

Dimensionamento de uma barragem de terra

Designing an earth dam

DOI:10.34117/bjdv9n10-053

Recebimento dos originais: 08/09/2023

Aceitação para publicação: 10/10/2023

Eliomar Gotardi Pessoa

Mestre em Engenharia Geotécnica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
e em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Rua Ronaldo Scampini, 440, Vitória - ES

E-mail: eliomar.pessoa@coc.ufrj.br

Luana Machado Feitosa

Tecnóloga em Administração e Finanças

Instituição: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI)

Endereço: 271 Citrus Dr, Kissimmee, Flórida – USA

E-mail: luanamachado100@outlook.com

Adonias Gomes Pereira

Tecnólogo em Engenharia de Petróleo

Instituição: Instituto de Educação Tecnológica Avançada da Amazônia (IETAAM)

Endereço: 10548 Demilo Place, Orlando, Flórida – USA

E-mail: dodo.sgt@hotmail.com

Vitor Pereira e Padua

Graduado em Engenharia Química

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rua Amarantina 18, Taquara – RJ

E-mail: vitorpadua@yahoo.com.br

RESUMO

Barragens são estruturas destinadas à retenção e à acumulação de água, e a arte de projetar uma barragem está ligada à arte de controlar o fluxo da água pelo conjunto barragem-fundação (Cruz, 2004). Estudos mostram que o processo de erosão interna é uma das principais causas de ruptura em barragens em todo o mundo. Segundo publicação do *U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation* (2007), o total de falhas em barragens relacionado à erosão interna é de 49,60%. Um dos métodos utilizados para controle do fluxo é a introdução de dispositivos internos de drenagem na barragem e na fundação que, se bem dimensionados, cumprem à proposta de controle do fluxo no interior do maciço. Nos projetos de sistema de drenagem deve-se destacar as premissas e procedimentos adotados para o seu dimensionamento, pois este sistema está intimamente ligado à segurança da estrutura. Os filtros devem ser dimensionados para atender aos critérios básicos de retenção e permeabilidade, que a princípio parecem ser critérios antagônicos. No entanto, estas condições supõem que as dimensões dos vazios no material do filtro devem ser suficientemente pequenas para reter as partículas maiores do material

protegido e, ao mesmo tempo, o material deve ter permeabilidade suficiente para impedir a indução de forças elevadas de percolação e pressões hidrostáticas aplicadas aos filtros.

Palavras-chave: barragem, resistencia dos materiais, drenagem, filtragem.

ABSTRACT

Dams are structures designed to retain and accumulate water, and the art of designing a dam is linked to the art of controlling the flow of water through the dam-foundation assembly (Cruz, 2004). Studies show that the process of internal erosion is one of the main causes of dam failure worldwide. According to a publication by the U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (2007), the total number of dam failures related to internal erosion is 49.60%. One of the methods used to control flow is the introduction of internal drainage devices in the dam and foundation which, if properly dimensioned, fulfill the purpose of controlling flow within the massif. In drainage system projects, the assumptions and procedures adopted for sizing must be highlighted, as this system is closely linked to the safety of the structure. Filters must be designed to meet the basic criteria of retention and permeability, which at first appear to be antagonistic criteria. However, these conditions assume that the dimensions of the voids in the filter material must be small enough to retain the larger particles of the protected material and, at the same time, the material must have sufficient permeability to prevent the induction of high percolation forces and hydrostatic pressures applied to the filters.

Keywords: dam, strength of materials, drainage, filtration.

1 ESTUDOS PRELIMINARES

O objetivo do presente trabalho acadêmico não é o estudo do projeto de uma barragem como um todo, e sim um antiprojeto do barramento e de suas características. Sendo assim, tomando por base dados dos estudos hidrológicos e climáticos fornecidos no referido trabalho, que consideraram a vazão do rio e as condições meteorológicas da região, obtiveram-se as principais características da barragem e outros dados hidrológicos importantes para a concepção da seção típica da barragem.

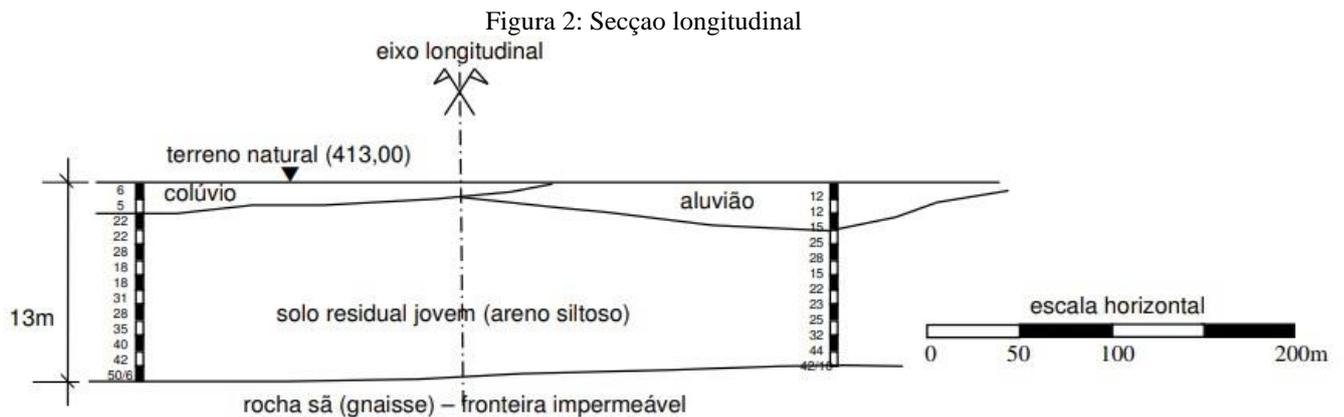
Figura 1: Dados de entrada

crista da barragem	473,00
$NA_{\text{máx}}$ de operação a montante	469,00
NA_{min} de operação a montante	459,00
Superfície do terreno natural na seção de maior altura	413,00
NA de jusante	413,00

Fonte: Autor

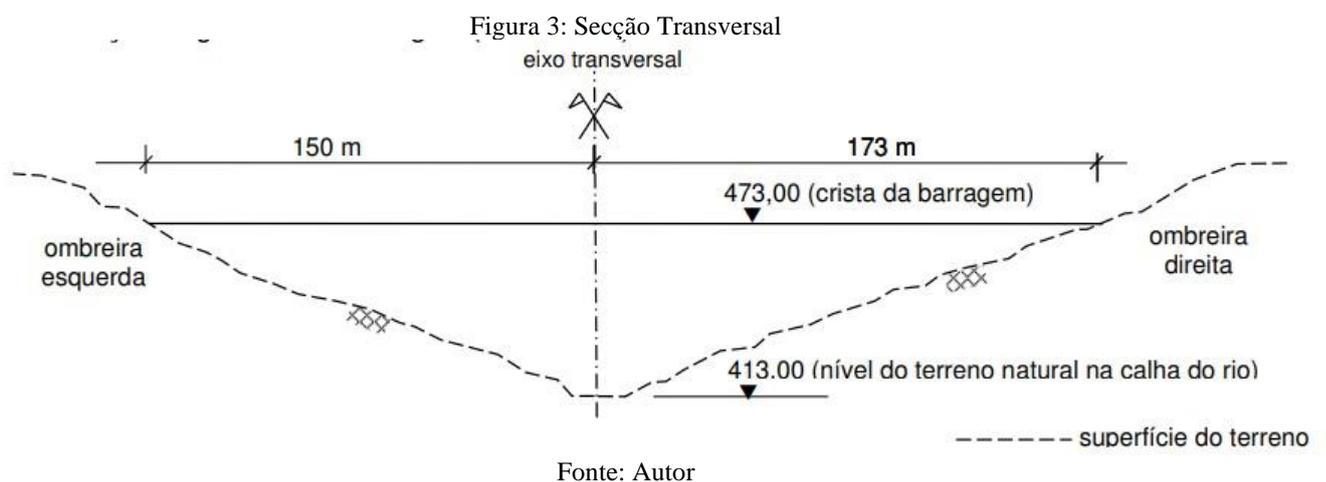
2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Na fase de projeto básico foi feita uma complementação do levantamento das condições geológicogeotécnicas do sítio. O objetivo desta investigação geotécnica foi caracterizar o maciço de fundação quanto à capacidade de suporte para as estruturas, e verificação da condutividade hidráulica na área do barramento.



3 SECÇÃO GEOLÓGICA

É mostrada na Figura 3 (com escala horizontal igual a escala vertical), a secção geológica do eixo do barramento apresentando as camadas que compõe o subsolo.



4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios de laboratório devem ser realizados a fim de se obter os parâmetros de resistência dos materiais de fundação e dos materiais das jazidas de empréstimo que serão empregados no corpo da barragem.

Figura 4: Características Geotécnicas

Material	γ_{sat} (kN/m ³)	k (m/s)	Diâmetro (mm)				
			D ₁₀	D ₁₅	D ₅₀	D ₆₀	D ₈₅
Solo argilo-siltoso compactado (corpo do aterro da barragem) LL=45 LP=23 C _v = 5x10 ⁻² m ² /h	19	3 x 10 ⁻⁷	0,003	0,004	0,01	0,03	0,08
Areia fina	18	5 x 10 ⁻⁵	0,09	0,15	0,30	0,35	0,50
Areia média e grossa	18	8 x 10 ⁻⁴	0,25	0,30	0,80	0,95	1,70
Pedregulho	19	5 x 10 ⁻³	0,8	1,6	5,5	7,0	10
Brita 1	19	10 ⁻²	7	8	16	18	25
Brita 2	19	10 ⁻²	22	24	30	32	35
Enrocamento 1	20	10 ⁻¹	50	90	300	310	400
Enrocamento 2	20	10 ⁻¹	20	40	200	240	350
Aluvião	17,5	2 x 10 ⁻⁶	0,08	0,12	0,12	0,12	0,14

Fonte: Autor

5 ESTUDO DE ALTERNATIVAS

Em um estudo breve da seção geológica da figura 03 e das sondagens realizadas nas áreas de instalação da barragem, observou-se que a opção em barragem de terra, seria uma boa opção, haja vista que o material de suporte da fundação conseguiria absolver bem as cargas. Entretanto, não foi informado no escopo do projeto, os critérios relevantes relacionados a custos, embora o prazo estimado seja de 2 anos. Critérios econômicos são importantes, pois é necessário saber a quantidades de materiais disponíveis e as distâncias entre as jazidas e a obra, para avaliar a melhor opção. Como essa informação não foi fornecida, adotamos que o material disponível mais abundante e próximos seria o solo argilo siltoso, logo nossa barragem será do tipo com todo o maço em terra, com dreno chaminé e tapete drenante.

6 DIMENSIONAMENTOS

Segundo Cruz (1996) as seguintes inclinações de taludes podem ser adotados com base em experiências.

Figura 5: Dimensionamento

Material da barragem	Talude de Montante	Talude de Jusante
solos compactados	2,5(H):1,0(V)	2,0(H):1,0(V)
	3,0(H):1,0(V)	
solos compactados argilosos	2,0(H):1,0(V)	2,0(H):1,0(V)
	3,0(H):1,0(V)	2,5(H):1,0(V)
solos compactados siltosos	3,5(H):1,0(V)	3,0(H):1,0(V)
enrocamentos	1,3(H):1,0(V)	1,3(H):1,0(V)
	1,6(H):1,0(V)	1,6(H):1,0(V)

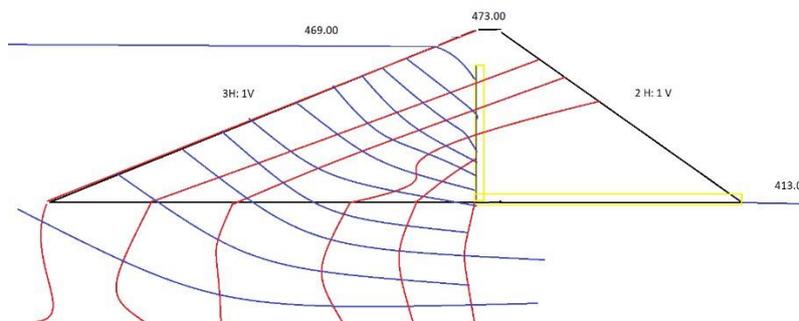
Fonte: Autor

Como o material disponível é um solo argiloso siltoso, optamos adotar a sugestão de Cruz (1996) para solos compactados conforme a tabela xx. A geometria do núcleo foi definida adotando-se 6 m de largura na crista com opção para tráfego de veículos, segundo recomendação da Eletrobrás (2003) que define esse valor mínimo de 3,0 de largura, em função de aspectos construtivos, declividade de 4(V):1(H), para evitar o problema de penduramento do núcleo nos espaldares. Desta forma atende-se a recomendação de Cruz (2004) que menciona que se deve, em princípio, utilizar largura do núcleo argiloso, em qualquer ponto, 30% a 50% da altura da lâmina d'água acima do ponto. Sendo assim, valores adotados serão 3,0 (H): 1,0 (V) para taludes de montantes e 2,0 (H):1,0(V).

7 FLUXO

Linhas de Fluxo e equipotenciais para cálculo da vazão de contribuição do dreno vertical.

Figura 6: Gradiente hidráulicos



Fonte: Autor

Cálculo da vazão Q:

$$khNf$$

$$Q = \frac{khNf}{Nd}$$

$$Nd$$

$$7$$

$$m^3$$

$$Q = 3 \times 10^{-7} \times 56 \times \frac{m^3}{s} = 2,4 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$5$$

$$s$$

Como a vazão de projeto = 10 x Q calculado

Considerando o fluxo praticamente vertical, como então considerar que o gradiente hidráulico i pode ser aproximadamente um valor unitário.

$$\Delta h$$

$$i = \frac{\Delta h}{l} = 1$$

$$l$$

Considerando que:

$$Q_{PROJ} = 10 \times Q_{CAL}$$

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

$$Q = kv \cdot 1 \cdot Bv$$

$$24 \times 10^{-5}$$

$$\frac{24 \times 10^{-5}}{8 \times 10} = 1 \cdot Bv$$

$$8 \times 10$$

$Bv = 0,30m$ Segundo Cruz (1998) $B_f > 0,8m$ adotaremos $0,90m$ Dimensionamento do tapete drenante:

Considera-se máx ao longo do tapete = 10% (normalmente, em função disso, tem-se uma linha piezométrica acima do tapete, que tem que ser levada em consideração na análise de estabilidade).

$$Q_2 = Q_1 + Q_{fundação}$$

$$10^{-5}m^3$$

$$Q = 24 \times 10^{-5} + 5 \times 10^{-5} = 29 \times \text{_____} /m$$

s

$$Q \qquad \qquad \qquad 10^{-5}$$

$$B_H = 10 \cdot k_{\text{---}f} = 290 \times 8 \text{_____} \times 10^{-4} = 3,6 \text{ m}$$

Hipótese 1: o filtro trabalha em carga (variação linear de HT com L)

$$B_h = \sqrt{\frac{Q \cdot L}{k_{fh}}}$$

$$B_h = \sqrt{\frac{29 \times 10^{-5} \cdot 123}{8 \times 10^{-4}}} = 6,67 \text{ m}$$

Hipótese 2:

$$B_h = \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot L}{k_{fh}}}$$

$$B_h = \sqrt{\frac{2 \times 29 \times 10^{-5} \cdot 123}{8 \times 10^{-4}}} = 9,45 \text{ m}$$

Todos os resultados foram acima de B_h , foram maiores que 2,0. Logo iremos dimensionar o tapete drenante com formado sanduiche.

Adotaremos $B_h = 1,8 \text{ m}$ sendo um média ponderado dos coeficientes de permeabilidade

$$0,5 \times 10^{-4} + 0,5 \times 10^{-4} + 0,8 \times 8 \times 10^{-2}$$

$$k_{eq} = \text{_____} = 0,035m/s$$

1,8

$$Q \qquad \qquad \qquad 10^{-5}$$

$$B_H = 10 \cdot \text{---} = 10 \times 29 \times \text{_____} = 0,08 \text{ m}$$

$$k_f \qquad \qquad \qquad 0,035$$

Logo o tapete drenante será do tipo sanduiche sendo:

$$h_{areia\ grossa} = 0,50\ m \quad h_{areia\ grossa} = 0,50\ m \quad h_{brita\ 01} = 0,80\ m$$

Dimensionamento longitudinal: direção/sentido

Para o dimensionamento da drenagem transversal será adotado 1 *cut off* intermediário entre a ombreira esquerda e 1 *cut off* na ombreira direita, a fim de diminuir a altura equivalente do tape drenante.

Sendo então:

QC

$$B_h = \frac{Q}{k i' L}:$$

$ki'L$

B_h = Espessura do tapete drenante; C = Comprimento Longitudinal do tapete;
 i' = tangente do ângulo de inclinação do terreno da direção longitudinal; L =comprimento transversal do tapete;

1- Ombreira esquerda $C1= C2=86,5$;

2- $L= 123,0\ m$;

3- $i' = 0,35$;

$$4- Q=29 \times 10^{-5} \frac{m^3}{m};$$

s

QC

$$B_h = \frac{Q}{k i' L}:$$

$ki'L$

$$29 \times 10^{-5} \times 86,5$$

$$B_h = \frac{29 \times 10^{-5} \times 86,5}{0,035 \times 0,35 \times 123,0} = 0,02m:$$

$$0,035 \times 0,35 \times 123,0$$

5- Ombreira Direita $C1= C2=75$;

6- $L= 123\ m$;

7- $i' = 0,4$;

$$8- Q=29 \times 10^{-5} \frac{m^3}{m};$$

s

QC

$$B_h = \frac{Q}{k i' L}$$

$$B_h = \frac{29 \times 10^{-5} \times 75}{0,035 \times 0,4 \times 123,0} = 0,01m:$$

Assim será adotado uma altura de dreno equivalente de $B_h = 1,80 \text{ m}$ no formato sanduiche.

7.1 FILTRO

O material do filtro, usados a jusante do núcleo da barragem, tem a função de evitar o carreamento de grãos do material vizinho a ser protegido, e portanto, é fundamental um correto dimensionamento do material de transição para garantir a integridade do corpo da barragem. Os requisitos que os materiais usados na transição devem obedecer dizem respeito, unicamente, a critérios de granulometria. Como as transições fazem parte dos sistemas de drenagem, estas devem obedecer a requisitos de contenção (não segregação) e permeabilidade. Neste estudo foram realizadas análises de material do filtro considerando-se o critério mostrado por Cruz (2004) e pelo *U.S. Army Corps of Engineers (2000)*. Para o filtro o dimensionamento foi realizado considerando-se o método de Cruz, porém respeitando os valores mínimos do método do *U.S. Army Corps of Engineers* para D15, pois o solo a ser protegido é muito fino.

Para realizar o dimensionamento do filtro, tomou-se como base a faixa granulométrica referente ao solo argiloso do núcleo, proveniente da área de empréstimo e areia grossa média do sistema de drenagem interno.

1- D_{15} do filtro tem que ser $< 5 \times D_{85}$ do solo (núcleo): D_{15} do filtro $< 5 \times 0,08 = 0,4\text{mm}$.

D_{15} filtro = $0,30\text{mm}$. OK.

2- $5 \times D_{15}$ do solo $< D_{15}$ do filtro valor mínimo do (Corps of Engineers) = $0,1 \text{ mm}$.

$5 \times 0,004 < 0,30 = \text{OK}$.

3- Coeficiente de não uniformidade (Cruz) $D_{60} (\text{máx}) < 20$

$D_{10} (\text{máx})$

$C = \frac{0,95}{0,25} = 3,8 = \text{OK!}$

- 4- filtros arenosos não
- 5- devem conter grãos com diâmetro maior do que 2".OK.
- 6- Pelo critério de Terzaghi:
 $5 \times D15 \text{ do solo} < D15 \text{ do filtro} < 5 \times D85 \text{ do solo}$

$0,02 < 0,30 < 0,04$ OK!

A proteção do talude de montante será feita com o uso de uma camada especial de enrocamento de proteção (rip-rap). A altura de onda foi estimada, através de estudos hidrológicos, em 1,10 m.

O rip-rap é formado por pedras que devem ser suficientemente grandes para não se deslocarem, que resistam ao impacto das ondas e que resistam aos ciclos de secagem e umedecimento. Sherard et al. (1963) apud Mendonça (2013), sugere uma correlação entre a altura da onda máxima e a espessura e diâmetro médio que o rip-rap deve ter, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Correlação entre altura da onda e diâmetro e espessura do rip-rap (SHERARD et al., 1963 apud MENDONÇA, 2012)

Altura da onda máxima (m)	Diâmetro médio do rip-rap (cm)	Espessura do rip-rap (cm)
< 0,60	25	30
0,60 a 1,20	30	45
1,20 a 1,80	37	60
1,80 a 2,40	45	75
2,40 a 3,00	55	90

Fonte: Autor

Sherard et al. (1963) apud Mendonça (2012), também sugere valores mínimos de espessura de camada de transição ou de rip-rap (Tabela 2) e a camada de solo do talude que deve ser executada se o rip-rap não conter finos.

Tabela 2: Correlação entre altura da onda e espessura mínima da transição do rip-rap (SHERARD et al., 1963 apud MENDONÇA, 2012).

Altura da onda (m)	Espessura mínima de transição (cm)
< 1,20	15
1,20 a 2,40	22,5
2,40 a 3,00	30

Fonte: Autor

Sendo os diâmetros mínimos e médios para o material escolhido enrocamento tipo 2 limitados pelas equações:

$$D_{m\acute{a}x} = 1,5 \cdot D_{50}$$

$$D_{m\acute{a}x} = 1,5 \cdot 300 = 45 \text{ cm}$$

$$0,6 \cdot D_{50} > D_{m\acute{i}m} > 2,5 \text{ cm}$$

$$180 > D_{m\acute{i}m} > 2,5 \text{ cm}$$

A extensão do rip-rap ao longo da altura do talude deve seguir aos seguintes critérios (CORPS OF ENGINEERS, 1971 apud MENDONÇA, 2012): Da crista da barragem até 1,5m abaixo do N mín (nível d'água máximo de montante). Pode ser estendido a um nível inferior caso se tenha preocupação com as ondas durante o enchimento.

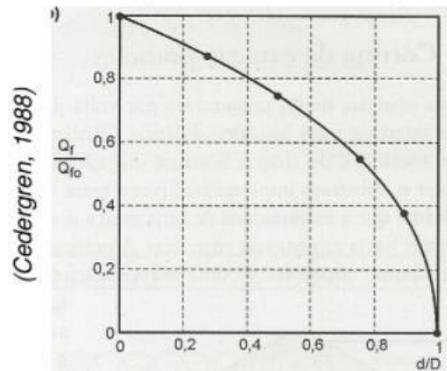
Para uma altura de onda menor que 1,10 m, tem-se diâmetro médio de 30 cm e espessura do rip-rap de 45 cm (Tabela 1). Já os diâmetros máximo e mínimo são obtidos pelas equações acima. Obtém-se então um valor de diâmetro máximo igual a 45,0 cm e o mínimo entre 2,5 e 18cm. Adotouse, então uma camada de rip-rap de 45cm de espessura, $D_{mim} = 10\text{cm}$, $D_{m\acute{e}dio} = 30\text{cm}$ e $D_{m\acute{a}x} = 45,0 \text{ cm}$, estendendo-o da cota 473 m a 460 m, o rip-rap deve se estender da cota da crista até, no mínimo, 1,5m abaixo do NAmín.

Nos taludes de jusante a erosão é prevenida com o uso de vegetação rasteira, banquetas (a cada 10m de altura da barragem) e canaletas de drenagem superficial.

7.2 CUTT OFF

Como a vazão na fundação é maior que 5,0 L/mim/m é o $k_{fund} > 10^{-4}$ então utilizando o gráfico de Cedergren (1988), podemos estimar a redução da vazão ao longo da fundação com isso diminuir também o gradiente hidráulico.

Figura 7: Gráfico de gradiente



Fonte: Autor

Onde:

Q_{fo} = Vazão da fundação sem trincheira;

Q_f = Vazão da fundação com trincheira; D= Espessura da fundação; d= Espessura da trincheira; Neste caso adotaremos uma trincheira com a relação entre $d = 0,6$, que corresponde uma relação

D

de vazão igual à $\frac{Q_f}{Q_{fo}} = 0,64 = 0,64 \times 7 = 4,5$ $\frac{l}{m}$

Q_{fo} $\frac{mim$

Largura da base do *cut-off* segundo (Cruz, 1996):

$b = 0,25 \times H_{\text{ÁGUA}} = 0,25 \times 56 = 14,0 \text{ m}$

Mín: 4,0 m

Máx: 20,0 m

Levando em consideração que trecho próximo ao pé do talude de jusante com uma camada superficial de 3m de espessura de aluvião arenoso ($\gamma_{\text{sat}} = 17,5 \text{ kN/m}^3$) que, segundo a rede de fluxo da fundação, estará submetida a um fluxo vertical com gradiente hidráulico de 1,0, se encontrando nesta condição até 8m após o pé do talude de jusante. Esta camada não será removida. Há uma grande preocupação com a estabilidade do fluxo a jusante haja vista que valores desejados de i estão na faixa de $i < 0,4$ ou $0,5$ e $FS = i_{\text{crit}} = 2$ ou $2,5$.

i

Para o caso em questão:

γ_{sub}

$\gamma_{\text{sub}} - \gamma_w$

$$i_{crit} = \frac{\gamma_w}{\gamma_w} = 0,75$$

$$FS = \frac{i_{crit}}{i} = \frac{0,75}{1} = 0,75$$

Valos do fator de segurança estão bem abaixo do recomendado. A tratativa é diminuir o gradiente hidráulico. Soluções:

1- Projetar **cut off** para diminuir a vazão pela fundação;

Considerando que com adição do **cut off** houve uma redução 36% da vazão que atravessa a fundação será feito uma análise do novo gradiente hidráulico correspondente a redução da vazão.

Fazendo a conversão de 7l/mim = 0,000116667 m³/s/m

$$Q = 0,000116667$$

$$i = k \frac{Q}{A} = 3 \times 10^{-7} x A = 1$$

$$A = 389 \text{ m}^2$$

Para a nova vazão com redução de 36% após a instalação do **cut off**

$$Q = 7,5 \times 10^{-5}$$

$$i = k \frac{Q}{A} = 3 \times 10^{-7} x 389 = 0,64$$

$$i_{crit} = 0,75$$

$$FS = \frac{i_{crit}}{i} = \frac{0,75}{0,65} = 1,17$$

Fator de segurança ficou abaixo do recomendado de 2,5, logo por questões econômicas, não é viável estender o **cut off** até a fundação é sim dimensionar uma berma de equilíbrio drenante no pé do talude a jusante.

Verificar o levantamento de fundo a montante:

$$FS = \frac{\gamma_{sat} x D'}{u_{base}}$$

Cálculo da poro pressão na base do talude a jusante.

$$H_T = Z_P + H_P$$

$$(56 + 13) - \frac{56}{7} \times 7 - 10 = Z_P + H_P$$

$$3,0 \text{ m} = Z_P$$

$$u_b = Z_P \times \gamma_w$$

$$u_b = 30$$

$$FS = \frac{17,5 \times 3}{30} = 1,75$$

2- Projetar um berma drenante a jusante. Cálculo da altura do dreno de saída para evitar (*uplift*), a ruptura desta (*blowout*):

Utilizaremos um $\gamma_{\text{médio filtro}} = 19 \text{ KN/m}^3$

$$\gamma_{\text{sat}} \times D' + z_b \times \gamma_b$$

$$2,5 = \frac{\quad}{\quad}$$

$$u_{\text{base}}$$

$$2,5 = \frac{17,5 \times 3 + z_b \times 19}{30}$$

$$z_b = 1,2 \text{ m}$$

8 ESTABILIDADE DOS TALUDES DURANTE A CONSTRUÇÃO

A situação de instabilidade poderá ser atingida se ocorrerem poropressões positivas consideráveis no maciço de terra, geradas pela sobrecarga devido ao alteamento do aterro. Neste trabalho em específico onde o tempo de construção é muito rápido (2 anos) será considerado uma situação do tipo não drenado (permanência do acréscimo de poropressão após a construção). Essa expectativa do comportamento é essencial para que se faça a análise de estabilidade que represente, de forma coerente, o comportamento que ocorrerá em campo. O tipo de comportamento depende do tempo de construção do aterro e do material que compõe o aterro, que neste caso um material argiloso com comportamento não drenado.

Para análises em termos de tensões efetivas utiliza-se então o parâmetro de poropressão B (não drenado) para se estimar o excesso de poropressão nos casos de comportamento não drenado conforme ensaios em laboratórios não fornecidos nesse

trabalho. Porém com ensaios triaxiais e seus devidos parâmetros de Skempton, sendo definido os poros pressões como;

$$B = \frac{\Delta u}{\gamma_{\text{aterro}} \cdot h}$$

Nesse caso para uma situação saturada.

9 ESTABILIDADE APÓS REBAIXAMENTO RÁPIDO

Os deslizamentos de montante perante rebaixamento, embora graves, em geral, não colocam a barragem sob risco de desastre imediato, pois o nível d'água está muito abaixo da crista da massa afetada. Sherard (1953) menciona que tais escorregamentos costumam ser profundos e estar associados a fundações de baixa resistência e, que a ocorrência de rupturas superficiais é bem menos frequente. A estabilidade do talude de montante perante rebaixamento depende das poropressões que existirão no maciço argiloso após o rebaixamento. As análises de estabilidade após rebaixamento rápido podem ser feitas em termos de tensões efetivas (c' e Φ') devendo-se considerar as poropressões após o rebaixamento. Para o dimensionamento desse maciço iremos considerar uma grande parte de encoramento a montante da barragem, pois o material está disponível, evitando assim, que após o rebaixamento rápido do nível de água da barragem, não seja na mesma velocidade do nível d'água do núcleo e demore a ocorrer, evitando assim, instabilidade ao talude a montante, e evitando erosões já que o dimensionamento da proteção do talude pelos cálculos indicou encoramento do tipo 2.

10 SECÇÃO FINAL

Segundo cruz (1996):

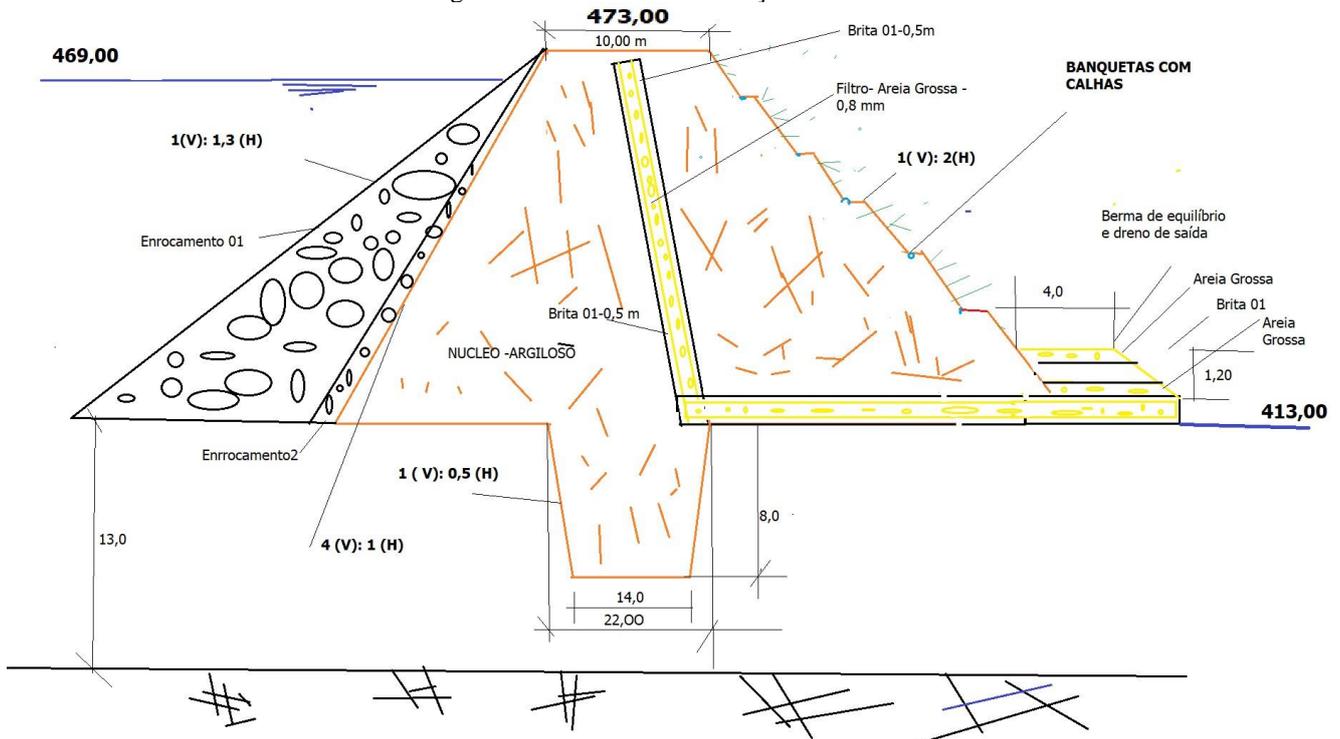
- 1- Em barragens com $H > 25-30\text{m}$ dreno inclinado ao invés de vertical (melhor distribuição de tensões em função da diferença de rigidez que pode provocar fissuramento ou ruptura hidráulica do dreno). De Mello recomenda inclinação do dreno vertical para montante de $1(V):0,5(H)$.
- 2- Espessura do dreno vertical ou inclinado $> 0,8\text{m}$ (motivos construtivos).
- 3- Espessura do dreno horizontal $< 2,0\text{m}$ (motivos econômicos) – Caso não seja suficiente, utilizar

“dreno sanduíche”.

- 4- Altura do dreno de pé ou de saída > 2 x espessura do dreno horizontal;
- 5- Largura de crista do dreno de pé > 4,0m.
- 6- Espessura dos filtros de transição: > 2,0m entre barragem enrocamento e núcleo em solo > 0,3m nos demais casos;
- 7- Filtro na interface núcleo-enrocamento e núcleo fundações;
- 8- inclinação máxima de 4:1 (V:H) para evitar “penduramento” do núcleo nos espaldares;
- 9- largura mínima do núcleo (quando central) de 30% a 50% da altura d’água acima do ponto considerado, sendo no mínimo 10m.

Considerando todos dimensionamentos e recomendações da grandes referencias bibliográficas, adotamos a seguinte secção como sendo a secção mais e eficientes com relação ao dimensionamento das estabilidades da barragem, entretanto, precisa-se de mais informações para questões econômicas e social e ambiental.

Figura 8: Detalhamento da secção transversal



Fonte: Autor

REFERÊNCIAS

Cruz, P. T. (2004). **100 Barragens Brasileiras, Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto**. São Paulo: Editora Oficina De Textos Brasil, 1996, 2ª Edição.

ELETROBRÁS, CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2003, “**Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**”. Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB).

CORPS OF ENGINEERS, U.S. ARMY, 1993, “**Seepage Analysis and Control for Dams**”, Appendix D. Department of the Army, Washington, EUA.

MENDONÇA, M. B. de, 2021, “**Notas de aula da disciplina Obras de Terra; Liq. De Rejeitos (COC739)**”. UFRJ, Rio de Janeiro.