Critério de Avaliação - PEF3310/2020

P1 - 15/10 a princípio - 50% matéria

P2 - a marcar - 50% matéria

Psub - " " - 100% da matéria

Exercícios / Projeto

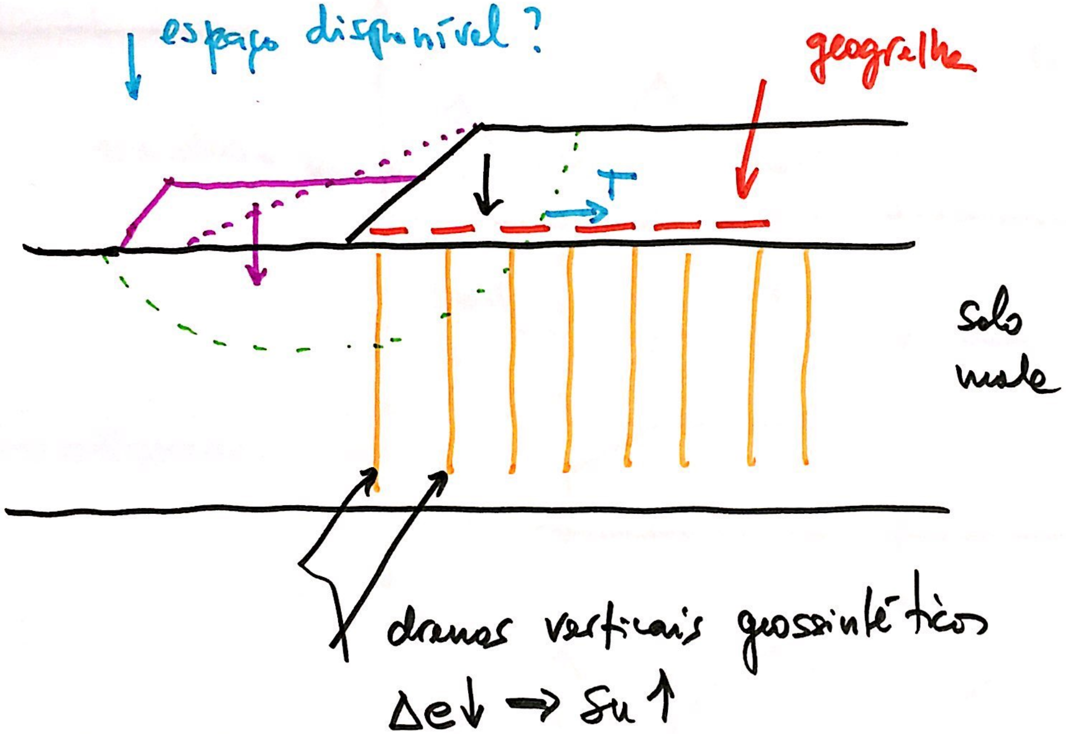
↓

grupo de até 5 alunos

$$\frac{P_1 + P_2 + P_{projeto}}{3} \geq 5,0$$

AULA 17/09/2020

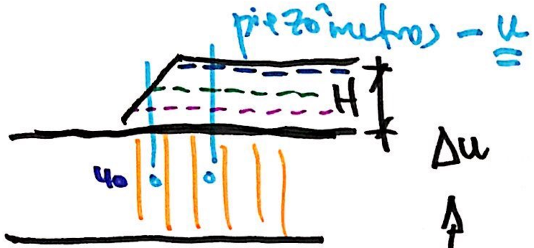
Conclusão - Aterros sobre solos moles

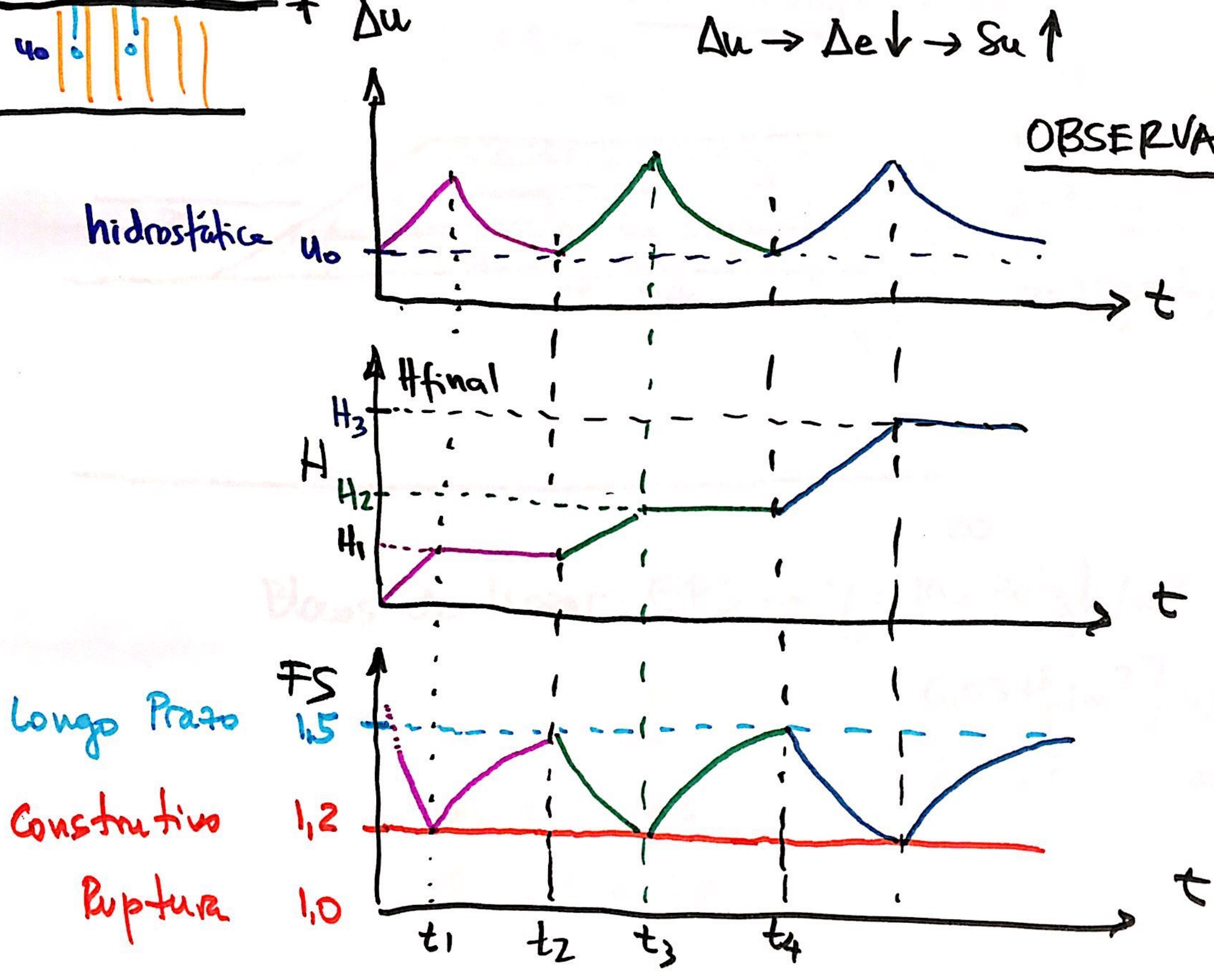


Aterro em ETAPAS

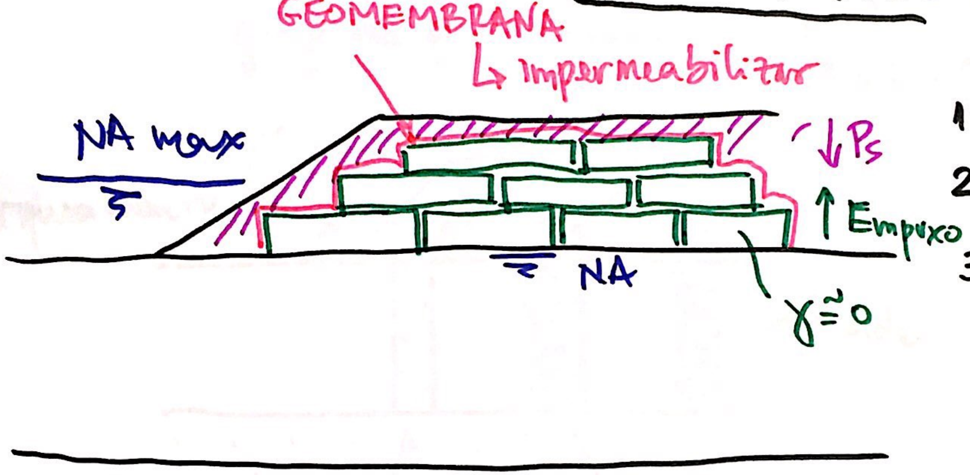
$\Delta u \rightarrow \Delta e \downarrow \rightarrow S_u \uparrow$

OBSERVACIONAL





GEOEXPANDIDO



Problemas
1 - CUSTO
2 - FLUTUAÇÃO
3 - Degradação

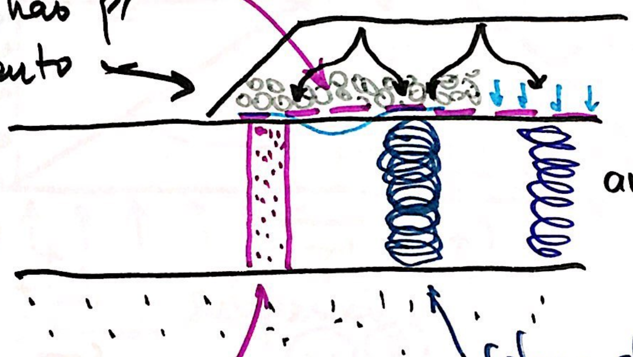
20

Blocos de Isopor: EPS → $\gamma = 10$ a $30\ kgf/m^3$

↳ cuidado com combustíveis! derrete o EPS

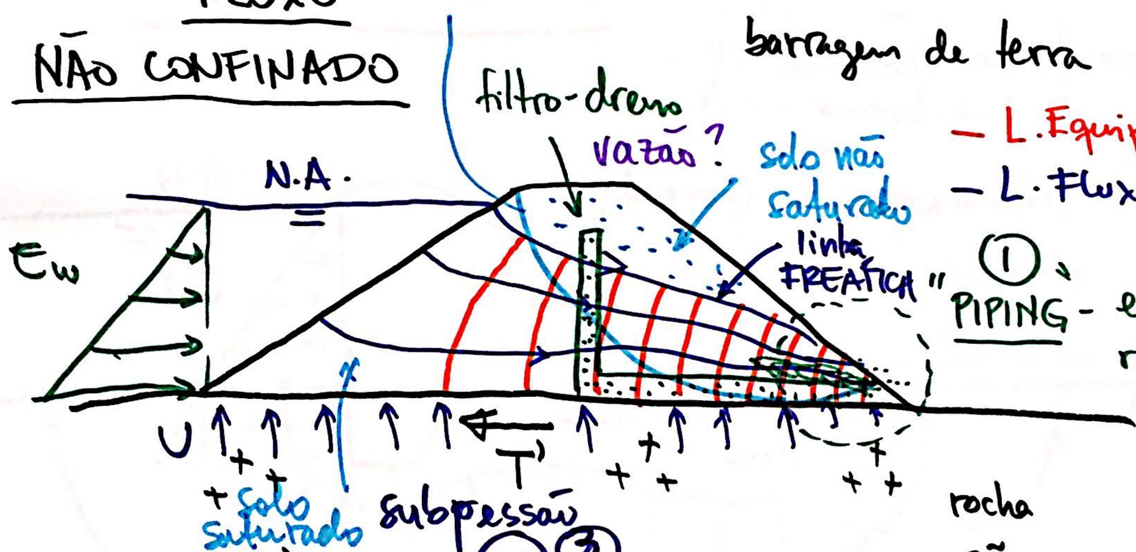
$$\left.\begin{array}{l} 0{,}03\ tf/m^3 \\ 2\ tf/m^3 \end{array}\right\} \text{100 x mais leve}$$

REFORÇO – colunas de brita
injeção cimento – JG
estacas – pré-moldada
⋮



FS estabilidade interna - círculo CRÍTICO (5)

FLUXO NÃO CONFINADO



— L. Equipotenciais

— L. Fluxo

(1) PIPING - erosão retrogressiva tubular

rocha sã $K \downarrow\downarrow\downarrow$

(2) Deslizamento $FS = \frac{T'}{E_w}$

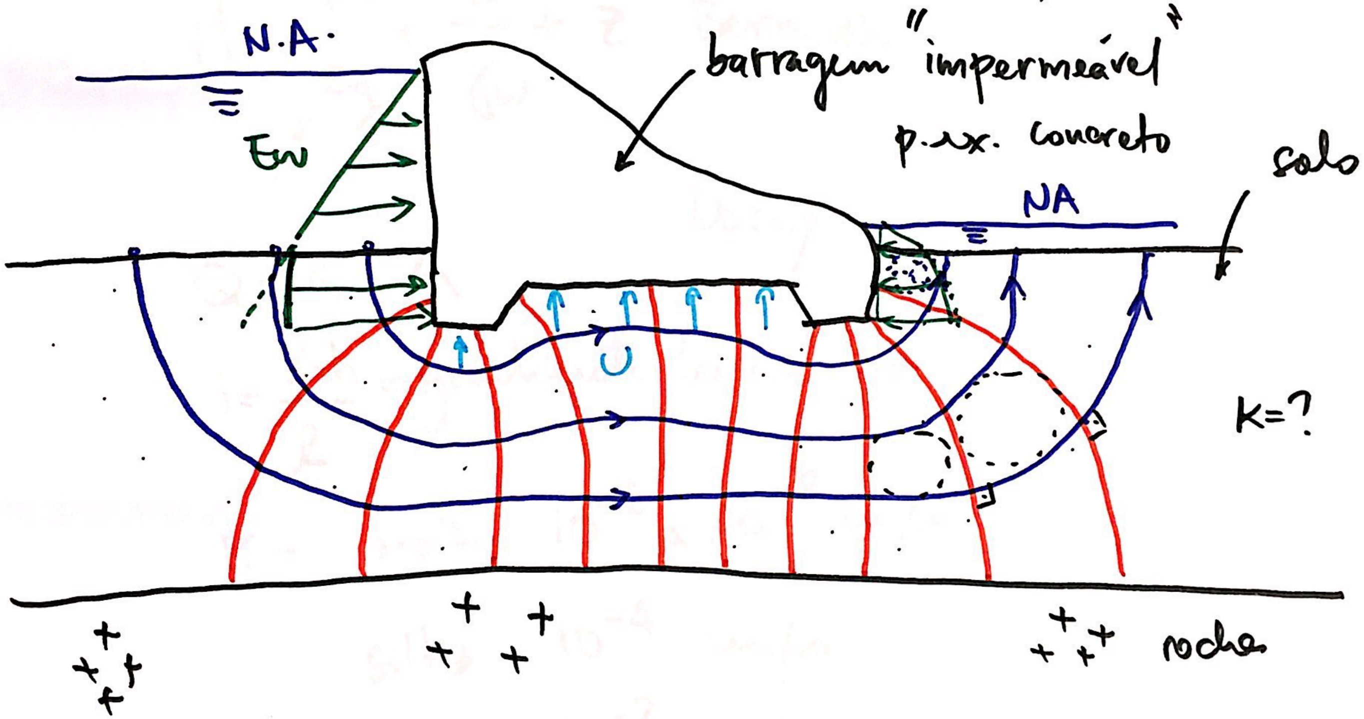
$$\tau' = c' + \sigma' \, tg\phi'$$

$$(\sigma - u)$$

(4) Vazão ?

FLUXO CONFINADO

- Estabilidade
- Piping
- Subpressão
- Fluxo/vazão pela fundação
- Areia movediça



Cargas hidráulicas

$$H = \cancel{\frac{v^2}{2g}} + \frac{u}{\gamma_w} + z \quad \text{Bernoulli}$$

0

Darcy

$$Q = K\,i\,A$$

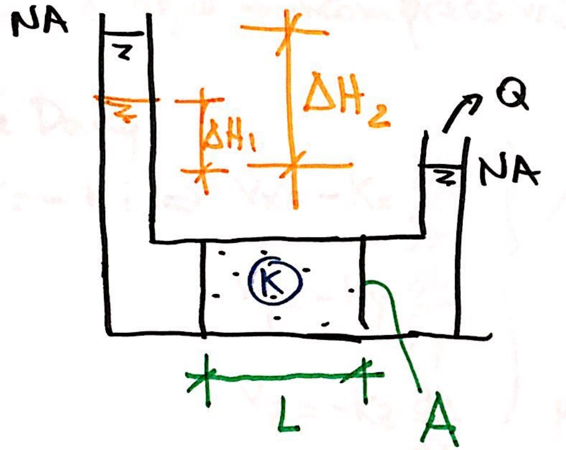
$$i = \frac{\Delta h}{\ell} = \text{gradiente hidráulico}$$

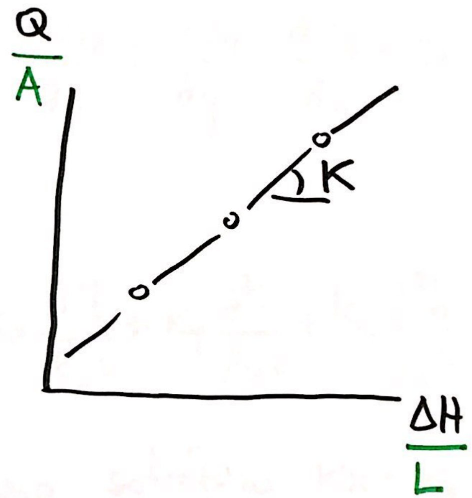
K - argilas 10^{-6} a 10^{-8} cm/s

silte 10^{-4} cm/s

areias 10^{-2} cm/s

Lei de Darcy





$$\frac{Q}{A} = K \underbrace{\frac{\Delta H}{L}}$$

$\frac{Q}{A}$ ↓ velocidade

i = gradiente hidráulico

$$V = K\, i$$

Eq. Laplace

$\square\, dx$
dy

eq. continuidade

- solo saturado
- solo e água → incompressíveis

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Lei de Darcy:

$$V = -Ki \Rightarrow v_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$v_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$+k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

p/ meio isotrópico $K_x = K_y = K_z$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

$\nabla^2 h = 0 \Rightarrow$ solução !

SOLUÇÕES

- analíticas
- numéricas
- gráficas

solução ϕ = potencial
χ = fluxo

SOLUÇÕES GRÁFICAS

- Definir as condições de contorno
- Traçar aproximadamente as linhas de fluxo
- " " " " equipotenciais
- L.F. ⊥ L.E. ⇒ formando quadrados
- Em geral 3 a 5 canais de fluxo

Fluxo em regime permanente: condições de contorno, vazão, anisotropia, heterogeneidades.

Exercício 1 (revisão)

Para a situação 2D da Figura 1:

a) Identifique e escreva as expressões das condições de contorno (**todo** o contorno). Relembrando:
   - condições de contorno **essenciais**: carga conhecida ($h = h^*$) no ponto da fronteira
   - condições de contorno **naturais**: vazão (proporcional à derivada de carga, pela lei de Darcy) conhecida no ponto da fronteira ($\partial h/\partial n = q^*$)

b) Calcule a vazão, em função da condutividade hidráulica k, admitida isotrópica, e da perda de carga total, h

$Q = k\Delta H \dfrac{N_f}{N_q} = k.h.\dfrac{4}{12} = \dfrac{1}{3}k.h$

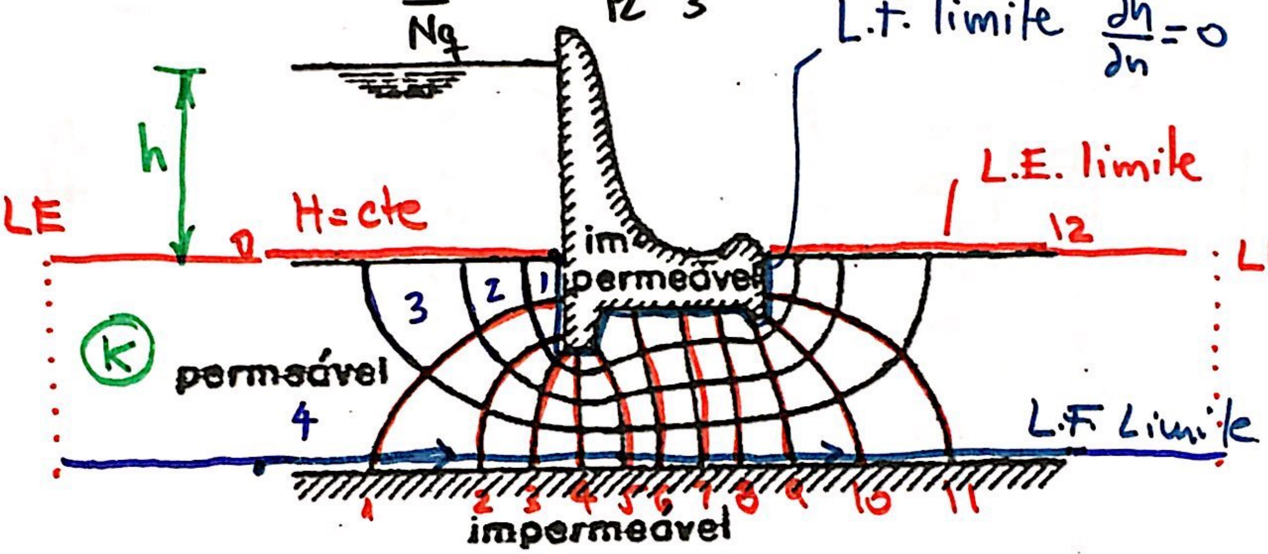


Figura 1

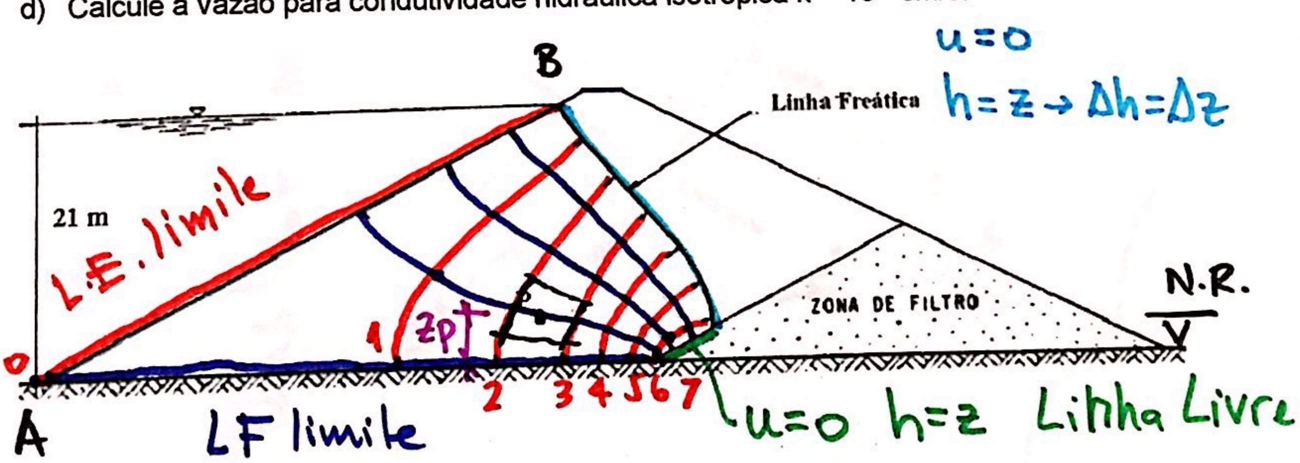
Exercício 2

a) Identifique e escreva as expressões das condições de contorno (todo o contorno, com atenção especial à linha freática) da seção transversal da barragem da Figura 2. Observe que, para facilitar, a **linha freática** já está indicada, bem como os pontos onde devem começar as linhas de fluxo e equipotenciais da rede de fluxo. Qual a propriedade especial dos pontos indicados sobre a freática? Justifique.

b) Complete a rede de fluxo da barragem.

c) Calcule a pressão neutra e o gradiente hidráulico no ponto P.

d) Calcule a vazão para condutividade hidráulica isotrópica $k = 10^{-4}$ cm/s.



Rede de Fluxo em Barragens de Terra

Figura 2

$H_A = z_A + \dfrac{u_A}{\gamma_w} = 0 + 21 = 21\,m$

$H_B = z_B + \dfrac{u_B}{\gamma_w} = 21 + 0 = 21\,m$

$\left.\right\} H = cte$

$\left.\begin{array}{l} N_q = 7 \\ N_f = 4 \end{array}\right\} FF = \dfrac{4}{7}$

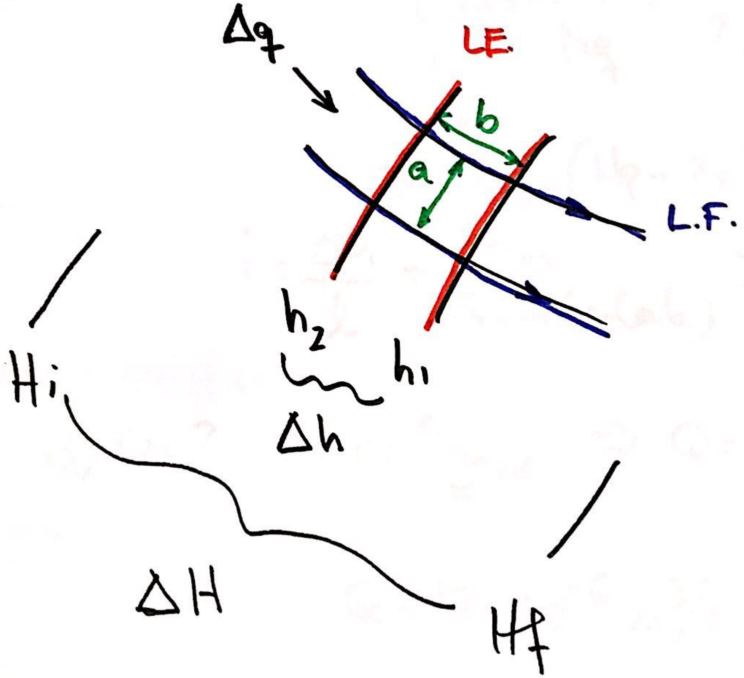
N_q = nº de quedas equipotenciais = 12

N_f = nº de canais de fluxo = 4

Fator de Forma

$$FF = \frac{N_f}{N_q} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$$

FF = constante para uma geometria



Darcy $\Delta q = K \cdot i \cdot A$

$$\Delta q = K \cdot \frac{\Delta h}{\cancel{b}} \cdot \cancel{a} \cdot 1{,}0\,m = K \cdot \frac{\Delta H}{N_q}$$

$a = b$

$\Delta H = \Delta h \cdot N_q$

$Q = \Delta q \times N_f$

$$\boxed{Q = K \cdot \Delta H \cdot \frac{N_f}{N_q}}$$

c) Ponto P. $u = ?$
$i = ?$

$$H_P = z_P + \frac{u_P}{\gamma_w}$$

$z_P = 3{,}5\,m$ (escala)

$$H_P = H_0 - 2{,}5 \times \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{N_q} = \frac{21\,m}{7} = \underline{3\,m}$$

$$H_P = 21 - 2{,}5 \times 3$$

$$H_P = 13{,}5\,m$$

$$\Rightarrow \quad u_P = (H_P - z_P)\gamma_w = (13{,}5 - 3{,}5) \times 10 = \underline{100\ kPa}$$

$$i = \frac{\Delta h}{l} = \frac{3{,}0\,m}{5{,}0\,m\ \text{(escala)}} \cong 0{,}6$$

d) $Q = ?$ $\quad K = 10^{-4}\ \underline{\underline{cm}}/s \Rightarrow Q = K\, \overset{m}{\Delta H}\, \frac{N_f}{N_q} = 10^{-6}\ m/s \cdot 21\,m \cdot \frac{4}{7}$

$$Q = 12 \times 10^{-6}\ m^3/s \cdot m = 43\ L/h \cdot m$$

Fluxo em regime permanente: condições de contorno, vazão, anisotropia, heterogeneidades.

Exercício 3

Para a situação 2D apresentada na Figura 3, identifique e escreva as expressões das condições de contorno (**todo** o contorno).

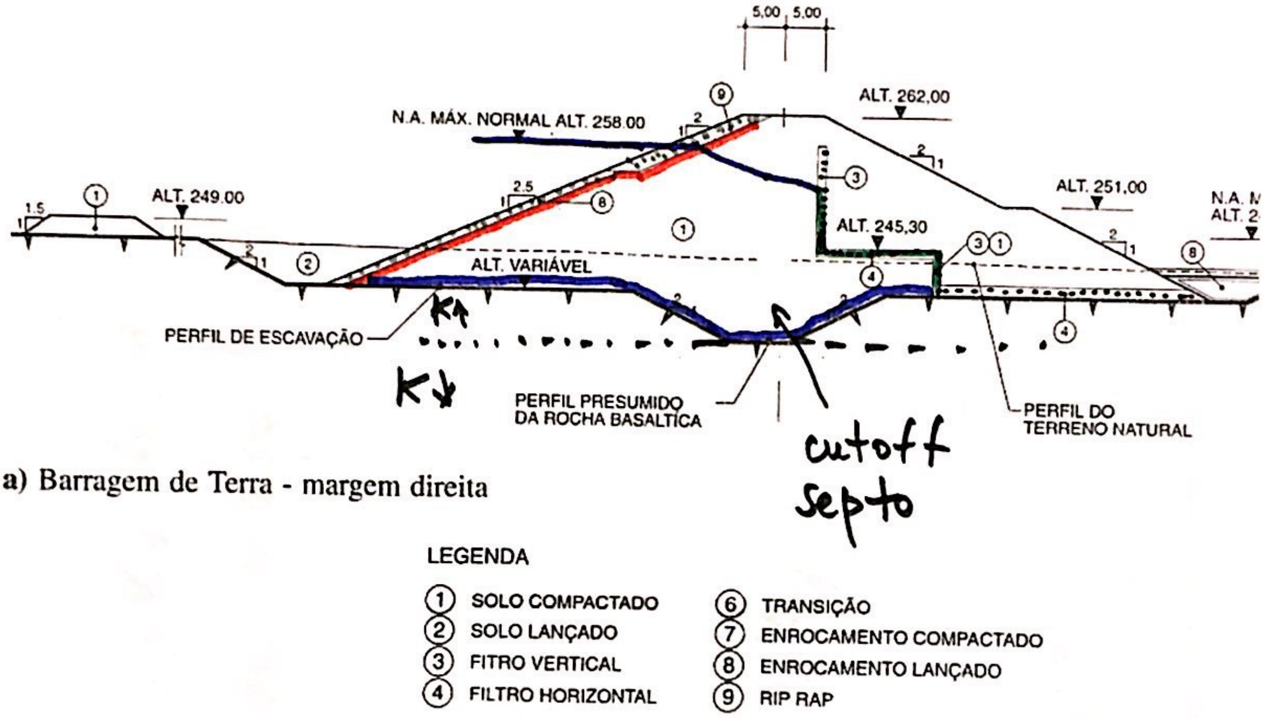


Figura 3

Exercício 4 (revisão)

Apresenta-se na Figura 4 um perfil de barragem de terra homogênea para duas condições: material isotrópico e material anisotrópico quanto à condutividade hidráulica.

a) Justifique, a partir da equação de Laplace, a mudança de escala horizontal adotada para o material anisotrópico, bem como a condutividade hidráulica equivalente.
b) Compare as vazões das duas condições.
c) Compare as pressões neutras e os gradientes hidráulicos no ponto P.
d) Qual das duas condições é mais crítica para a barragem? Decida examinando o talude de jusante,
e) Como melhorar a condição de segurança da barragem? Controlar a anisotropia é viável do ponto de vista prático?

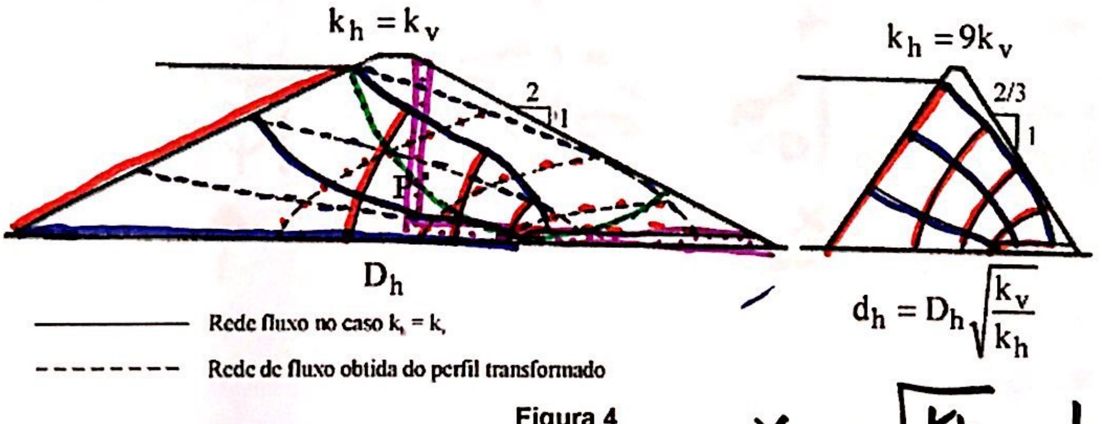
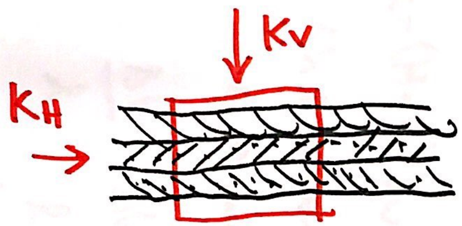


Figura 4

$$X_T = \sqrt{\frac{k_h}{9k_h}} = \frac{1}{3}$$

Anisotropia de Permeabilidade



$K_H >> K_V$ devido ao processo de compactação

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad K_x = K_y$$

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad K_x \neq K_y$$

$$\underline{\underline{\nabla^2 h = 0}} \quad \frac{\partial^2 h}{\partial X_T^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \qquad \underline{X_T = \sqrt{\frac{K_V}{K_H}}} \qquad K_{eq} = \sqrt{K_H \cdot K_V}$$

b)

	Isotrópico	Anisotrópico
N_f	1,3	2,5
N_q	4	4
N_f/N_q	0,325	0,625
K	$K_H = K_V = K$	$K = K_V \quad K_H = 9K_V$
K_{eq}	K	$\sqrt{9K_V \cdot K_V} = 3K$
Q	Q	$\boxed{5{,}8\,Q}$

$\downarrow$

$$K_{eq}\,\Delta H\,\frac{N_f}{N_q} = K \cdot \Delta H \cdot \frac{1{,}3}{4} \qquad 3K\,\Delta H\,\frac{2{,}5}{4}$$

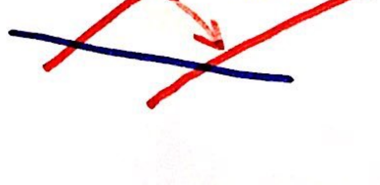
c) u p = comparar
$u = (H - z)\,\gamma_w$
Δh é o mesmo
z é o mesmo

} u semelhantes

$i = \dfrac{\Delta h}{l}$ $\quad \Delta h$ = parecido
l mude
sentido mude $\rightarrow$

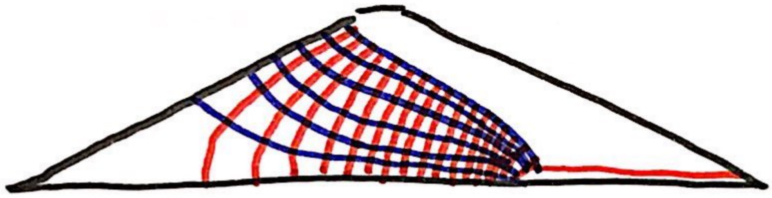
isotrópico

anisotrópico



d). piping

- pressões neutras na região do talude de jusante



$N_f = 3$
$N_q = 9$
$\left.\right\} \frac{1}{3} = 0{,}33$

Fluxo em regime permanente: condições de contorno, vazão, anisotropia, heterogeneidades.

Exercício 5

a) Complete a rede de fluxo da parte superior da Figura 5 e compare com a parte inferior. Com base nessa observação, estime a provável relação k_2/k_1 da rede de fluxo da Figura 6. Estime também, em função de k_1 e de h, as vazões das redes das Figuras 5 e 6.

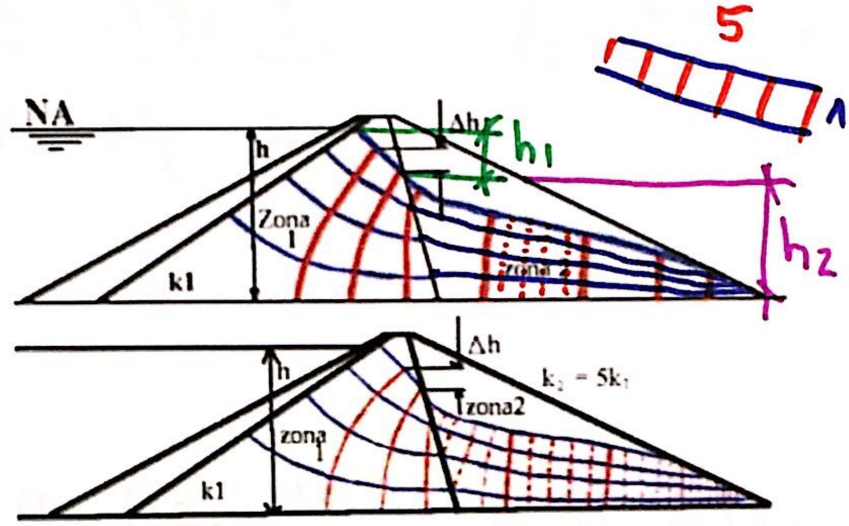
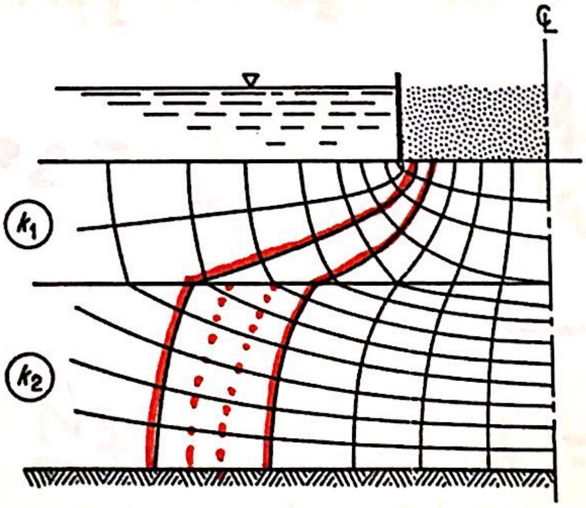


Figura 5



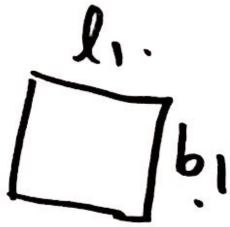
$k_2 \cong 3k_1$

Figura 6

b) Qual dos dois materiais da Figura 5 é anisotrópico?
c) Qual dos dois materiais da Figura 6 é anisotrópico?

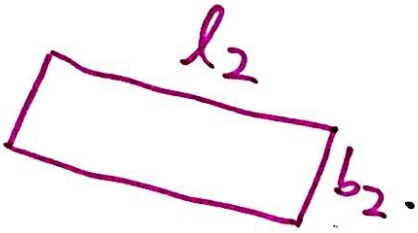
$\}$ nenhum deles é anisotrópico porque LF $\perp$ LE

$$h_1 = \frac{q}{K_1}\,\frac{N_{q_1}}{N_{f_1}}\,\frac{\cancel{l_1}}{\cancel{b_1}}$$



$$h_2 = \frac{q}{K_2}\,\frac{N_{q_2}}{N_{f_2}}\,\frac{l_2}{b_2}$$

$$l_2 = \frac{K_2}{K_1}\,l_1$$



$$h_2 = \frac{q}{\cancel{K_2}}\,\frac{N_{q_2}}{N_{f_2}}\,\frac{\cancel{K_2}}{K_1}\,\frac{\cancel{l_1}}{\cancel{b_2}}. = \frac{q}{K_1}\,\frac{N_{q_2}}{N_{f_2}}$$

$$h = h_1 + h_2 = \frac{q}{K_1}\,\frac{N_{q_1}}{N_{f_1}} + \frac{q}{K_1}\,\frac{N_{q_2}}{N_{f_2}}$$

$$h = \frac{q}{K_1}\,\frac{N_{q_1}}{N_f} + \frac{q}{K_1}\,\frac{N_{q_2}}{N_f} \Rightarrow$$

$$\boxed{q = K_1\,h\,\frac{N_f}{N_{q_1} + N_{q_2}}}$$