

Capítulo 88

Pequenas barragens de terra

Capítulo 88- Pequenas barragens de terra

88.1 Introdução

O nosso objetivo é fornecer algumas informações simples sobre pequenas barragens de terra, não esquecendo que deverá ser consultados especialistas no assunto quando da construção.

A grande vantagem da barragem de terra é que a mesma não é exigente nem nas fundações nem nos materiais conforme Costa, 2001. Ela molda-se a quase todas as fundações e, com modernas técnicas de mecânica dos solos e terraplenagens, aceita uma enorme variedade de solos.

Existem barragens de terra com mais de 3km de extensão e com mais de 200m de altura.

Ainda segundo Costa, 2001 a grande vantagem das barragens de terra sobre as outras, é que podem ser construídas sobre qualquer tipo de fundação.

São relativamente baratas e não exigem pessoal muito especializado.

88.2 Tipos de barragens de terra

Há 3 tipos de barragens de terra:

1. Barragem de aterro homogêneo
2. Barragem zonada
3. Barragem com núcleo.

88.3 Barragem de aterro homogêneo

É a mais comum onde é utilizado um único tipo de solo.

Os taludes a montante e a jusante devem ter inclinações adequadas conforme o tipo de solo.

Deve ser construído um dreno vertical ou inclinado de areia selecionada de granulometria adequada ao tipo de solo utilizado, ou por brita confinada em geotêxtil.

Deve ter ainda um dreno ou tapete horizontal de areia selecionada ou brita confinada em geotêxtil.

Constroi-se também o *cut-off* que é a parte do aterro que se insere na fundação. Quando a qualidade do solo é boa não se faz o *cut-off*.

O talude de montante deve ser protegido com enrocamento (*riprap*) ou laje armada ou tapete asfáltico.

De acordo com o *fetch*, que o comprimento maior da superfície da água da barragem e no qual incide o vento. Conforme o comprimento do *fetch* temos a espessura mínima em cm do *riprap* no talude de montante conforme Tabela (88.1).

88.4 Barragem com núcleo

São barragens com núcleo de concreto ou solo argiloso, sendo pouco usada.

Tabela 88.1- Espessura do enrocamento sobre talude 3:1

Fetch (km)	Espessura mínima do riprap (cm)
<1,5	45
4	60
8	75
>10	90

Fonte: Costa, 2001

Crista da barragem

Largura do coroamento “c”

Fórmula de Preece

$$c = 1,1 \times H^{0,5} + 1$$

H=altura máxima da barragem (m)

Coroamento mínimo= 4,00m (DNOCS) Mínimo: 3,00 Portugal

$$c = H/5 + 3m$$

Taludes

Conforme Matos et al, 2003 in Morano 2006 a altura da barragem depende do tipo de material;

Tabela 88.2- Taludes a montante e a jusante conforme a altura da barragem e tipo de solo

Tipo de material	Talude	Barragem até 5m de altura	Barragem de 5,1m a 10m de altura
Solos argilosos	Montante	2 : 1	2,75:1
	Jusante	1,75:1	2,25:1
Solos areno argilosos/ argilosos	Montante	2,25:1	3:1
	Jusante	2:1	2,25:1

Os taludes usuais conforme Figura (88.1) são:

Talude a montante: 3:1

Talude a jusante: 2:1

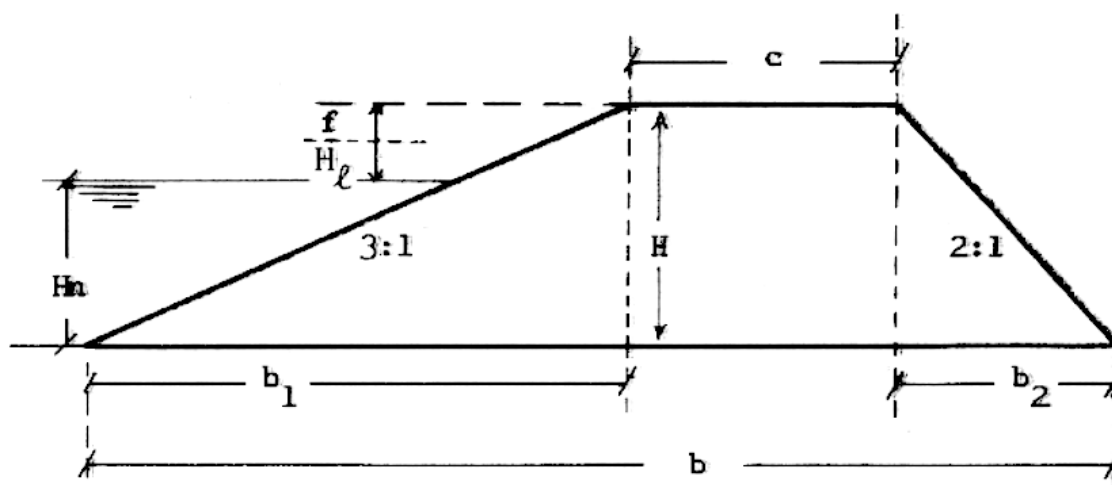


Figura 88.1-Seção transversal típica de uma barragem de terra

Folga: 0,5m a 1,0m

Tomada de água:

Descarregador de fundo: diâmetro mínimo de 0,80m conforme DAEE, 2005

Folga

Para evitar o *over-topping* é aconselhado as seguintes distâncias.

Tabela 88.3- Folga para evitar over-topping conforme o comprimento do Fetch

Fetch (km)	Normal (m)	Mínima (m)
<1,5	1,2	0,90
2,0	1,5	1,2
4,0	1,8	1,5
8,0	2,4	1,8
16,0	3,0	2,1

Fonte: Costa, 2001

88.4 Barragens Zonadas

Quando não existem solos apropriados, em quantidade suficiente, o que sucede com muita frequência, recorre-se ao tipo zonado que não é mais do que o aproveitamento dos solos mais fracos para aterros estabilizadores e do melhor solo para o núcleo central, conforme Costa, 2001.

88.5 Volume do prisma trapezoidal

Conforme Geórgia, 2001 ou Akan e Paine, 2001 o volume prismático trapezoidal é dado pela equação:

$$V = L.W.D + (L+W) Z.D^2 + 4/3 . Z^2 . D^3$$

Sendo:

V= volume do prisma trapezoidal (m³);

L= comprimento da base (m);

W= largura da base (m);

D= profundidade do reservatório (m) e

Z= razão horizontal/vertical. Normalmente 3H:1V

Exemplo 88.1

Dados: Largura= W= 20m, Comprimento= L=60m, Profundidade= D=3m e Z=3. Achar o volume.

$$V = L.W.D + (L+W) Z.D^2 + 4/3 . Z^2 . D^3$$
$$V = 20 \times 60 \times 3 + (20+60) \times 3 \times 3^2 + 4/3 \times 3^2 \times 3^3$$
$$V = 6.084\text{m}^3$$

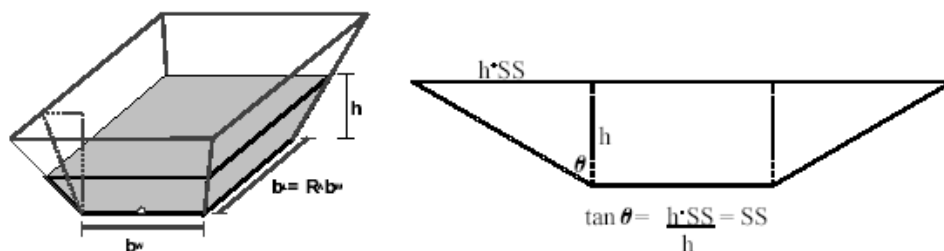


Figura 88.2 - Reservatório com seções transversais e longitudinais trapezoidal
Fonte: Washington, 2001

88.6 Linha freática

A linha freática ou linha de saturação conforme Morano, 2006 limita duas regiões do corpo da barragem de terra, aquela que tem água infiltrada e aquela que não tem. A linha superior da Figura (88.3) é a linha freática.

A importância da linha freática é obter a vazão de infiltração ao longo da barragem de terra no corpo da barragem em metro cúbico por dia por metro de barragem. Se o terreno sob a barragem de terra for permeável é possível estimar a perda de água por dia por metro.

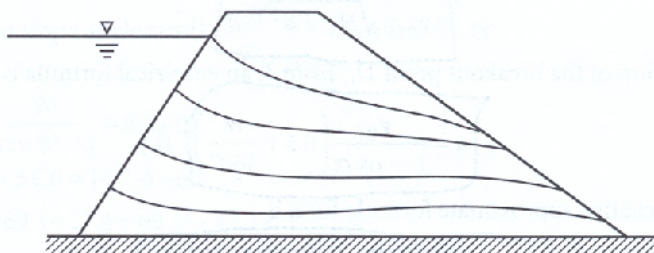


Figura 88.3- Infiltração da água no corpo de barragem homogênea. A linha freática e a linha superior no corpo da barragem

Há duas soluções, sendo a primeira construir um **filtro horizontal** de areia que é posicionado no terço final do aterro e usado areia média lavada conforme Morano, 2006. Este filtro horizontal conforme Figura (88.4) é também chamado de **tapete drenante ou colchão drenante** e tem a função de baixar a linha freática, evitando o seu aparecimento na face do talude a jusante e desse modo, encaminhar as águas percolantes para a base do aterro e daí para o dreno de pé conforme Morano, 2006.

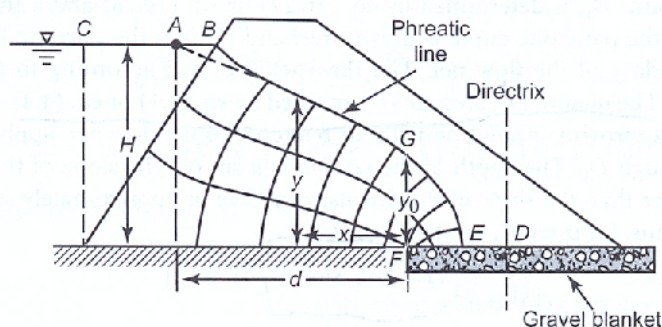


Figura 88.4- Barragem de terra com filtro horizontal
Fonte: Gupta, 2008

A segunda opção é traçar a linha freática que é uma parábola conforme pesquisas de Casagrande, com objetivo de se obter dados para o cálculo da vazão de infiltração no corpo da barragem conforme Figura (88.5).

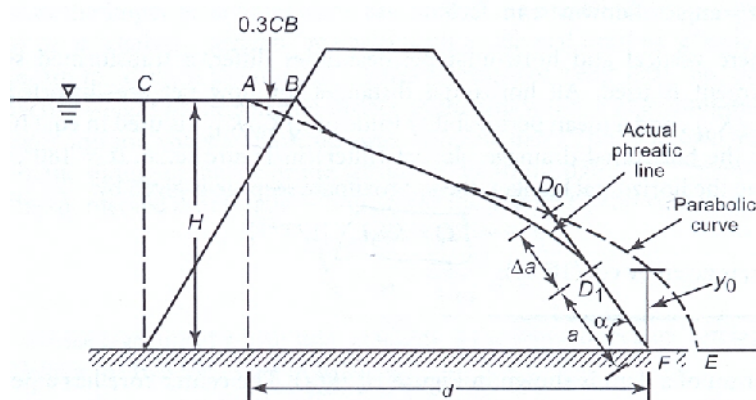


Figura 88.5- Barragem de terra com linha freática parabólica
 Fonte: Gupta, 2008

88.7 Infiltração no talude de jusante

O objetivo de se obter a linha freática é para calcular a vazão de infiltração no talude de jusante:

$$Q = (K_v \cdot K_h)^{0,5} \times a \times L \times [\text{sen}(\alpha)]^2$$

$$Q = K \times a \times L \times [\text{sen}(\alpha)]^2$$

Sendo:

Q= vazão de infiltração (m³/s/m) ou em (m³/dia/m)

K_v= permeabilidade vertical do solo da barragem (m/s)

K_h= permeabilidade horizontal do solo da barragem (m/s)

K= (K_v x K_h)^{0,5}

α = ângulo do talude de jusante em graus

L= comprimento da barragem (m). Adotado L=1m

$$a = \{y_0 / [1 - \cos(\alpha)]\} \times (0,5 + \alpha / 360^\circ)$$

$$y_0 = (H^2 + d^2)^{0,5} - d$$

H= altura da barragem de terra (m)

y₀= altura conforme Figura (88.5)

d= largura da crista da barragem (m)

Exemplo 88.2- Gupta, 2008

Dada uma barragem de terra anisotrópica conforme Figura (88.6) com largura do topo de 9,0m e coeficiente de permeabilidade horizontal de K_h=0,0000009m/s e permeabilidade vertical K_v=0,0000003m/s. Altura da barragem de 30m, altura do nível de água H=27m. Comprimento do cateto referente a encosta de jusante igual a 20,73m (69,1ft). Calcular a vazão em m³/dia por metro de barragem de água infiltrada no maciço.

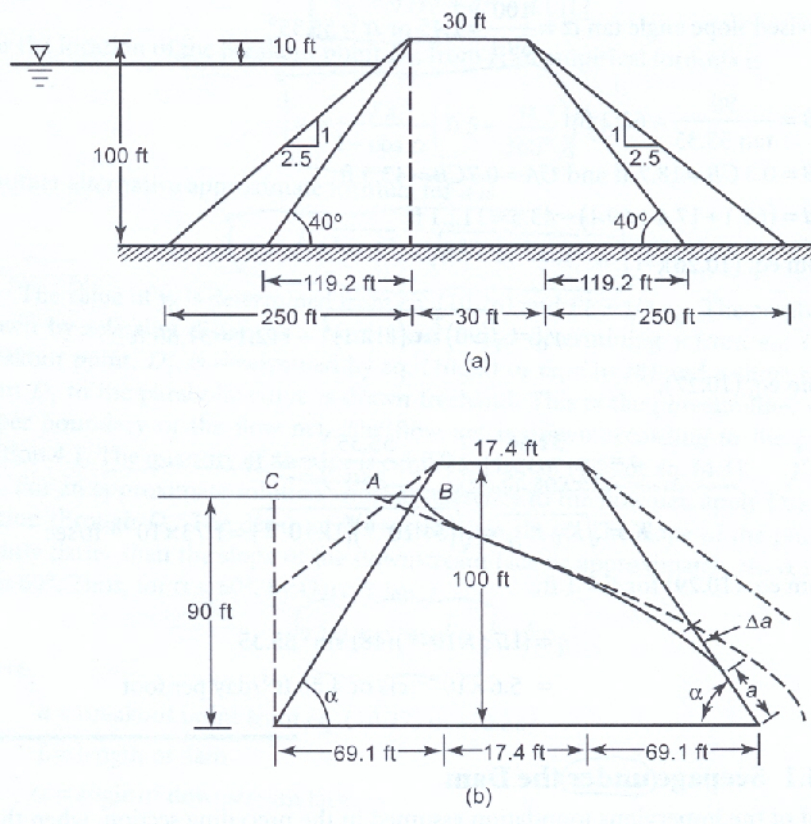


Figura 88.6-Barragem de terra anisotrópica

O ângulo formado no talude de jusante é calculado por:
 $\tan \alpha = \text{Altura/cateto} = 30/20,73 = 1,45$. Portanto, $\alpha = 55,35^\circ$

Permeabilidade equivalente K

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

$$K = (0,0000009 \times 0,0000003)^{0,5} = 0,000001643 \text{ m/s}$$

Redução da escala

Nas distâncias horizontais temos que dividir por 0,58 para transformar a barragem anisotrópica em isotrópica. Nas distâncias verticais não há mudanças.

$$(K_v/K_h)^{0,5} = (0,0000003/0,0000009)^{0,5} = 0,58$$

$$CB = H / \tan(\alpha) = 27 / \tan(55,35) = 18,7 \text{ m}$$

$$AB = 0,3 \times CB$$

$$AB = 0,3 \times 18,7 = 5,6 \text{ m}$$

$$CA = 0,7 \times CB = 0,7 \times 18,7 = 13,1 \text{ m}$$

$$d = (20,73 + 20,73 + 5,22) - 13,1 = 33,58\text{m}$$

$$y_0 = (H^2 + d^2)^{0,5} - d$$
$$y_0 = (27^2 + 33,58^2)^{0,5} - 33,58 = 43,09 - 33,58 = 9,51\text{m}$$

$$a = \{y_0 / [1 - \cos(\theta)]\} \times (0,5 + \theta / 360^\circ)$$

$$a = \{9,51 / [1 - \cos(55,35)]\} \times (0,5 + 55,35 / 360^\circ) = 14,4\text{m}$$

$$Q = K \times a \times [\sin(\theta)]^2$$

$$Q = 0,000001643 \times 14,4 \times [\sin(55,35)]^2$$

$$Q = 0,000016\text{m}^3/\text{s}/\text{m} = 1,38 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{m}$$

Portanto, infiltrará pelo talude de jusante $1,34\text{m}^3/\text{dia}$ por metro da barragem e como temos comprimento total de $L=159,00$ teremos:

$$Q = 1,34 \times 159 = 213\text{m}^3/\text{dia} \text{ de infiltração no talude de jusante}$$

88.9 Estimativa de Infiltração sob a barragem

Gupta, 2008 calcula a infiltração sob a barragem quando o solo é permeável e devemos verificar se não surge o problema de *piping*, isto é, que a infiltração seja tão grande que faça escorregar o pé da barragem fazendo desmonte da estrutura.

Segundo Gupta, 2008 a relação empírica L/H deve ser calculada, onde L é o comprimento da barragem e H a altura da mesma. A razão L/H deve ser mantida suficientemente grande, sendo adotado 4 para pedregulhos e 18 para areia e silte para prevenir piping conforme Tersaghi, 1967 in Gupta, 2008.

O cálculo é feito usando a equação de Darcy usando:

$$i = H/L$$

Sendo:

i= gradiente

H= altura da barragem (m)

L= comprimento da barragem (m)

P= profundidade da camada permeável (m)

$$Q = K_v \times P \times i$$

Sendo:

Q= água infiltrada (m³/dia/metro de barragem)

Exemplo 88.3

Mesmo exemplo anterior de Gupta, com L= 159m, nível de água H=27m K=0,000003m/s e altura da camada permeável sob a barragem P=12m. Determinar a infiltração de água sob a barragem em todo o seu comprimento.

Relação L/H= 159/27= 5,9

Equação de Darcy

$$Q = K_v \times P \times i$$

Gradiente hidráulico

$$i = H/L = 27\text{m} / 159\text{m} = 0,17$$

$$Q = K_v \times P \times i$$

$$Q = 0,000003 \times 12 \times 0,17 = 0,00000612\text{m}^3/\text{s} / \text{m}$$

$$Q = 0,53\text{m}^3/\text{dia}/\text{m}$$

Como a barragem tem comprimento total de 159m teremos de água por infiltração sob a barragem de 0,53 x 159= 84m³/dia

Resumo:

Infiltração no talude de jusante= 213m³/dia

Infiltração sob a barragem= 84m³/dia

Total=297 m³/dia

88.10 Bibliografia e livros consultados

- COSTA, TEIXEIRA e LANÇA, RUI. *Barragens*. Escola Superior de Tecnologia Universidade de Algarve, Portugal, 28 de fevereiro de 2001.
- GUPTA, RAM S. *Hydrology and hydraulic systems*. 3a ed. USA, 896 páginas, ano 2008.
- KAPLAN, EDUARDO. *Pequenas barragens para abastecimento de água no município de Caxias do Sul, RS*. Porto Alegre, junho, 2010.
- MORANO, JOSE ROBERTO. *Pequenas barragens de terra*. Metodologia para projetos e obras. Edição Codasp, 2006. 103 páginas.
- NEW YORK STATE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION; *Guidelines for design of dams*. Janeiro, 1989.
- REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS. Capítulo I, Diário da República, 198 de 15 de outubro de 2007. Portugal.