

Redes de fluxo: drenos, fluxo transiente, rebaixamento rápido

Exercício 1

Apresenta-se na Figura 1 uma seção transversal típica de uma barragem de terra-enrocamento.

a) Faça uma primeira **estimativa** das condutividades hidráulicas dos materiais, a partir da descrição acima.

Núcleo argiloso: 10^{-8} m/s

Filtro-dreno: 10^{-4} m/s

Enrocamento: 10^0 m/s (1 m/s)

b) Estime a porcentagem da carga hidráulica total que será dissipada no fluxo em cada um dos materiais.

Praticamente 100% da carga hidráulica dissipada no núcleo argiloso (em função dos contrastes de condutividades hidráulicas do item a)

c) Identifique as condições de contorno para a resolução do problema de fluxo.

AB	Equipotencial máxima	$h=h_{\text{montante}}$
AC	Linha freática / linha de fluxo superior	$u=0 \Rightarrow h=h_e$ $\partial h/\partial n = 0$
BD	Linha de fluxo inferior / maior percurso	$\partial h/\partial z = 0$
CD	Linha livre	$u=0 \Rightarrow h=h_e$

d) Esboce a rede de fluxo nessa seção transversal.

Ver rede esboçada na Figura 1.

e) Estime a vazão e o gradiente máximo.

Como sempre, a partir da rede: $Q \cong 10^{-8} \times 55 \times \frac{5}{4} \cong 6,9 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

Gradiente máximo onde as equipotenciais estão mais próximas (distância medida na direção

ortogonal às equipotenciais): $i = \frac{\Delta h}{l_{\text{mín}}} = \frac{55/4}{5,2} = 2,65$

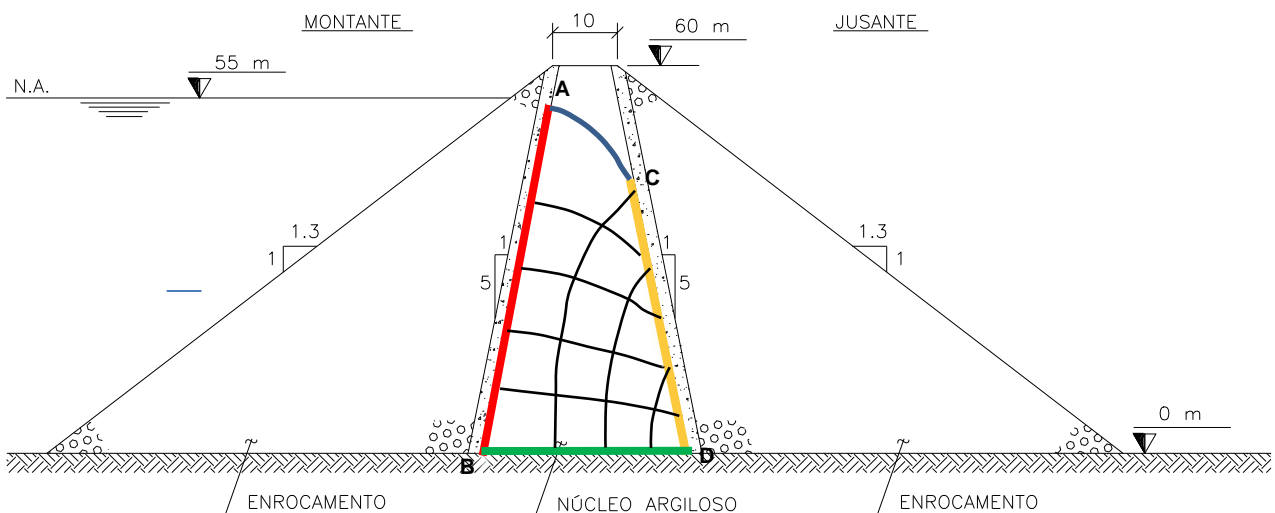


FIGURA 2 – Barragem de Terra – Enrocamento
esc. 1:100

Figura 1

Exercício 2

A Figura 2 (mesma do exercício 2 da coleção 6) representa uma barragem de terra dita homogênea. Nível d'água de montante e linha freática correspondem à situação de **operação**.

a) Identifique e escreva as expressões das condições de contorno para uma situação de **rebaixamento rápido** de 11 m.

Talude de montante-freática-linha livre no contato do filtro: passam, todas elas, a ser uma linha livre ($h=h_e$, pois $u = 0$), identificada em amarelo na Figura 2; os pontos em que as equipotenciais interceptam essa linha têm, portanto, diferença de cota constante.

Redes de fluxo: drenos, fluxo transiente, rebaixamento rápido

Contato barragem-fundação: continua sendo linha de fluxo (derivada nula da carga hidráulica na direção vertical), identificada em verde na Figura 2.

Talude submerso no reservatório rebaixado: linha equipotencial ($h=h_{\text{reservatório}}$); identificada em vermelho na Figura 2.

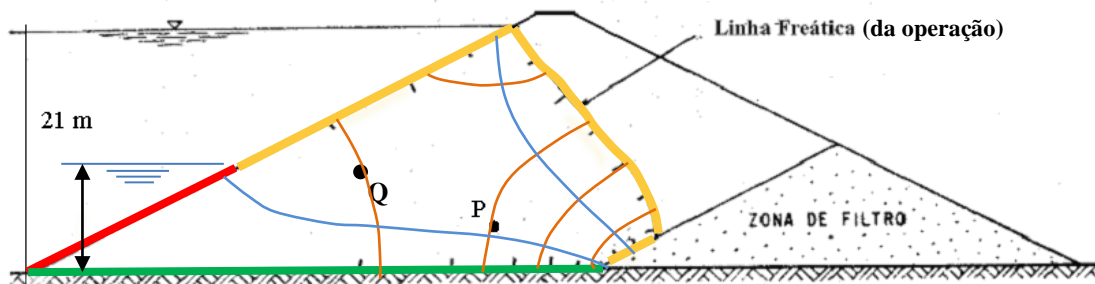
- b) Esboce a rede de fluxo de rebaixamento rápido.

Fluxo no sentido do talude de montante e do filtro (ver esboço grosseiro na Figura 2; redes de rebaixamento são das mais difíceis de serem traçadas; solução numérica impõe-se).

- c) Compare, nos pontos P e Q, a pressão neutra e o gradiente hidráulico em duas situações: **rebaixamento rápido** e **operação** (exercício 2 da coleção 6).

Partindo dos pontos P e Q, siga as equipotenciais, até atingir as superfícies livres, em cada uma das situações (rebaixamento rápido e operação), para comparar pressões neutras: em P pouco se alteram; em Q se reduzem no rebaixamento.

Equipotenciais definem direção dos gradientes, espaçamento entre elas define seus módulos: novamente, alterações pequenas no ponto P, mas em Q o gradiente no rebaixamento passa a apontar para o talude de montante; ainda que o módulo fique um pouco menor do que na operação, a direção da força de percolação passa a contribuir para a instabilização do talude de montante, o mais crítico no rebaixamento; .



Rede de Fluxo em Barragens de Terra

Figura 2

Exercício 3

A Figura 3 apresenta redes de fluxo em uma barragem de terra para três diferentes configurações de drenagem interna (dreno inclinado da crista para montante, dreno vertical sob a crista e dreno inclinado da crista para jusante).

A Figura 3a representa situações de **operação** com reservatório cheio e a Figura 3b situações de **rebaixamento rápido**. A segurança nessas duas situações (além de outras) deve sempre ser verificada no projeto de barragens.

Qual a influência da direção do dreno na segurança? Considere pressões neutras, gradientes hidráulicos e vazões na sua análise, bem como a sua provável influência na estabilidade dos taludes de montante e de jusante.

Na figura 3, considerando o ângulo λ medido da vertical para o dreno, tem-se:

$\lambda < 0 \Rightarrow$ dreno inclinado da crista para montante

$\lambda = 0 \Rightarrow$ dreno vertical sob a crista

$\lambda > 0 \Rightarrow$ dreno inclinado da crista para jusante

Operação	Pressões neutras	Gradientes hidráulicos	Vazões	Rebaixamento rápido	Pressões neutras	Gradientes hidráulicos	Vazões
$\lambda < 0$	Menores	Maiores	Maiores	$\lambda < 0$	Menores	**	**
$\lambda = 0$	Interm.	Interm.	Interm.	$\lambda = 0$	Interm.	**	**
$\lambda > 0$	Maiores	Menores	Menores	$\lambda > 0$	Maiores	**	**

** - pequena variação, não muito importante

Redes de fluxo:drenos, fluxo transiente, rebaixamento rápido

Fig. 3a: com $\lambda < 0$ pressões neutras são menores ou inexistentes onde importa para a estabilidade do talude de jusante, que é o mais crítico na situação de operação (desenhe o círculo crítico para confirmar). Isso é tão importante para a segurança que vale a pena conviver com vazões e gradientes maiores. Gradientes mais elevados são controlados pelos filtros-drenos bem dimensionados (relembrar critérios de Terzaghi).

Fig. 3b: com $\lambda < 0$ pressões neutras são menores (equipotenciais mais “horizontais”), o que favorece a estabilidade do talude de montante, que é o mais crítico na situação de rebaixamento rápido. Os gradientes hidráulicos apontam mais na direção do filtro-dreno (porque o filtro avança para montante). Lembrar, a propósito, que o gradiente hidráulico em qualquer ponto é sempre um vetor perpendicular à equipotencial que passa pelo ponto, seja o material isotrópico ou anisotrópico; só no caso isotrópico o gradiente é paralelo à linha de fluxo; só no caso isotrópico o vetor velocidade tem a mesma direção do vetor gradiente.

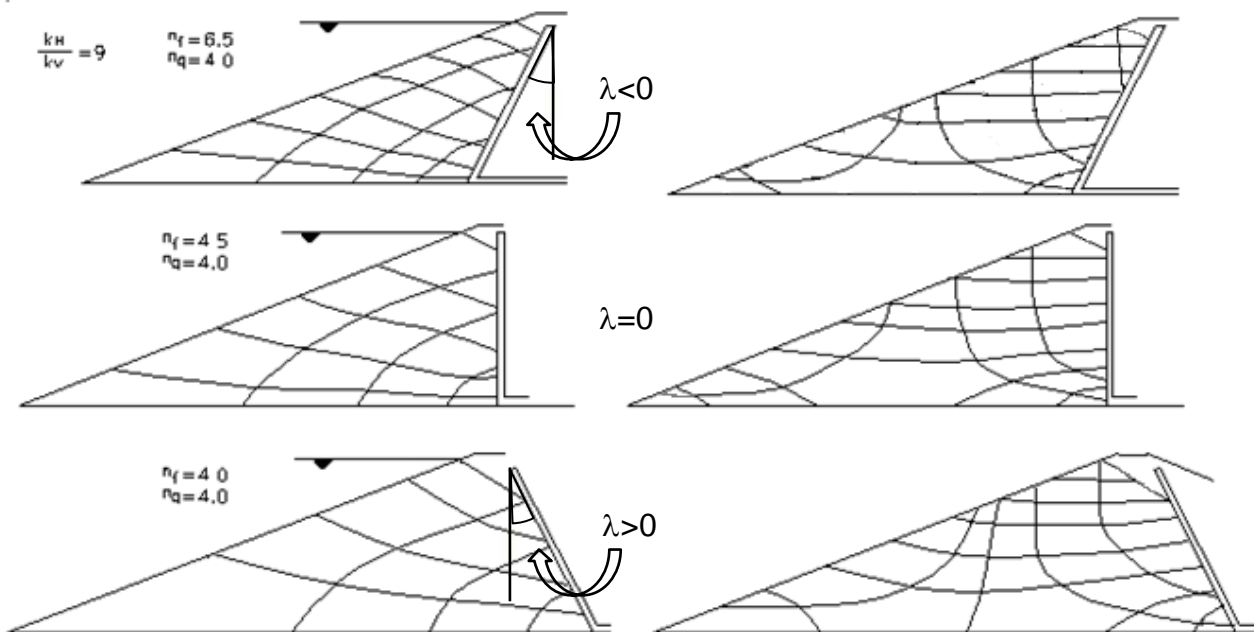


Figura – 3a

Figura 3b