Tal deve-se essencialmente à forma e dimensões dos vazios por onde circula a água, poros num caso, descontinuidades (fissuras) no outro.

Como determinar o coeficiente (Lugeon)?

- **Ensaio de Lugeon**

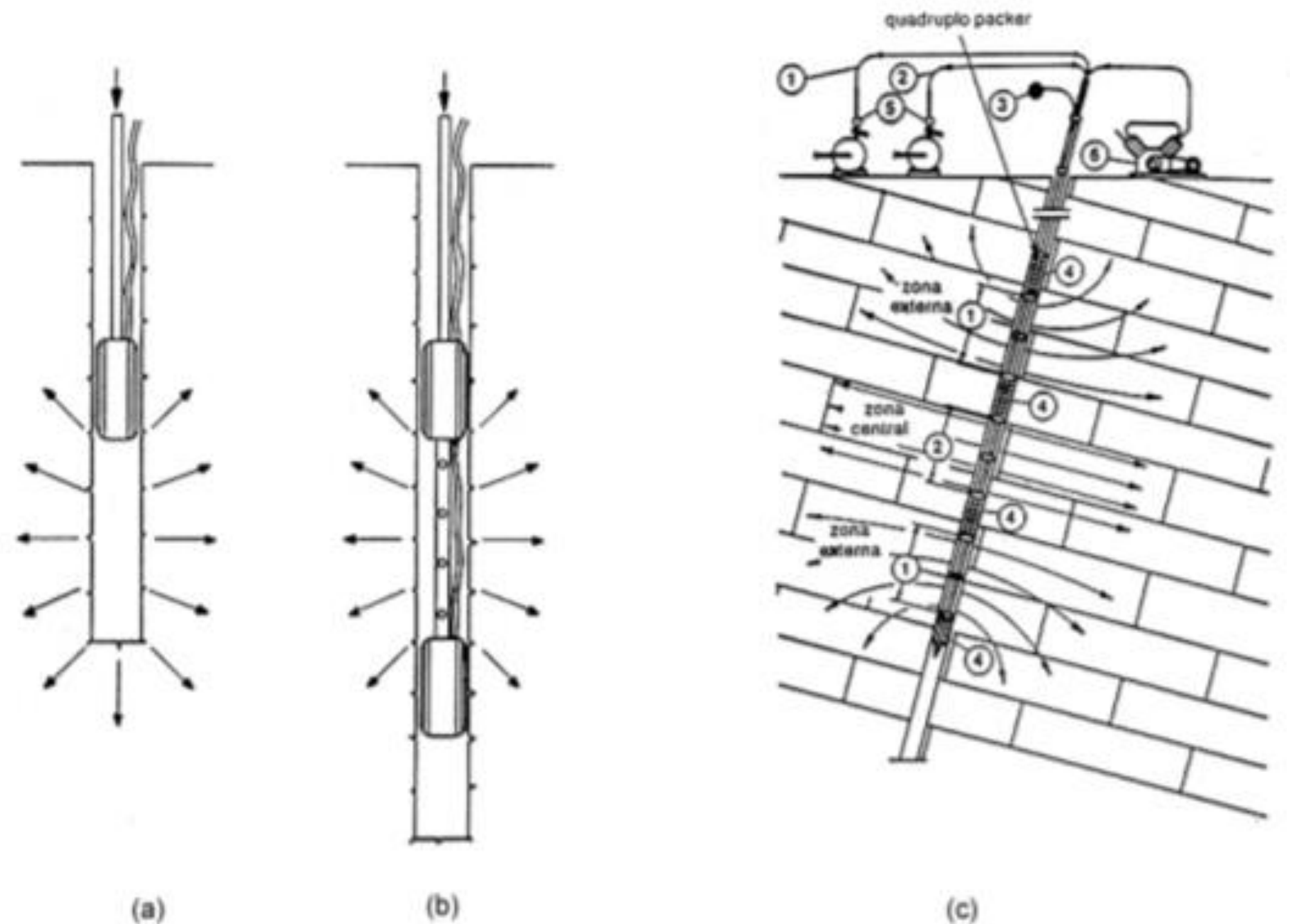
O ensaio Lugeon consiste na injeção (radial) de água sob pressão num certo trecho de um furo de sondagem e na medição da quantidade de água que entra no maciço rochoso durante um certo tempo. As condições particulares dos maciços rochosos obrigam que os ensaios sejam, realizados de forma a caracterizar a permeabilidade nas várias direcções do espaço (ensaio tridimensionais).

Hipóteses Adotadas:

- Escoamento laminar (aplica-se a Lei de Darcy)
- Regime de escoamento permanente

Ensaio Lugeon com pressões constantes

A realização do ensaio em **vários degraus de pressão**, permite traçar curvas caudal versus pressão (Q-P) que dão informação quanto ao regime de percolação do maciço e quanto ao estado e tipo de fracturação. **Como é menos usado, não iremos nos estender em Lugeon, focando no ensaio de Lefranc**



Ensaio Lugeon: a) - obturador simples; b) – obturador duplo, c) – obturador quádruplo.

Como determinar o coeficiente (Lefranc)?

- **Ensaio Lefranc**

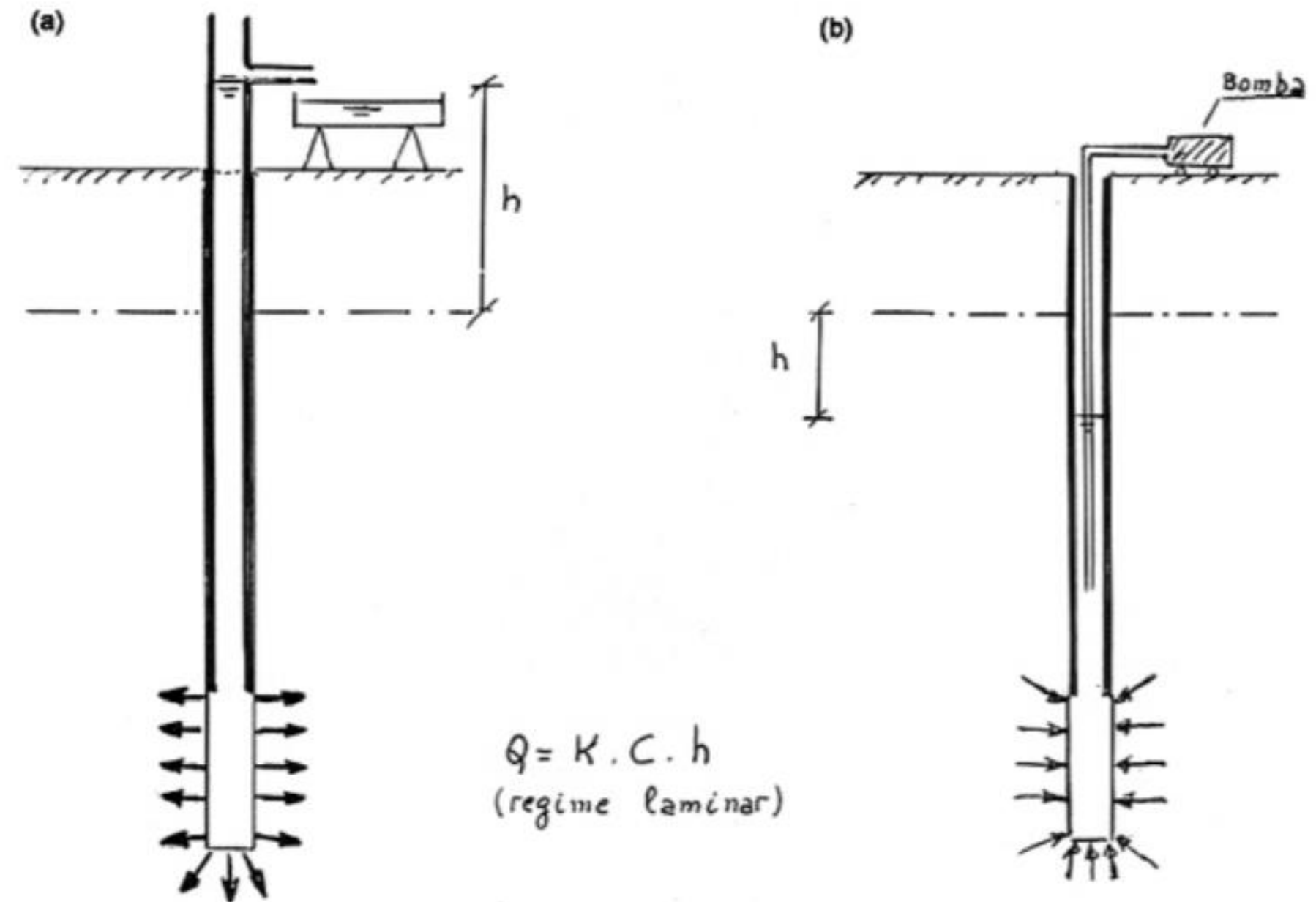
É feito normalmente a diversas profundidades. Consiste em introduzir ou bombear água numa cavidade de forma fixa, esta situada a uma determinada profundidade do terreno poroso em relação ao qual se pretende conhecer a permeabilidade. Este ensaio pode ser feito com carga hidráulica **constante** ou **variável**.

Hipóteses Adotadas:

- Escoamento laminar (aplica-se a Lei de Darcy)
 - Meio Isotrópico e homogêneo
- Regime de escoamento permanente

Ensaio Lefranc com carga constante

No ensaio com **carga hidráulica constante** introduz-se (Figura a) ou bombeia-se (Figura b) um caudal constante na cavidade de forma a verificar-se a estabilização do nível aquífero na sondagem.



C : coeficiente de forma relativo à cavidade

Ensaio Lefranc com carga constante

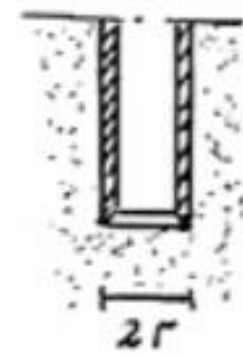
O caudal Q é proporcional à permeabilidade, caracterizada pelo coeficiente k , e à carga hidráulica h :

$$Q = k.C.h$$

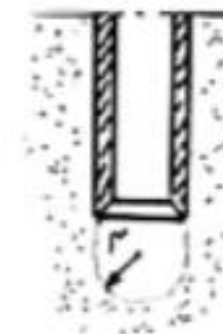
em que C é um coeficiente característico da forma da cavidade.

A carga hidráulica é dada pela altura de água no furo acima do nível freático (a carga é considerada nula antes do ensaio).

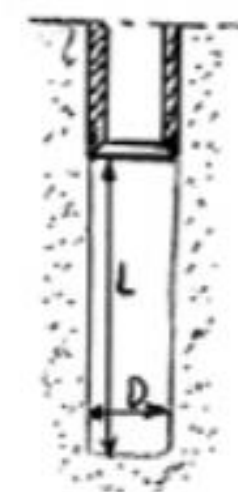
C : coeficiente de forma relativo à cavidade



$$C = 5,7.r$$



$$C = 4.\pi.r$$



$$C = \frac{2.\pi.D.\sqrt{\frac{L^2}{D^2}-1}}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\frac{L^2}{D^2}-1}\right)}$$

se $L \gg D$

$$C = \frac{2\pi L}{\ln \frac{2L}{D}}$$

Ensaio Lefranc com carga variável

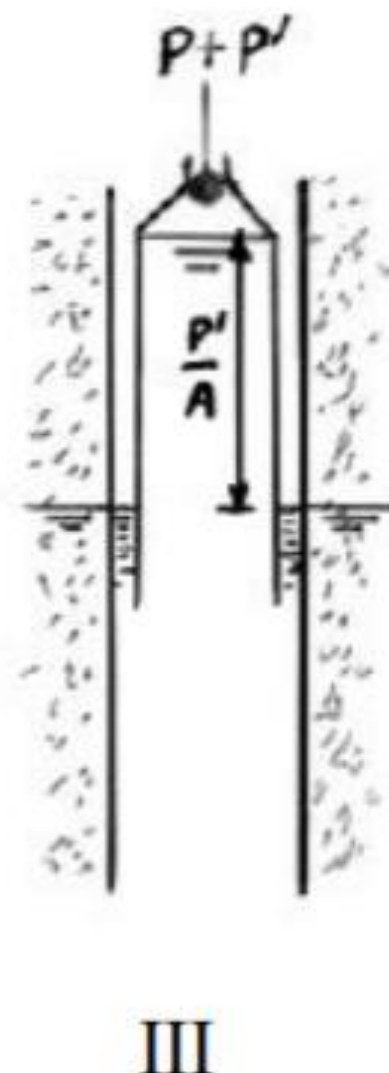
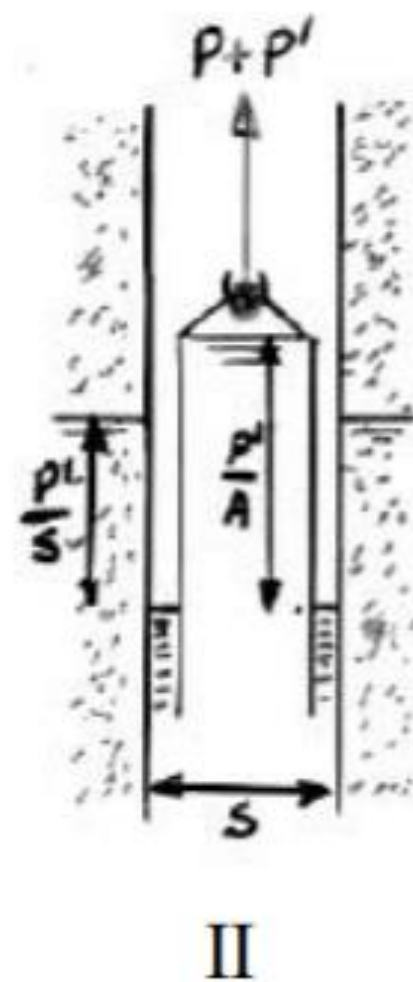
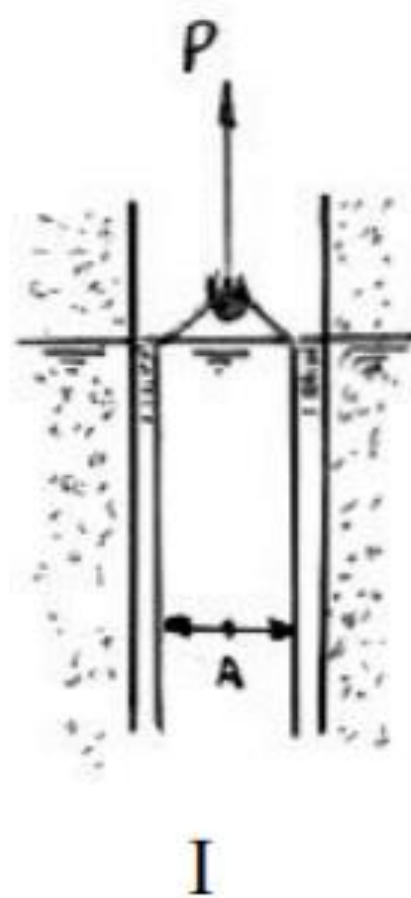
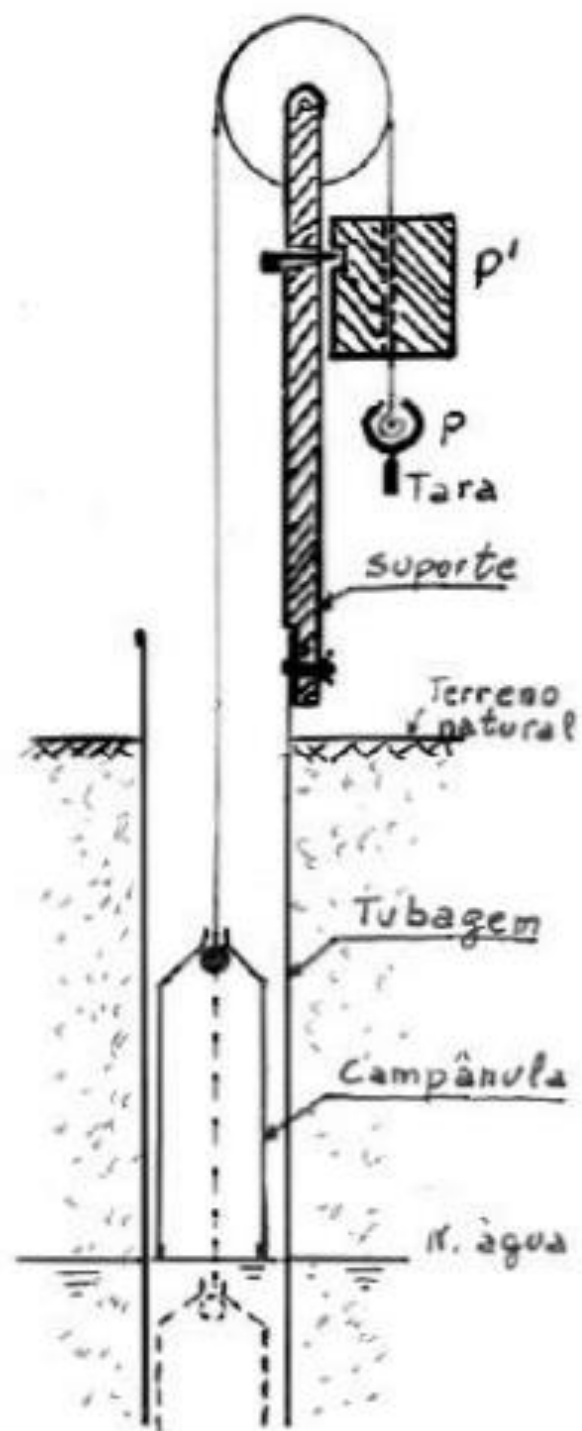
No ensaio com **carga hidráulica variável** introduz-se ou bombeia-se um dado volume de água na cavidade e registam-se as variações de nível piezométrico no furo de sondagem ao longo do tempo. Este tipo de ensaio é, em geral, realizado em solos pouco permeáveis ($k < 10^{-4}$ cm/s);

Ensaio Lefranc com carga variável

Dispositivo de Brillant: é possível fazer a determinação do coeficiente de permeabilidade quando a carga h é variável ao longo do tempo t . Apresenta-se a fórmula teórica geralmente utilizada para a determinação do coeficiente de permeabilidade quando se realizam este tipo de ensaios em furos de sondagem cuja área transversal é representada por S .

$$k = \frac{S}{C(t-t_0)} \ln \frac{h_0}{h}$$

Ensaio Lefranc com carga variável



Fase I: Campânula imersa equilibrada pela tara P

Fase II: rebaixamento instantâneo devido à actuação de P'

Fase III: Final da subida

$$h = h_0 \cdot e^{-\frac{k \cdot c}{s} (t - t_0)} \Rightarrow k = \frac{s}{c(t - t_0)} \cdot \ln \frac{h_0}{h}$$

REFERÊNCIAS

APL ENGENHARIA. Execução De Ensaio De Permeabilidade In Situ. Disponível em: <https://www.apl.eng.br/geotecnia/execucao-de-ensaio-de-permeabilidade-in-situ>. Acesso em: 30 ago. 2020.

Ensaio in situ. Geologia de Engenharia. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~geng/ge/apontamentos/Cap_7_GE.pdf Acesso em: 31/08/2020

ENSAIO DE PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO). Disponível em: <http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/ensaio-de-permeabilidade-infiltracao/> Acesso em: 31/08/2020