Mecânica dos Solos

Permeabilidade dos Solos

A água no solo

A água ocupa a maior parte ou a totalidade dos vazios do solo, quando submetida a diferença de potenciais, a água se desloca no seu interior.

O estudo da percolação da água nos solos é muito importante devido a três tipos de problemas práticos.

A água no solo

a) No cálculo das vazões, como por exemplo, na estimativa da quantidade de água que se infiltra numa escavação;

b)Na análise de recalques, pois frequentemente o recalque está associado com a diminuição de índice de vazios, que ocorre com a expulsão de água desses vazios.

A água no solo

c) nos estudos de estabilidade, pois a tensão efetiva (que comanda a resistência do solo) depende da pressão neutra, que por sua vez, depende das tensões provocadas pela percolação da água.

Permeabilidade

O grau de permeabilidade de um solo é expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade”.

A determinação do coeficiente de permeabilidade é feita tendo em vista a lei experimental de Darcy de acordo com a qual a velocidade de percolação é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico.

Lei de Darcy

A experiência de Darcy consistiu em percolar água através de uma amostra de solo de comprimento "L" e área "A", a partir de dois reservatórios de nível constante, sendo "h" a diferença de cota entre ambos.

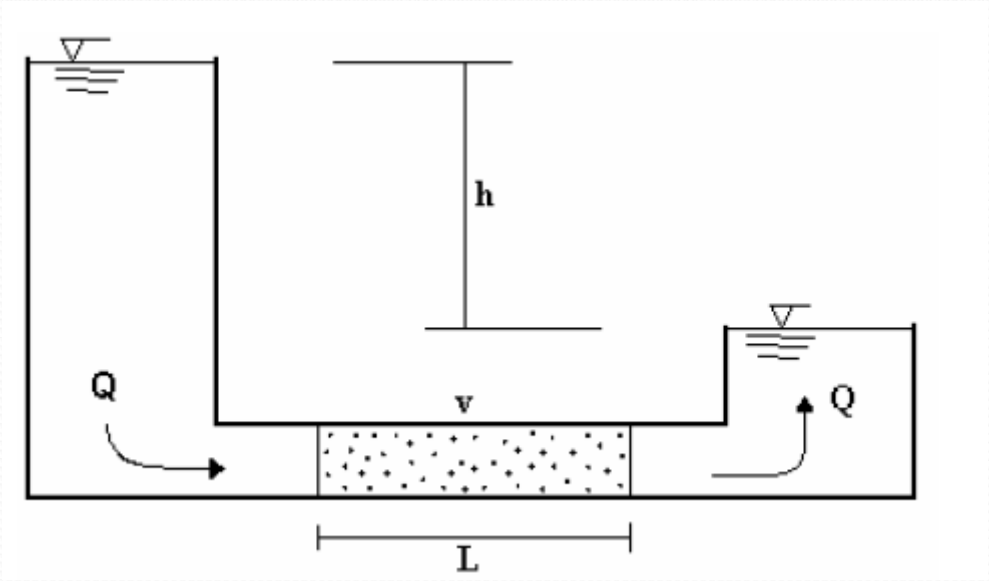

Figura 1 – Intervalos de variação de k para os diferentes tipos de solos.

Lei de Darcy

Os resultados indicaram que a velocidade de percolação $v = Q / A$ é proporcional ao gradiente hidráulico $i = h / L$

$$Q = K \frac{h}{L} A \qquad Q = KiA$$

Q é vazão de percolação (m/s³) , K é o coeficiente de permeabilidade do solo (m/s) , a relação h/L representa a carga que dissipa na percolação por unidade de comprimento é chamada de coeficiente hidráulico (i) e A é a área transversal ao escoamento m² .

A vazão dividida pela área indica a velocidade de percolação. Em função dela, a lei de Darcy fica sendo:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{KiA}{A} = Ki$$

A descarga total “Q” através de uma área durante um intervalo de tempo será:

$$Q = K.i.At$$

Se *A* for expresso em cm^2 , *k* em cm/s e *t* em *s*, o valor de *Q* será obtido em cm^3.

Fatores que influenciam Permeabilidade

Existe variação entre os solos no coeficiente de permeabilidade. O coeficiente depende essencialmente da *temperatura* e do *índice de vazios*.

Quanto maior for a temperatura, menor é a viscosidade da água e, portanto ela consegue tem um melhor escoamento entre os vazios do solo e consequentemente aumenta o coeficiente de permeabilidade(k).

Fatores que influenciam Permeabilidade

K, portanto é inversamente proporcional a viscosidade da água, desta forma os valores de *k* são geralmente referidos à temperatura de 20° C.

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20°}} = k_T . C_v$$

onde:

k_{20} = coeficiente de permeabilidade à temperatura de 20°C

k_T = coeficiente de permeabilidade à temperatura T.

η_{20} = viscosidade da água à temperatura de 20°C

η_T = viscosidade da água à temperatura de T.

C_v = relação entre as viscosidades

Fatores que influenciam Permeabilidade

Os valores de C_v são fornecidos pelo gráfico da figura 2

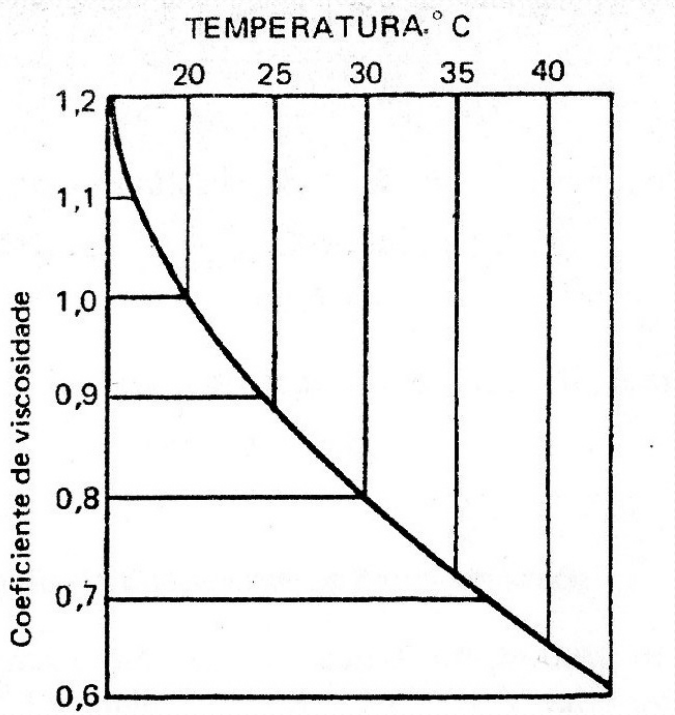

Figura 2 –Viscosidade da água em função da temperatura. Caputo, 2000.

Fatores que influenciam Permeabilidade

Segundo Helmholtz, a viscosidade da água em função da temperatura é dada pela fórmula empírica:

$$\eta = \frac{0{,}0178}{1 + 0{,}033T + 0{,}00022T^2}$$

Permeabilidade em Terrenos Estratificados

Em virtude da estratificação dos solo, os valores de *k* são diferentes nas direções horizontal e vertical.

Permeabilidade em Terrenos Estratificados

Fluxo paralelo à estratificação

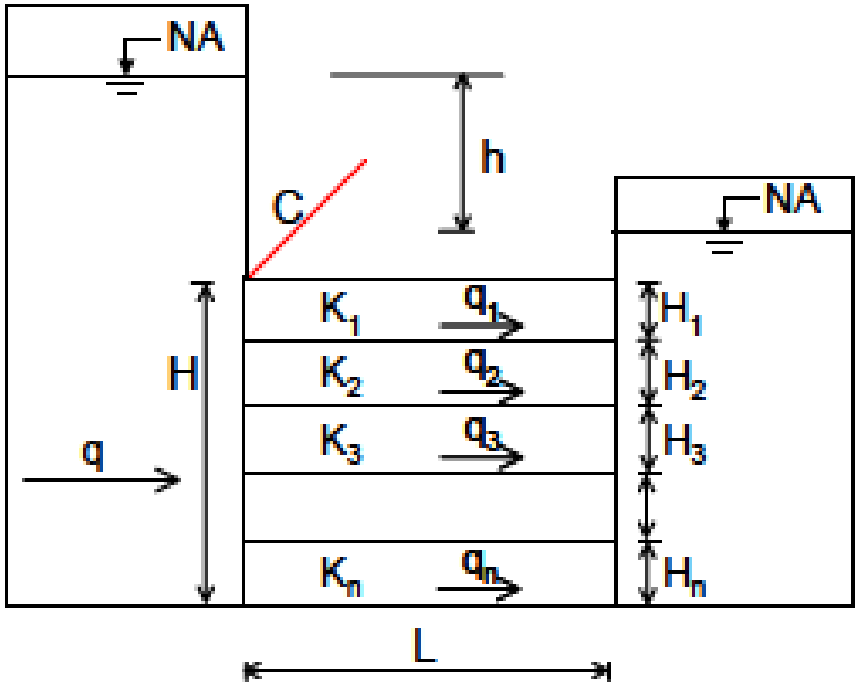

Figura 3 – Fluxo paralelo à extratificação

Permeabilidade em Terrenos Estratificados

Na direção horizontal, todos os estratos estão sujeitos ao mesmo gradiente hidráulico.

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots q_n$$

$$k_{eq}.i.A = k_1.i_1.A_1 + k_2.i_2.A_2 + \ldots k_n.i_n.A_n$$

$$i = i_1 = i_2 = i_3 = \ldots i_n = \frac{h}{L}$$

$$k_{eq,h} = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i.H_i}{\sum_{i=1}^{n} H_i}$$

Permeabilidade em Terrenos Estratificados

Fluxo perpendicular à estratificação

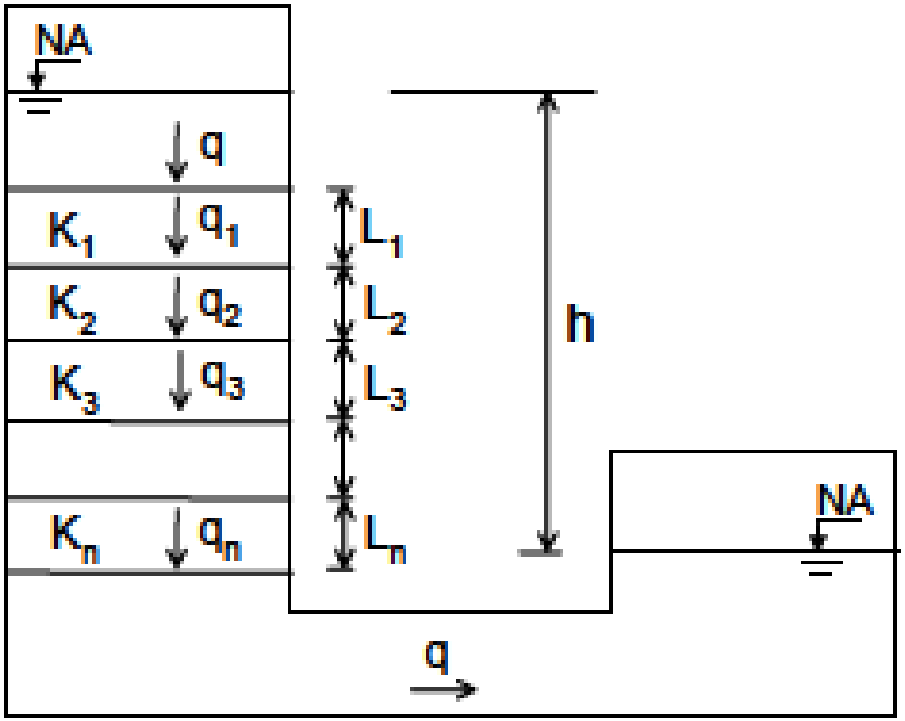

Figura 4 – Fluxo perpendicular à extratificação

Permeabilidade em Terrenos Estratificados

Na direção vertical, sendo o escoamento contínuo, a vazão através de cada estrato é igual. Portanto:

$$q = q_1 = q_2 = q_3 = \ldots = q_n$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots + L_n$$

Sabe-se que:

$$q = k.i.A = k.\frac{h}{L}.A \Rightarrow h = \frac{q.L}{k.A}$$

Permeabilidade em Terrenos Estratificados

Substituindo:

$$\frac{q.L}{k_{eq.A}} = \frac{q_1.L_1}{k_1.A_1} + \frac{q_2.L_2}{k_2.A_2} + \ldots \frac{q_n.L_n}{k_n.A_n}$$

$$\frac{L}{k_{eq}} = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \ldots \frac{L_n}{k_n}$$

$$\frac{L}{k_{eq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{k_i}$$

$$k_{eq,v} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{k_i}}$$

Intervalos de variação do Coeficiente de Permeabilidade

O Valor de *k* é comumente expresso como um produto de um número por uma potência negativa de 10.

Exemplo: $k=1,3x10^{-8}$ cm/s, valor este, aliás característico de solos considerados como impermeáveis para todos os problemas práticos. Na figura 4 apresentamos, segundo A. Casagrande e R. E. Fadum, os intervalos de variação de k para os diferentes tipos de solos.

Intervalos de variação do Coeficiente de Permeabilidade

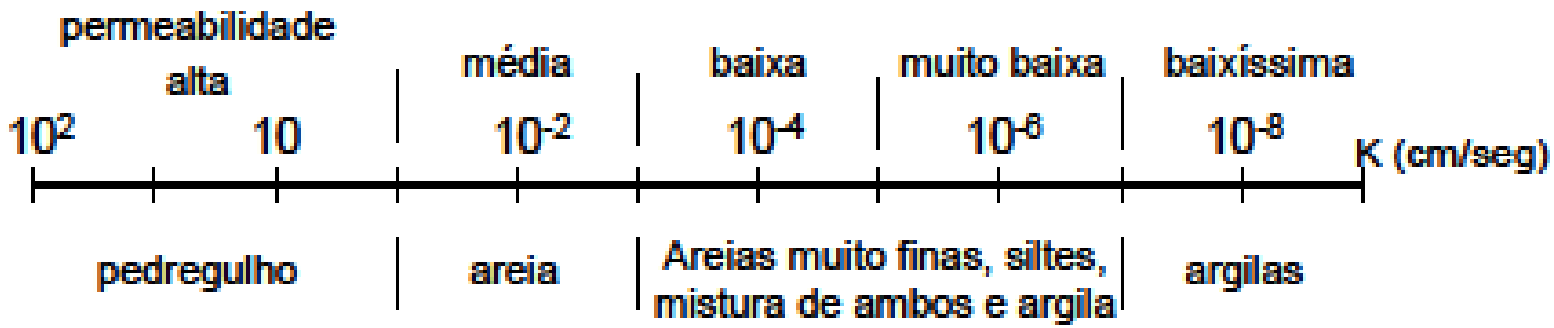

Figura 5 – Intervalos de variação de k para os diferentes tipos de solos.

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos, são empregados os seguintes procedimentos:

a) *Permeâmetro de carga constante*

O permeâmetro de nível constante é empregado, geralmente, para solos granulares (arenosos) e o coeficiente *k* é determinado medindo-se a quantidade de água, mantida a nível constante, que atravessa em um determinado tempo uma amostra de solo de seção *A* e altura *L* conhecidas.

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

A quantidade de água que atravessa a amostra é Q.

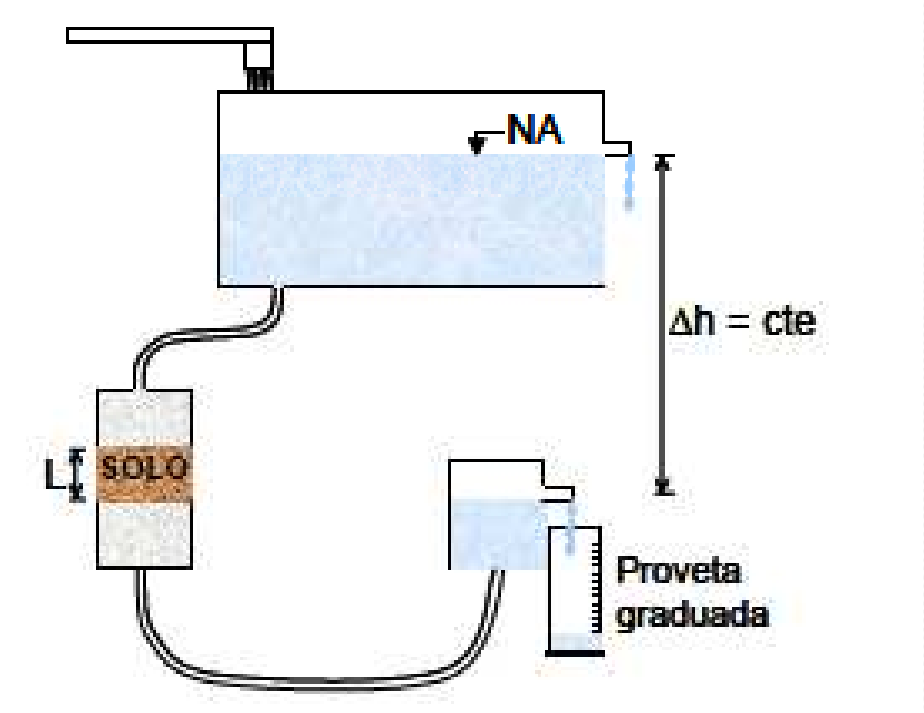

Figura 6 – Permeâmetro de nível constante. Caputo, 2000

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Através da fórmula :

$$Q = k \frac{h}{L} At$$

onde h é o desnível entre a superfície de entrada da água e a superfície de saída, tem-se imediatamente:

$$k = \frac{QL}{Aht}$$

L = espessura da camada de solo, medida na direção do escoamento.

A = área total da seção transversal

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

b)*Permeâmetro de nível variável* – Este permeâmetro é indicado para solos finos: Argilosos.

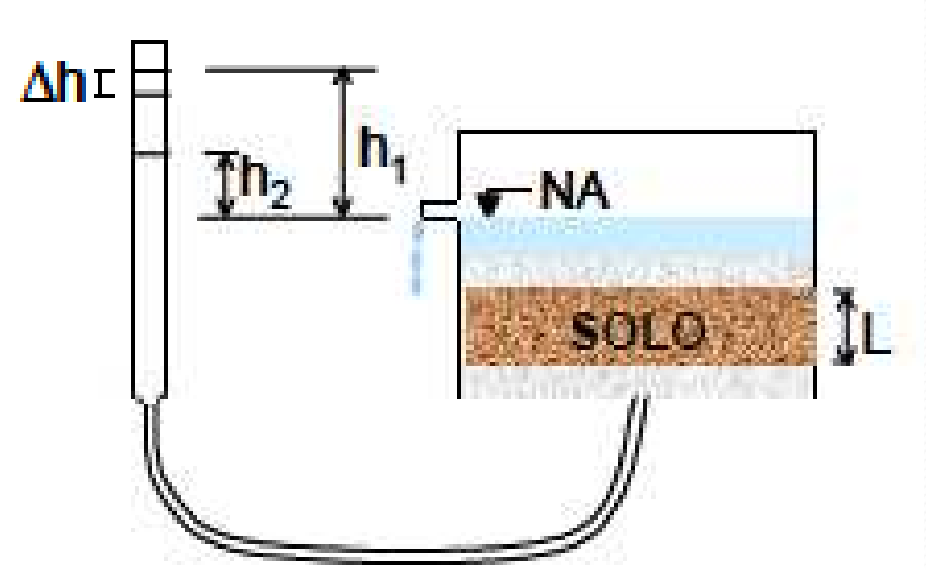

Figura 7 – Permeâmetro de nível variável. Caputo, 2000

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

A descarga Q é medida na bureta graduada de seção *a*. Durante um pequeno intervalo de tempo *dt* o nível decresce de um certo valor *dh*. A descarga através da bureta vale, portanto:

$$dQ = -adh$$

com o sinal – porque *h* decresce quando *t* cresce.

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Por outro lado, através da amostra de solo tem-se:

$$dQ = k\frac{h}{L}Adt$$

igualando essas duas expressões:

$$-\frac{dh}{h} = k\frac{A}{La}dt$$

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

A descarga total no período de tempo

$$t = t_2 - t_1$$

durante o qual o nível decresceu de h_1 para h_2 , é obtida integrando-se a equação acima entre limites convenientes. Assim temos:

$$\int_{h_1}^{h_2} -\frac{dh}{h} = k\frac{A}{La}\int_{t_1}^{t_2} dt$$

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

$$k = \frac{La}{A(t_2 - t_1)} \log_e \frac{h_1}{h_2}$$

ou, finalmente:

$$k = 2{,}3 \frac{La}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

transformando o $\log_e$ em $\log_{10}$

Referências Bibliográficas

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000. 234 p.

PINTO, Carlos de Souza. Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247