

Capítulo 96

Aquíferos isotrópico e não isotrópico

Capítulo 96- Aquíferos isotrópico e não isotrópico

96.1 Introdução

Um dos usos mais freqüentes em barragem impermeável é a aplicação da Lei de Darcy para verificar a infiltração no solo da base.

96.2 Linha de corrente e linha equipotencial

São definidas duas linhas: linha de corrente (*Streamlines* Ψ) e a linha equipotencial (*Equipotencial* Φ) conforme a notação de Bedient et al, 2008 e Figura (96.1).

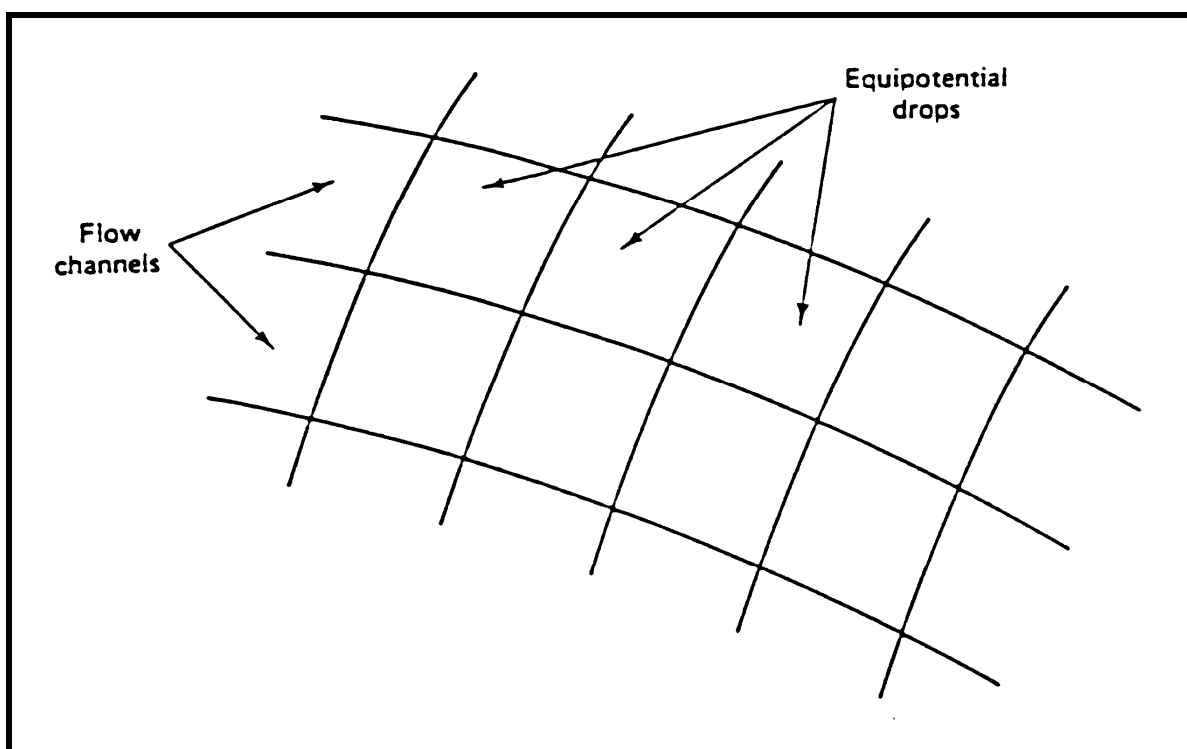


Figura 96.1- Linha de corrente e linha equipotencial
Fonte: Bedient, 2008

Bedient, 2008 estabelece que:

- **As linhas de correntes e linhas equipotenciais são perpendiculares uma com as outras;**
- **As linhas de correntes Ψ são paralelas as condições de contorno sem escoamento**
- **As malhas formam quadrados curvilíneos onde as diagonais se cruzam formando ângulos retos.**

7

- Cada tubo de corrente (*net flow*) carrega a mesma vazão.
As hipóteses que consideramos são?
 - O aquífero é homogêneo e isotrópico
 - O aquífero é saturado
 - O escoamento é permanente
 - São conhecidas as condições de contorno

96.3 Modelo de rede em solo isotrópico

O solo é considerado isotrópico quando a condutividade hidráulica horizontal é igual à vertical e caso contrário é chamado de não isotrópico ou anisotrópico.

Consideremos a Figura (96.2) em um solo isotrópico, notamos que temos m canais e no caso $m=5$ com mesmo escoamento.

A vazão por metro de barragem em cada canal será:

$$q = (m/n) \cdot K \cdot H$$

Sendo:

q = vazão em m^3/s por metro de barragem

K = condutividade hidráulica (m/s)

H = altura da perda de carga (m)

m = número de canais onde há escoamento

n = número de equipotenciais

$$Q = q \times L$$

Sendo:

Q = vazão em m^3/s na largura da barragem L

L = largura da barragem (m)

q = vazão em m^3/s por metro de barragem

Na Figura (96.2) o valor de $m=5$ e $n=17$.

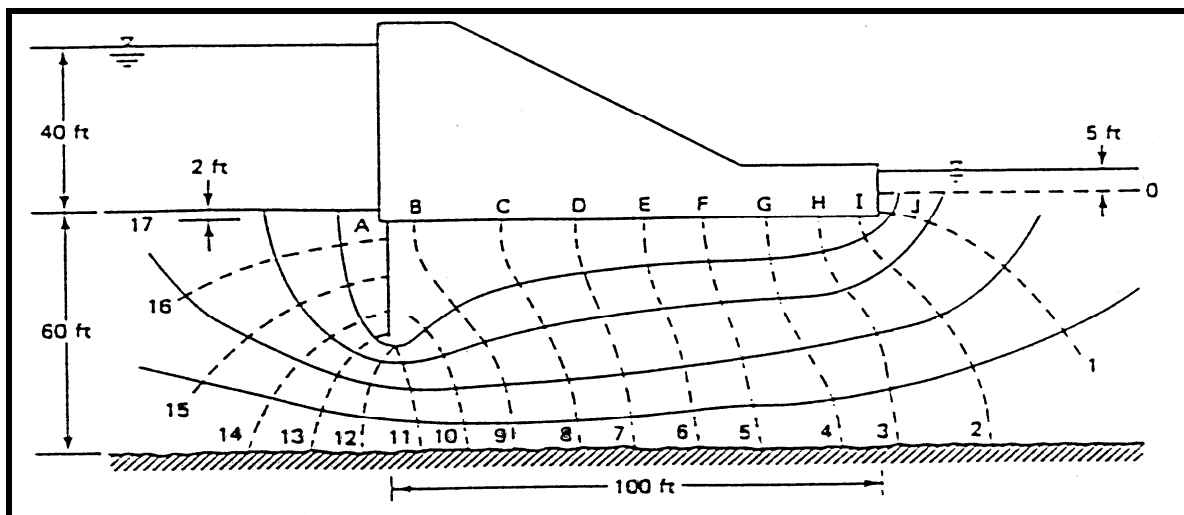


Figura 96.2- Linhas de corrente e linhas equipotenciais
 Fonte> Bedient, 2008

Exemplo 96.1

Supor um barramento com condutividade do solo vertical e horizontal iguais $K= 0,000061$ m/s e comprimento de crista de 72m, sendo a altura da mesma de 12m e *tailwater* de 1,5m.

$$H= 12 - 1,5= 10,5m$$

$$m=5$$

$$n=17$$

$$q= (m/n) K \cdot H$$

$$q= (5/17) 0,000061 \times 10,5= 0,000188m^3/s/m$$

$$Q= q \times L$$

$$Q= 0,000188 \times 73=0,00138m^3/s= 119m^3/dia$$

96.4 Desenho da rede

A rede é feita em desenho pelo método das tentativas. Bedient, 2008 informa que 5 a 10 linhas de escoamento são usadas na prática.

Dependendo do número de linhas de correntes as linhas equipotenciais são fixadas pela geometria do *layout*.

Os desenhos de redes podem ser observados nas Figuras (96.3) parte (a) e parte (b).

Na parte(a) da Figura (96.3) observamos que temos 4 linhas de correntes e portanto $m=4$ e 8 linhas equipotenciais e portanto $n=8$.

Na parte (b) da Figura (6.3) podemos ver que temos 5 linhas de correntes e portanto, $m=5$ e temos 17 linhas equipotenciais e portanto $n=17$.

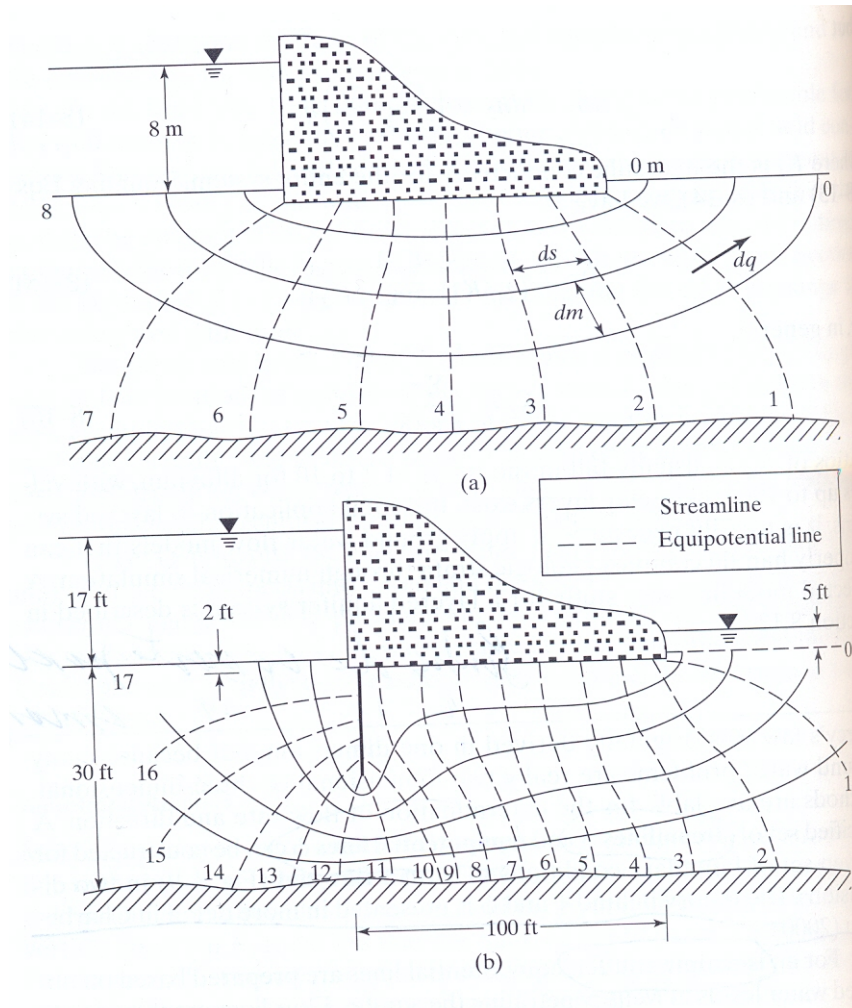


Figura 96.3- Figuras típicas de um barramento
 Fonte: Bedient, 2008

96.5 Modelo de rede em solo não isotrópico (anisotrópico)

Muitas vezes temos uma condutividade horizontal K_h e uma condutividade vertical K_v sendo o aquífero não isotrópico conforme Figura (96.4).

O truque para resolver o problema é transformar o solo em isotrópico achando uma condutividade hidráulica equivalente K_e .

Geralmente a condutividade hidráulica vertical é menor que a horizontal.

$$K_e = (K_h \times K_v)^{0,5}$$

Continuando com o truque, as medidas verticais não são mudadas, mas as horizontais serão divididas por um número "α" definido como:

$$\alpha = (K_h/K_v)^{0,5}$$

Portanto, teremos $X' = x / \alpha$

Desta maneira o solo se transformará em isotrópico e o problema será resolvido como já explicado.

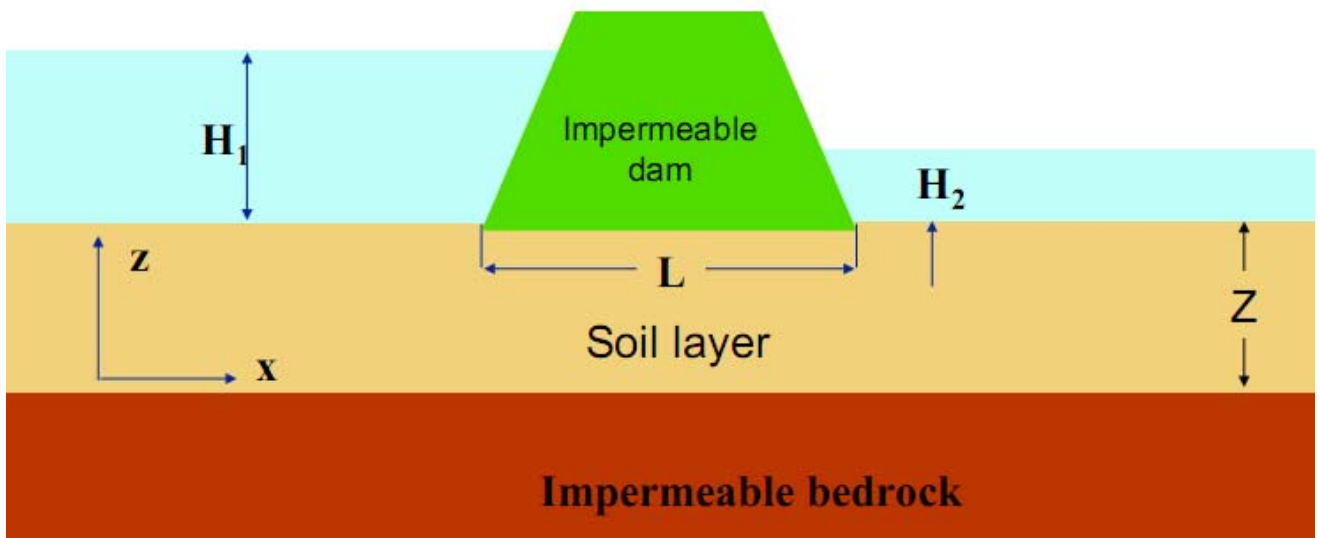


Figura 96.4- Esquema de barragem

Exemplo 96.2

Dada uma barragem com largura L e $Kh = 4kv$. Supomos $H_1 = 13\text{m}$ e $H_2 = 2,5\text{m}$

$$\alpha = (Kh/Kv)^{0,5}$$

$$\alpha = (4kv/Kv)^{0,5}$$

$$\alpha = 2$$

Portanto, ao invés de “ L ” teremos “ L/α ” que é “ $L/2$ ” conforme Figura (96.5).

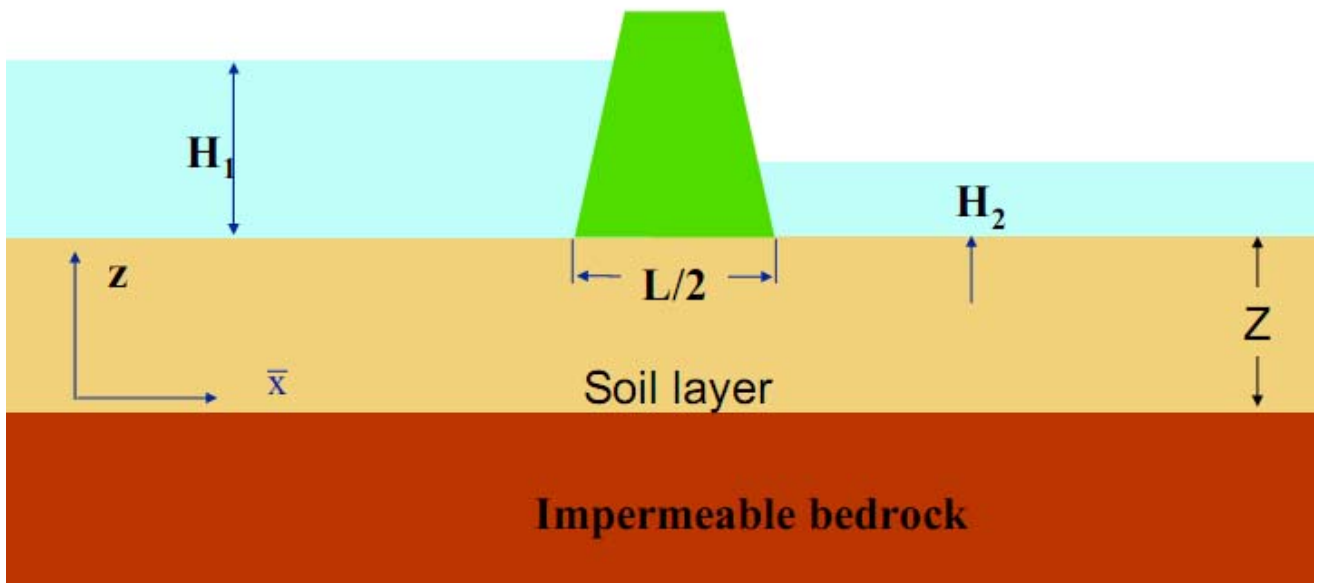


Figura 96.5- Esquema de redução de anisotrópico para isotrópico

Exemplo 96.4

Dada uma barragem com largura $L=50\text{m}$ e $K_v=0,0000001\text{m/s}$ e $K_h=0,000004\text{m/s}$. Supomos $H_1=13\text{m}$ e $H_2=2,5\text{m}$. Calcular a vazão em m^3/dia de água que se infiltra em baixo da barragem.

A condutividade equivalente $K_e = (K_h \times K_v)^{0,5}$

$$K_e = (0,000001 \times 0,000004)^{0,5}$$

$$K_e = 0,000002 \text{ m/s}$$

$$\alpha = (K_h/K_v)^{0,5}$$

$$\alpha = (0,00004/0,00001)^{0,5}$$

$$\alpha = 2$$

Fazendo o desenho das linhas de correntes achamos $m=6$ e $n=14$

$$q = (m/n) K \cdot H$$

$$\text{Queda total} = H = 13\text{m} - 2,5\text{m} = 10,5\text{m}$$

$$m = 6$$

$$n = 14$$

$$q = (6/14) 0,000002 \times 10,5 = 0,0000098 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

$$Q = q \times L$$

$$L = 50\text{m}$$

$$Q = 0,000009 \times 50 = 0,00045 \text{ m}^3/\text{s} = 38,88 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Portanto, ao invés de L teremos L/α que é $L/2$

96.6 Pressão sob o barramento (uplift)

Conforme Gupta, 2008 a pressão do lençol freático (uplift) é estimada pela equação:

$$u = [(n/n_d) h + Z] g$$

Sendo:

u = pressão de baixo para cima (KN/m^2)

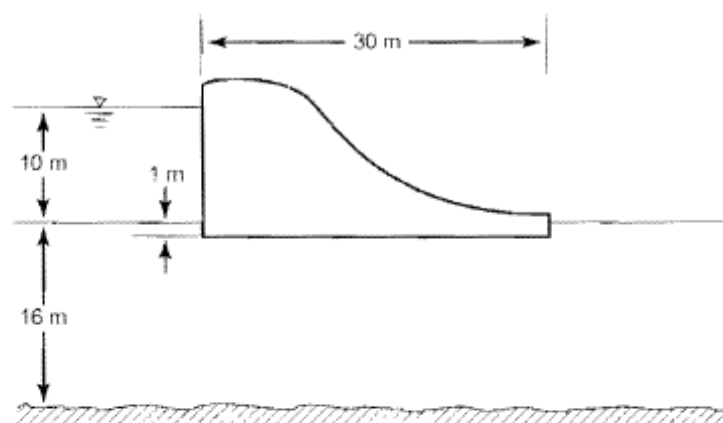
n = número serial de das linhas equipotenciais contando a última linha a jusante como zero. Assim temos $n=0$ $n=1$ etc. No caso da Figura (96.6) temos n variando de 0 a 8.

n_d = número de quedas potenciais. Na Figura (96.6) $n_d = 8$.

h = perda de carga total no sistema de escoamento (m)

Z = profundidade da base abaixo do nível de referência. Caso a base esteja acima do nível de referência, Z é negativo.

g = aceleração da gravidade = 9.81m/s^2



(a)

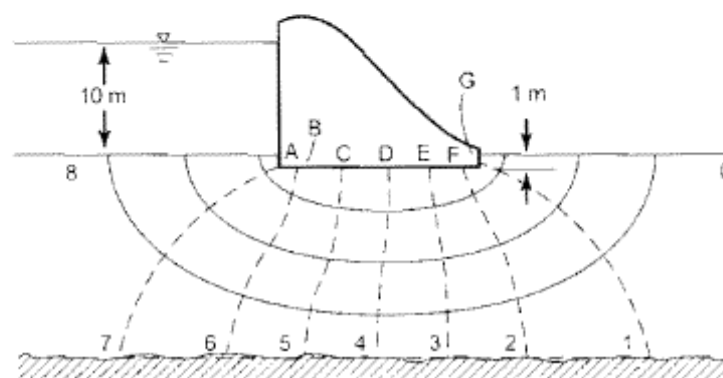


Figura 96.6- Perfil de uma barragem com as linhas correntes e equipotenciais

Exemplo 96.5- adaptado de Gupta, 2008

Uma barragem de concreto esta sobre uma fundação permeável com $K_x = 30\text{m/dia}$ e $K_z = 6\text{m/dia}$. Achar a taxa de escoamento abaixo da barragem e a pressão freática de baixo para cima sobre a barragem (*uplift*)

Como a barragem é anisotrópica, isto é, tem coeficientes de condutividade hidráulica horizontal e vertical diferentes então fazemos:

$$(K_z/K_x)^{0,5} = (6/30)^{0,5} = 0,45$$

Como o comprimento da barragem é 30m tudo se passa como se o comprimento da barragem fosse $30\text{m} \times 0,45 = 13,5\text{m}$

A vazão de escoamento q é:

$$q = (nf/nd) \cdot (K_x \cdot K_z)^{0,5} \cdot h$$
$$q = (4/8) \cdot (30 \cdot 6)^{0,5} \cdot 10 = 67 \text{ m}^3/\text{dia por metro de largura}$$

A pressão freática (*uplift*):

$$u = [(n/n_d) h + Z] g$$

$$u = [(n/8) 10 + 1] 9,81 = (1,25 n + 1) 9,81 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Notar que a pressão “ u ” varia conforme o valor de n .

Então no ponto D da Figura (6.6) o valor da $n=4$

$$u = (1,25 n + 1) 9,81$$
$$u = (1,25 \times 4 + 1) 9,81 = 58,8 \text{ kN/m}^2$$

Portanto, a pressão freática é 58.800 N/m^2 que é aproximadamente 0,6m de coluna de água.

Nota: $1\text{m} = 9810 \text{ Pa} = 9810 \text{ N/m}^2$

Como o ponto D está na metade e como a base nova do barramento é de 13,5m então o ponto D está distante $13,5/2 = 6,75\text{m}$ do pé do barramento.

Mas como a distancia real é 30m e multiplicamos por 0,45, então temos que dividir por 0,45.

Então $6,75/0,45 = 15\text{m}$ que é o local do ponto D.

7

96.7 Bibliografia e livros consultados

-BEDIENT, B. PHILIP et al. *Hydrology anf floodplain analysis*. 4a ed, 2008, 793 páginas

-GUPTA, RAM S. *Hydrology and hydraulic systems*, 3a ed. Waveland,2008, 896 páginas.

