



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
PEF-5805 PERCOLAÇÃO E ADENSAMENTO 2018

LISTA DE EXERCÍCIOS: BOMBEAMENTO E REBAIXAMENTO DO NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEO

1) Ensaio de bombeamento

Um poço foi utilizado no ensaio de bombeamento para determinar o coeficiente de permeabilidade de uma camada permeável assente sobre uma base horizontal impermeável. Quando a condição de equilíbrio é atingida, a vazão bombeada resulta em alturas piezométricas  $z_1$  e  $z_2$  (acima da base impermeável) para as distâncias  $r_1$  e  $r_2$ , respectivamente. Assumindo-se que o solo é homogêneo e isotrópico, pede-se:

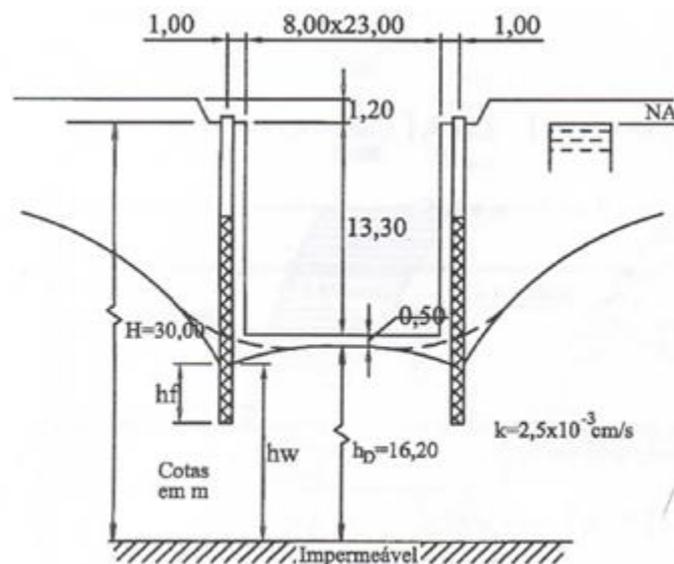
- a) Deduzir a expressão para o coeficiente de permeabilidade do solo em função de  $Q$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $z_1$  e  $z_2$ .

$$k = \frac{Q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)}$$

- b) Calcular o coeficiente de permeabilidade do solo em m/s para os seguintes valores:  $Q = 110$  L/min,  $r_1 = 7,7$  m,  $r_2 = 30,4$  m,  $z_1 = 13,7$  m e  $z_2 = 14,7$  m.  
c) Calcule o raio de influência  $R$  considerando que o NA original estava a 16,8 m da base impermeável.

2) Rebaixamento do lençol freático

Para execução de uma estação de recalque será executado um *shaft* com seção retangular em planta, de 8,00 m x 23,00 m e profundidade de 14,50 m. O nível de água está a 1,20 m de profundidade. Para permitir a execução dos serviços a seco necessita-se promover o rebaixamento do nível de água. O rebaixamento será realizado por poços profundos de 40 cm de diâmetro, onde serão instalados tubos de 20 cm de diâmetro, para permitir o uso tanto de bombas submersas quanto de injetores, opção que será feita por ocasião da execução da escavação em função da disponibilidade da firma que executará o rebaixamento. Pede-se determinar o número de poços e a respectiva vazão, sabendo-se que o aquífero é gravitacional e que o solo apresenta um coeficiente de permeabilidade médio de  $2,5 \times 10^{-3}$  cm/s.





### 3) Fluxo de água em trincheiras drenantes

A seguir estão apresentadas algumas soluções analíticas para o cálculo de vazões e rebaixamento de um aquífero em regime de equilíbrio, isto é, quando o cone de rebaixamento atinge o seu maior raio (situação em que a recarga do aquífero é igual à taxa de bombeamento). Adotam-se as hipóteses de fluxo em regime permanente, meio homogêneo e isotrópico, trincheira e aquífero de comprimentos infinitos.

As seguintes condições devem ser consideradas: aquífero livre, artesiano ou misto; valas totalmente ou parcialmente penetrantes; número de fontes lineares (rios, barragens, lagos que alimentam o aquífero, paralelos às trincheiras, com carga hidráulica constante).

#### Vala totalmente penetrante com única fonte linear

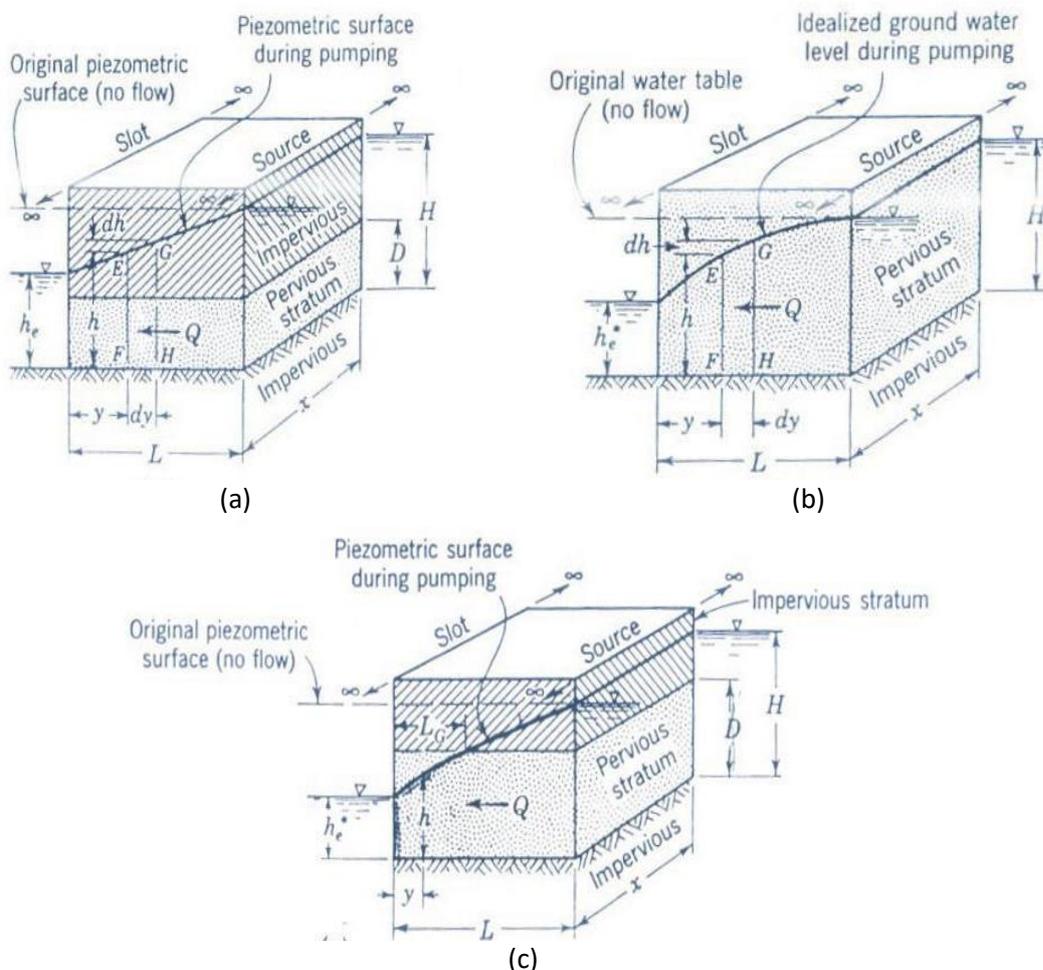


Figura 1. Fluxo em valas totalmente penetrantes a partir de uma única fonte linear: (a) Aquífero artesiano; (b) Aquífero gravitacional; (c) Aquífero misto (Leonards, 1962)

Tabela 1. Vazão e rebaixamento de poços totalmente penetrantes a partir de uma única fonte linear



Aquífero	Vazão	Rebaixamento	
Artesiano	$Q = \frac{kDx}{L}(H - h_e)$	$H - h = \frac{Q}{kDx}(L - y) = \frac{L - y}{L}(H - h_e)$	
Gravitacional	$Q = \frac{kx}{2L}(H^2 - h_e^2)$	Sem correção da linha freática	$H^2 - h^2 = \frac{2Q}{kx}(L - y) = \frac{L - y}{L}(H^2 - h_e^2)$
		Com correção da linha freática	$H^2 - h^2 = \frac{L - y}{L}[H^2 - (h_0 + h_s)^2]$
Misto	$Q = \frac{kx}{2L}(2DH - D^2 - h_e^2)$		

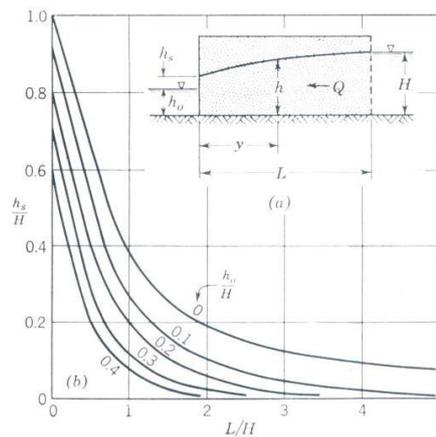


Figura 2. Fator de correção da linha freática em vala penetrante em aquífero gravitacional (Leonards, 1962)

*Vala parcialmente penetrante com única fonte linear*

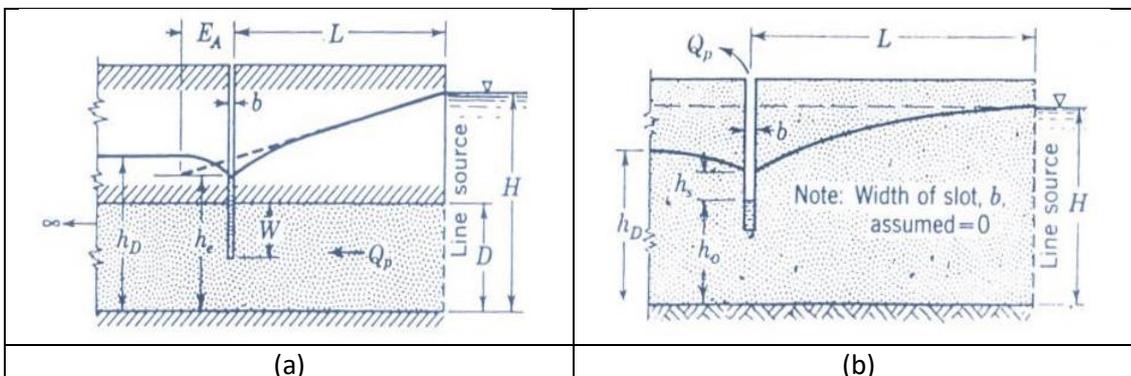


Figura 3. Fluxo em valas parcialmente penetrantes a partir de uma única fonte linear: (a) Aquífero artesiano; (b) Aquífero gravitacional (Leonards, 1962)

Tabela 2. Vazão e rebaixamento de poços parcialmente penetrantes a partir de uma única fonte linear



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**PEF-5805 PERCOLAÇÃO E ADENSAMENTO 2018**

Aquífero	Vazão
Artesiano	$Q = \frac{kDx}{L + E_A}(H - h_e)$
Gravitacional	$Q = \frac{kx}{2L}(H^2 - h_0^2) \left( 0,73 + 0,27 \frac{H - h_0}{H} \right)$
Misto	$Q = \frac{kx}{2L}(2DH - D^2 - h_e^2)$

Tabela 3. Valores de  $E_A/D$  para fluxo artesiano em vala parcialmente penetrante

W/D	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
E <sub>A</sub> /D	1,00	0,50	0,30	0,20	0,18	0,10	0,07	0,04	0,02	0,05

Considere uma vala drenante totalmente penetrante em um aquífero artesiano de espessura  $D$  e permeabilidade  $k$ , confinado no topo por camada impermeável e alimentado por uma fonte linear com carga hidráulica constante  $H$ . Na situação de equilíbrio, é bombeada a vazão  $Q$  por metro de comprimento da vala ( $x = 1$  m), sendo  $L$  a distância horizontal da vala à fonte linear e  $h_e$  a lâmina de água dentro da vala.

- a) Calcule a vazão bombeada na vala  $Q$  por metro de comprimento ( $x = 1$  m) para  $H = 10$  m,  $D = 7$  m,  $L = 200$  m,  $k = 1,0 \times 10^{-5}$  m/s e  $h_e = 8$  m.
- b) Repita o cálculo para  $h_e = 7$  m e  $h_e = 9$  m.
- c) Para  $h_e = 8$  m, verifique a influência da distância  $L$ : calcule  $Q$  para  $L = 50$  m,  $L = 100$  m,  $L = 300$  m,  $L = 400$  m e  $L = 500$  m.
- d) O que mudaria nos itens anteriores se a espessura do aquífero  $D$  fosse igual a 3 m?
- e) Se a vala for parcialmente penetrante, o que mudaria nos itens anteriores? Considere o caso de penetração de 25%, 50% e 70% da espessura do aquífero.



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**PEF-5805 PERCOLAÇÃO E ADENSAMENTO 2018**

4) Resposta de aquíferos ideais ao bombeamento

Um poço totalmente penetrante bombeia água de um aquífero homogêneo, isotrópico, confinado, horizontal e infinito a uma velocidade constante de 25 L/s. Se  $T$  é  $1,2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $S = 2,0 \times 10^{-4}$ , calcule:

- O rebaixamento que ocorrerá em um poço de observação a 60 m do poço de bombeamento nos tempos 1, 5, 10, 50 e 210 minutos após o começo do bombeamento. Coloque estes valores em um gráfico dilog ( $h_0 - h$ ) x t.
- O rebaixamento que ocorrerá em um conjunto de poços de observação às distâncias de 1 m, 3 m, 15 m, 60 m e 300 m do poço de bombeamento no tempo 210 minutos após o começo do bombeamento. Coloque estes valores em um gráfico monolog ( $h_0 - h$ ) x r.

Utilize a solução de Theis (1935): 
$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Sendo: 
$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

**Table 8.1 Values of  $W(u)$  for Various Values of  $u$**

$u$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
$\times 1$	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.000038	0.000012
$\times 10^{-1}$	1.82	1.22	0.91	0.70	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
$\times 10^{-2}$	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.30	2.15	2.03	1.92
$\times 10^{-3}$	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
$\times 10^{-4}$	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
$\times 10^{-5}$	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
$\times 10^{-6}$	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
$\times 10^{-7}$	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
$\times 10^{-8}$	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.90	15.76	15.65
$\times 10^{-9}$	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.20	18.07	17.95
$\times 10^{-10}$	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.50	20.37	20.25
$\times 10^{-11}$	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
$\times 10^{-12}$	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
$\times 10^{-13}$	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
$\times 10^{-14}$	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
$\times 10^{-15}$	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

SOURCE: Wenzel, 1942.

