

## **Capítulo 102**

# **Dissipador de energia em blocos conforme Khatsuria, 2005**

## Capítulo 102- Dissipador de energia em blocos conforme Khatsuria, 2005

### 100.1 Introdução

Em rampas de canais de vertedouros podemos construir blocos de concreto com objetivo de provocar turbilhonamento e dissipar a energia conforme Figura (102.1).

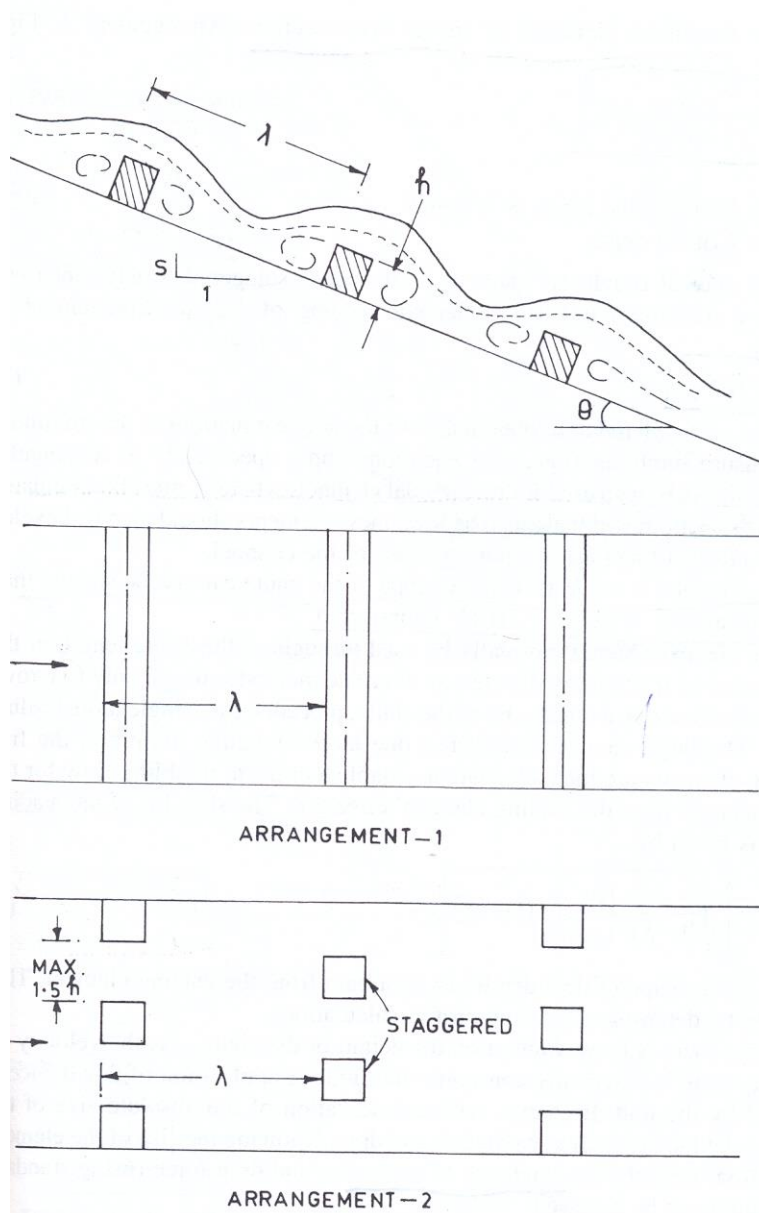


Figura 102.1- Dissipador de energia em rampa com blocos de concreto. Notar dois arranjos, sendo o primeiro em paralelepípedo e outro em cubos.  
Fonte: Khatsuria, 2005

## 100.2 Velocidade

Conforme Khatsuria, 2005 a velocidade no fim da rampa com blocos é aproximadamente igual a velocidade crítica.

$$V = (g \cdot q)^{(1/3)}$$

$q = Q/B$  ( $m^3/s/m$ )

$Q =$  vazão ( $m^3/s$ )

$B =$  largura (m)

A velocidade no fim da rampa pode facilmente ser resolvido com um dissipador de energia Basin Tipo I do USBR ou um riprap após o dissipador;

## 100.3 Tamanho dos blocos e espaçamento

Khatsuria, 2005 sugere blocos de concreto que estejam distribuídos no canal com altura  $h$  dependendo da altura crítica  $y_c$  para arranjo 2.

$$h = 0,7 \cdot Y_c \text{ Arranjo 2}$$

No arranjo 1- em figuras em forma de paralelepípedo, podemos usar a seguinte equação para o cálculo da altura  $h$ .

$$h = y_c / (3 - 3,7 \times S)^{(2/3)} \text{ Arranjo 1}$$

Sendo:

$h =$  altura do paralelepípedo (m) conforme arranjo 1.

$y_c =$  altura crítica (m)

$S =$  declividade (m/m), sendo o ângulo menor que 39 graus

A declividade ideal, segundo Khatsuria, 2005 é 2H: 1V.

### Arranjo 2

Podemos usar 5 (cinco) fileiras de cubos, sendo que todas tem altura  $h$ , com exceção da primeira fileira que tem altura  $h_1$ .

$$h_1 = y_c \times ((2/1-S)^2 \times (y_c/y_0) - (1-S)^2)^{0,5} \text{ Arranjo 2- primeira fileira}$$

Sendo:

$h_1 =$  altura do cubo na primeira fileira do arranjo 2 (m)

$y_c$  = altura crítica (m)

$S$  = declividade (m/m)

$y_o$  = altura da velocidade supercrítica a montante (m)

### Exemplo 102.1

Dimensionar um dissipador de energia em cubos conforme Khatsuria, 2006 com cinco fileiras, sendo:  $Q = 311 \text{ m}^3/\text{s}$   $S = 0,002 \text{ m/m}$   $B = 51 \text{ m}$  (largura da rampa igual largura do rio a jusante). Largura da ponte = 17m

#### Altura crítica $y_c$ na saída da ponte

$$y_c = ((Q/B)^2/g)^{(1/3)}$$

$$y_c = ((311/17)^2/9,81)^{(1/3)}$$

$$y_c = y_o = 3,24 \text{ m}$$

Notar que  $y_o = y_c$  que será usado na fórmula de  $h_1$ .

#### Altura crítica $y_c$ na rampa

$$y_c = ((Q/B)^2/g)^{(1/3)}$$

$$y_c = ((311/51)^2/9,81)^{(1/3)}$$

$$y_c = 1,58 \text{ m}$$

#### Altura do cubo nas quatro outras fileiras

$$h = 0,7 \times y_c = 0,7 \times 1,58 = 1,09 \text{ m}$$

#### Altura do bloco na primeira fileira

$$h_1 = y_c \times ((2/(1-S))^2 \times (y_c/y_o) - (1-S)^2)^{0,5}$$

$$h_1 = 1,58 \times ((2/(1-0,002))^2 \times (1,58/3,24) - (1-0,002)^2)^{0,5}$$

$$h_1 = 1,57 \text{ m}$$

A primeira fileira tem altura  $h_1 = 1,57 \text{ m}$  que é maior que as outras fileiras, cuja altura é  $1,09 \text{ m}$ .

#### Espaçamento entre as fileiras

$$\lambda = 10 \times h = 10 \times 1,09 = 10,90 \text{ m}$$

#### Distância horizontal entre os cubos

$$D = 1,5 \times h = 1,5 \times 1,09 = 1,64 \text{ m}$$

O espaçamento  $\lambda$  entre as fileiras de blocos  $\lambda$  deve ser entre 7,5h a 12h, sendo recomendado por Morris a distância de 10.

$$\lambda = 10 \times h$$

Lembramos que os blocos são colocados na distância  $\lambda$  no vão livre dos blocos a montante conforme Figura (102.1) e que cada fileira é desencontrada da outra.

Numa mesma fileira os blocos estão espaçados no **máximo 1,5h**.

### Exemplo 102.2

Vamos achar a altura crítica  $y_c$  do canal.

$$y_c = [(Q/B)^2/g]^{(1/3)}$$

$$Q = 3,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 4,20 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$y_c = [(3,39/4,2)^2/9,81]^{(1/3)}$$

$$y_c = 0,41 \text{ m}$$

$$V_c = Q / (B \times y_c) = 3,39 / (4,2 \times 0,41) = 1,97 \text{ m/s}$$

Khatsuria, 2005 sugere blocos de concreto que estejam distribuídos no canal.

A altura dos blocos é  $h = 0,7 \cdot y_c$

Portanto para o primeiro trecho  $h = 0,7 \times 0,41 = 0,29 \text{ m}$ .

A distância horizontal máxima de um bloco do outro é de  $1,5 \times h = 1,5 \times 0,29 = 0,44 \text{ m}$

A distância entre as fileiras de blocos  $\lambda$  deve ser entre 7,5h a 12h, sendo recomendado por Morris a distância de 10.

Assim  $\lambda = 10 \times h = 10 \times 0,29 = 2,90 \text{ m}$

Conforme Khatsuria, 2005 a velocidade estimada no final do canal é aproximadamente igual a velocidade crítica :

$$V = (g \cdot Q/B)^{(1/3)}$$

$$V = (9,81 \times 3,39/4,2)^{(1/3)}$$

$$V = 2,03 \text{ m/s} \approx 1,97 \text{ m/s OK}$$

#### 102.4 Riprap após dissipador de energia

O riprap é geralmente colocado na saída de uma tubulação de águas pluviais em um sistema de microdrenagem ou na saída de um bueiro de seção circular ou retangular e também é colocado riprap em pilares e bases de pontes. Desta maneira o riprap age como um dissipador de energia.

Quando já foi feito um dissipador de energia como uma escada hidráulica ou uma bacia horizontal Tipo I do USBR ou um dissipador de impacto Tipo VI do USBR, colocamos riprap de uma maneira diferente.

O DAEE de São Paulo adota os seguintes valores da rugosidade de Manning n que estão na Tabela (102.1) e velocidades limites que estão na Tabela (102.2).

**Tabela 102.1- Valores recomendados para o coeficiente de rugosidade de Manning n**

Tipo de superfície ou de revestimento	n
Terra	0,035
Gramma	
Rachão	
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto	0,018

Fonte: DAEE, Instrução DPO 002/2007

**Tabela 102.2- Limites superiores para velocidade em canais**

Revestimento	Vmax (m/s)
Terra	1,5
Gabião	2,5
Pedra argamassada	3,0
Concreto	4,0

Fonte: DAEE, Guia Prático para Projeto de Pequenas Obras Hidráulicas, 2005

#### Critério do FHWA

O critério usado pelo FHWA é o dimensionamento das pedras com a mesma equação usada em pilares de pontes elaborado por Searcy, 1967 que é usado somente após um DISSIPADOR DE ENERGIA.

$$D_{50} = [0,692 / (S-1)] \times (V^2 / 2g)$$

Sendo:

$D_{50}$  = diâmetro médio da pedra (m)

S = gravidade específica da rocha. Adotamos S=2,65

V = velocidade na saída do dissipador de energia (m/s)

$$D_{50} = [0,692 / (2,65-1)] \times (V^2 / 2g) = 0,021 V^2$$

$$D_{50} = 0,021 V^2$$

Observemos que o valor do diâmetro das pedras é menor que o diâmetro das pedras obtido por Peterka.

### Espessura do colchão de riprap: adotamos $2 \times D_{50}$

#### Exemplo 102.3

Sendo:  $V = 2,47 \text{ m/s}$ . Achar  $D_{50}$  ?

$$D_{50} = 0,021 \times 2,47^2$$

$$D_{50} = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Espessura} = 2 \times D_{50} = 2 \times 0,13 = 0,26 \text{ m}$$

Não há uma regra fixa, mas conforme FHWA, 2006 o comprimento do riprap deve ser proporcional a velocidade de saída do dissipador que é a velocidade admitida máxima no terreno. Se a velocidade que sai do dissipador é menor que a velocidade admitida no solo, não precisa de riprap.

O critério que vamos estabelecer é que o comprimento calculado  $L_a$  deve ser multiplicado pelo fator  $X$ .

Fator  $X = (\text{Velocidade de entrada} - \text{velocidade máxima no terreno}) / \text{Velocidade de entrada}$  sendo no **máximo**  $X=1$ .

Conforme Aukland temos:

$$F = V / (g \cdot y_1)^{0,5} \quad F \leq 2,5$$

$$L_a = D [ 8 + 17 \times \log (F) ]$$

Sendo:

$L_a$  = altura do trapézio (m)

$D$  = diâmetro do tubo (m) sendo  $D \leq 2,5 \text{ m}$ . Considero a altura de água como  $D$ .

$F$  = número de Froude (adimensional).

$$L = K \times L_a \quad K \leq 1$$

#### Exemplo 102.4

Na saída do basin Tipo I do USBR temos:

$$V = 2,47 \text{ m/s} \quad F = 1,4$$

A velocidade admitida máxima no solo de terra conforme DAEE na Tabela (103.2) é  $V = 1,50 \text{ m/s}$  e então conforme FHWA o comprimento do riprap é proporcional a diferença.

$$K = (2,47 - 1,50) / 2,47 = 0,39 \quad (39\%)$$

A altura do trapézio (aventional) é denominada  $L_a$  sendo calculado da seguinte maneira:

$$L_a = D [ 8 + 17 \times \log (F) ]$$

Sendo:

$L_a$  = altura do trapézio (m)

$D$  = diâmetro do tubo (m) sendo  $D \leq 2,5 \text{ m}$

$F$  = número de Froude (adimensional).  $F \leq 2,5$

$$L_a = D [ 8 + 17 \times \log (F) ]$$

$$D = 1,14 \text{ m} \quad F = 1,4 < 2,5 \text{ OK}$$

$$L_a = 1,14 [ 8 + 17 \times \log (1,4) ] = 12,00 \text{ m}$$

Portanto, adotamos como comprimento

$$L = K \times L_a = 0,39 \times 12,00 = 4,7 \text{ m}$$

### **102-5 Bibliografia e livros consultados**

- CHANSON, HUBERT. *The hydraulics of stepped chutes and spillways*. Editora Swets & Zeitlinger, 2002, 384 páginas, ISBN 90 5809 352 2
  
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). *Hydraulics Design of Highway Culverts*, september 2001, Publication FHWA NHI 01-020, U. S. Department of Transportation, 480 p.
  
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). *Hydraulics Design of Energy Dissipators for culverts and channels* july, 2006, Publication FHWA NHI 06-086, U. S. Department of Transportation, 286 p.
  
- KHATSURIA. R.M. *Hydraulics os spillways and energy dissipators*. Editora Marcel Dekker, New York, 2005,649 paginas. ISBN 0-8247-5789-0.
  
- PETERKA, A. J. *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators*. US Department of the Interior. Bureau of Reclamation, edição de 2005 reimpressa. 226 páginas.