

## XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

### **AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DE DISSIPADOR DE ENERGIA DE UM EMISSÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ**

*Victor Augusto Menegon<sup>1</sup>; Paula Cristina de Souza<sup>2</sup>; Paulo Henrique Rodrigues<sup>3</sup> Helton Rogerio Mazzer<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Um correto dimensionamento do sistema de galerias de drenagem urbana tem como efeito direto uma eficiente remoção das águas pluviais de centros urbanos, sem causar danos ou impactos ambientais e com segurança à população. Visando tais informações, o presente trabalho tem como principal objetivo a análise do dimensionamento e das atuais condições de um final de emissário do sistema de galerias de drenagem contribuintes do Rio do Campo no município de Campo Mourão, Paraná, Brasil. A delimitação da bacia e vazão do local foram fornecidas pelo Instituto de Águas Paranaense. O local contava com rochas para dissipação de energia parcial, no entanto, apresentava situação de erosão. Foram analisadas opções de implantação e aplicabilidade de dissipadores de energia, os quais foram calculados conforme metodologia tradicionais e analisadas as viabilidades de cada modelo, verificou que o dissipador por rampa dentada, pode ser uma boa alternativa, no entanto verificou que o dissipador por escada hidráulica seria o mais indicado para o local de estudo.

**ABSTRACT**– A correct sizing of the urban drainage tunnel system has the direct effect of efficiently removing rainwater from urban centers without causing damage or environmental and safety impacts to the population. Aiming at this information, the present work has as main objective the analysis of the design and the current conditions of an end of emissary of the system of contributing drainage galleries of the Rio do Campo in the municipality of Campo Mourão, Paraná, Brazil. The delimitation of the basin and flow of the site were provided by the Águas Paranaense Institute. The site had rocks for partial energy dissipation, however, presented erosion. It was analyzed the options of implantation and applicability of heatsinks, which were calculated according to traditional methodology and analyzed the feasibility of each model, verified that the heatsink can be a good alternative, nevertheless verified that the heatsink by hydraulic ladder would be the most appropriate for the study site.

**Palavras-Chave** – Drenagem urbana, erosão, dissipador de energia.

#### **1. INTRODUÇÃO**

O crescimento urbano das cidades brasileiras tem provocado impactos significativos na população e no meio ambiente. Ocasionalmente o aumento da frequência e do nível das inundações, prejudicando a qualidade da água, e aumento da presença de materiais sólidos no escoamento pluvial. A falta de planejamento, controle do uso do solo, ocupação de áreas de risco e sistemas de drenagem

1) Graduando do curso de Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Via Rosalina Maria Dos Santos, 1233 CEP 87301-899 Caixa Postal: 271 Campo Mourão - PR – Brasil, Telefone Geral +55 (44) 3518-1400. yohanlanuti@gmail.com

2) Professora Doutora do do curso de Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Via Rosalina Maria Dos Santos, 1233 CEP 87301-899 Caixa Postal: 271 Campo Mourão - PR – Brasil, Telefone Geral +55 (44) 3518-1400. paulacsouza@uol.com.br

3) Mestrando de Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá -UEM, Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, CEP 87020-900 - Maringá - PR – BR, Telefone Geral +55 (44) 3011-4778, paulo\_rodrigues21@hotmail.com

4) Professor Doutor do do curso de Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Via Rosalina Maria Dos Santos, 1233 CEP 87301-899 Caixa Postal: 271 Campo Mourão - PR – Brasil, Telefone Geral +55 (44) 3518-1400. hmazzer@gmail.com

inadequados são as causas para esses acontecimentos (Manual de Drenagem Urbana do Paraná, 2002).

Segundo Miguez, Veróz e Rezende (2016), o plano de drenagem urbana consiste na vinculação, de forma simultânea, dos aspectos ligados ao manejo das águas pluviais com o projeto de ordenamento territorial, agregando soluções para os problemas relacionados às águas pluviais.

A falta de um sistema de drenagem urbana ou a má execução e dimensionamento do mesmo, pode ocasionar diversos problemas, afetando o solo de uma região, comprometendo áreas rurais ou urbanas. Dentre os problemas, o Manual de Drenagem Urbana cita, aumento de vazões máximas devido à ampliação da capacidade de escoamento de condutos e canais gerados pela impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos; deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e contaminação de aquíferos; inundações.

Tendo em vista os impactos causados pela precariedade das redes de drenagem, o problema recorrente que será priorizado no estudo é o da erosão. Conceitua-se a erosão como o processo de carreamento dos solos. Os agentes podem ser a água, os ventos ou outros. Em geral, os principais processos erosivos, nos centros urbanos, são causados pelas águas (Tucci, 2015).

Para evitar o problema da erosão causado pela falta ou má dimensionamento de uma rede de distribuição hidráulica, em alguns casos, se faz necessário o dissipador de energia, que tem como objetivo compatibilizar a velocidade do escoamento com as características de resistência do meio físico a jusante (Baptista e Lara, 2010).

O dissipador de energia será escolhido conforme a maneira mais eficiente e barata para a necessidade do local, custo benefício quanto impactos ambientais na região e maximização do escoamento para o local.

O objetivo do estudo é analisar o dimensionamento e as condições de um final de emissário do sistema de galerias de drenagem contribuintes do Rio do Campo no município de Campo Mourão, Paraná, Brasil. Foram analisadas opções de implantação e aplicabilidade de dissipadores de energia, os quais foram calculados conforme metodologia tradicionais e analisadas as viabilidades de cada modelo.

## 2. METODOLOGIA

O local de estudo foi o ponto de lançamento de emissário de água pluvial em Campo Mourão – Paraná, situado a 596 metros de altitude, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 24° 2' 46" Sul, Longitude: 52° 23' 2" Oeste.

O levantamento do emissário analisado se fez através de visitas in loco. Os dados de vazão, delimitação de bacia e diâmetros foram levantados através de análise dos projetos disponibilizados pelo poder público.

Observou no local uma erosão com cerca de 4 à 5 metros de altura. Foi constatada uma aparente tentativa de amenizar o problema posicionando rochas de grande e médio porte na parte superior à tubulação e por cerca de 10 metros contínuos à frente do emissário, porém tal solução não resolveu o problema.

Área de influência e vazão foram fornecidos pelo Instituto Paranaense de Águas. Tendo os valores geométricos, velocidade de escoamento e vazão, foi possível dimensionar experimentalmente os dissipadores de energia.

Foram considerados o dimensionamento de dissipador de energia, selecionados a partir da compatibilidade com o emissário e seus valores de vazão e velocidade de escoamento encontrados. Os quatro dissipadores de energia à serem apresentados são: dissipador por bloco de impacto, de degrau vertical, de escada hidráulica (contínua) e de rampas dentadas.

Para o dimensionamento do dissipador de blocos de impacto, foi utilizado o critério de dissipador tipo Bradley-Peterka, descrito por Baptista (2010). Para o dimensionamento do dissipador de rampa dentada também empregou a metodologia do mesmo autor.

O dimensionamento do dissipador de degrau vertical, definido por Costa, 2007, baseasse-se na definição da variável denominada número de queda, dada pela Equação 1:

$$Dn = \frac{q^2}{gh^3} \quad (1)$$

Onde

Dn: número de queda;

q: vazão por unidade de largura, em m<sup>3</sup>/s.m;

h: altura do degrau, em m.

Sendo as dimensões necessárias para o dissipador em degrau vertical obtidas pelas seguintes expressões, todas em função de Dn.

$$\frac{Ld}{h} = 4,3Dn^{0,27} \quad (2)$$

$$\frac{Yp}{h} = 1,0Dn^{0,22} \quad (3)$$

$$\frac{Y1}{h} = 0,51Dn^{0,425} \quad (4)$$

$$\frac{Y2}{h} = 1,66Dn^{0,27} \quad (5)$$

Onde

Ld: comprimento da queda, em m;

Yp: profundidade da água na parte anterior da queda, em m;

Y1: profundidade da água na parte posterior da queda, em m;

Y2: profundidade conjugada jusante do ressalto, em m.

O comprimento L corresponde ao comprimento do ressalto.

No dimensionamento do dissipador tipo escada hidráulica adotou o modelo descrito por Gonçalves et al, 2005, desenvolvendo vórtices abaixo do pseudo fundo (alinhamento formado pelas extremidades externas dos degraus) que são mantidos pela transmissão da tensão tangencial do fluido escoando pelas extremidades dos degraus. Segundo o autor para a largura da escada hidráulica, utiliza-se a Equação 6:

$$B \geq 2,0 \times D \quad (6)$$

Sendo:

B= largura da escada hidráulica e largura do canal no início da escada (m)

D= diâmetro do tubo (m)

Com os dados de vazão determina-se a área molhada (m<sup>2</sup>) e a velocidade final (m/s), e calcula o número de Froude (F), pela Equação 7 e o comprimento de transição (L) pela Equação 8.

$$F = \frac{V}{(g \cdot D)^{0,5}} \quad (7)$$

$$L = \frac{(3 \cdot F) - (B - D)}{2} \quad (8)$$

Estimativa da altura do degrau (h) e comprimento do degrau (b), primeiramente calculando a profundidade crítica (dc) da água no início da escada hidráulica, pela Equação 9.

$$dc = \left(\frac{q^2}{g.B^2}\right)^{1/3} \quad (9)$$

Verifica-se a condição para o regime de escoamento analisado, se o mesmo será skimming flow. ( $dc/h > 0,91 - 0,14.h/b$ ), caso confirmado, da sequencia ao dimensionamento, calculando a altura da água + ar, através da Equação 10 e da água (d1) pela Equação 11.

$$\tan(\theta) = h/b \quad (10)$$

$$d1 = 0,4 \times h \times F^{0,6} \quad (11)$$

Assim, definindo Altura da parede da escada hidráulica (H1), pela Equação 12.

$$H1 = d1 + Fb \quad (12)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Bloco de Impacto

Temos as dimensões a serem usadas no dissipador de energia por bloco de impacto dadas a partir da vazão e da largura de saída do emissário. A vazão fornecida, considerando os critérios de segurança foi de 3,8m<sup>3</sup>/s. A espessura mínima de concreto da ordem de 0,15m.

A Figura 01 representa a vista em planta do dissipador.

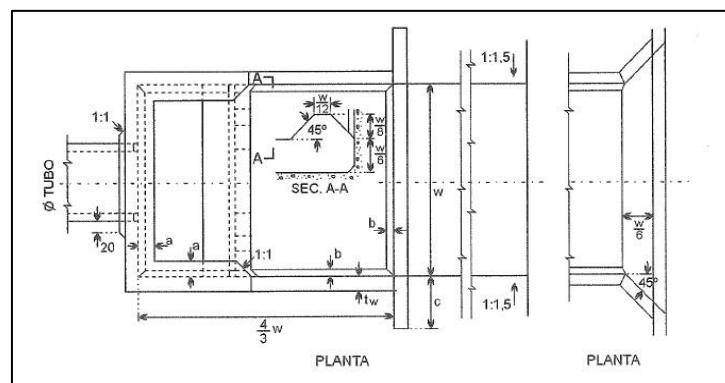


Figura 01 – Dissipador bloco de impacto- Vista em planta.

Fonte: Baptista (2010).

A Figura 02 mostra o dissipador em bloco tipo Bradley-Peterka adaptado por Peterka, onde podemos observar as variáveis estabelecidas.

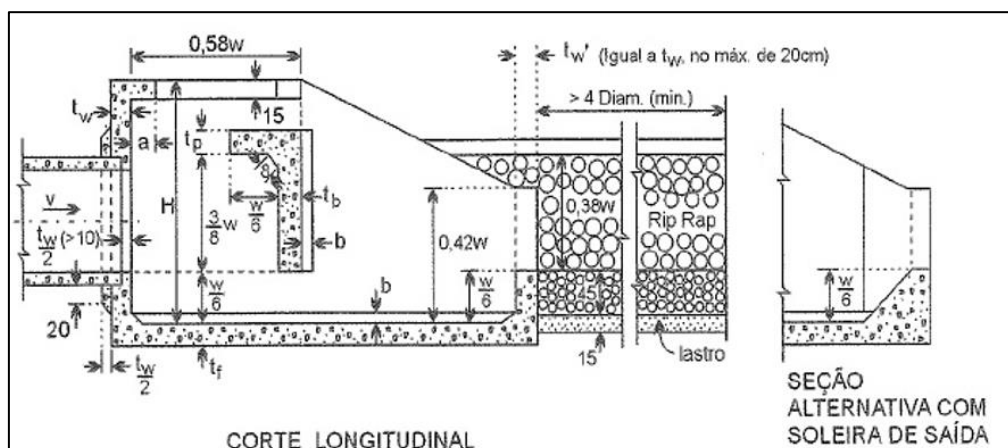


Figura 02 – Dissipador bloco de impacto- Vista em corte.

A partir da vazão definida, o critério de dissipador tipo Bradley-Peterka, descrito por Baptista (2010), faz um dimensionamento das demais variáveis, as quais podem ser observadas no Quadro 01.

Quadro 1 – Dimensões das variáveis.

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Largura (W)		Dimensões (m)						
	Máxima	Mínima	a	b	c	tw	tf	tb	tp
6	3,50	2,90	0,30	0,10	1,00	0,25	0,30	0,25	0,20

Observou que no local, para a utilização do dissipador por bloco de impacto, conforme os dados obtidos, seria necessário um aterramento para sua execução, tornando essa opção pouco satisfatória para o problema levantado.

- Rampas dentadas

O dimensionamento para rampas dentadas foi efetuado a partir da vazão anteriormente estabelecida, determinando uma velocidade de operação obtida através da expressão 13, sendo que a velocidade obtida não deve ser inferior ao valor  $\sqrt[3]{g \cdot q}$ .

$$V \leq \sqrt[3]{g \cdot q} - 1,6 \quad (13)$$

O valor obtido para velocidade foi de 1,776 m/s, mesmo estando nas condições ideais definidas por Baptista (2010), não ultrapassa a condição de risco.

Para a altura do bloco dissipador (H), recomenda a ordem de  $0,8hc$ , onde o valor de  $hc$  se obtém com o auxílio da Equação 14, onde  $q$  é a vazão (m<sup>3</sup>/s) anteriormente estabelecida e  $g$  aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

$$hc = \sqrt[3]{q^2/g} \quad (14)$$

Baptista (2010), define que as larguras e os espaçamentos em uma mesma linha devem situar-se no entorno de 1,5 vezes a altura dos blocos. A distância entre duas fileiras de blocos deve ser duas

vezes a altura. Caso a altura do bloco for menor que 0,90m, o espaçamento pode ser superior a este valor, enquanto não ultrapassar 1,80 m.

Os muros laterais deverão ter uma altura igual a três vezes a altura dos blocos, devendo ser protegidos lateralmente com enrocamentos.

Portanto obteve para as condições estabelecidas um  $h_c$  de 1,1 metros e uma altura do bloco (H) de 0,88 metros, arredondando para 0,90 metros. Todas as dimensões são definidas a partir desse valor.

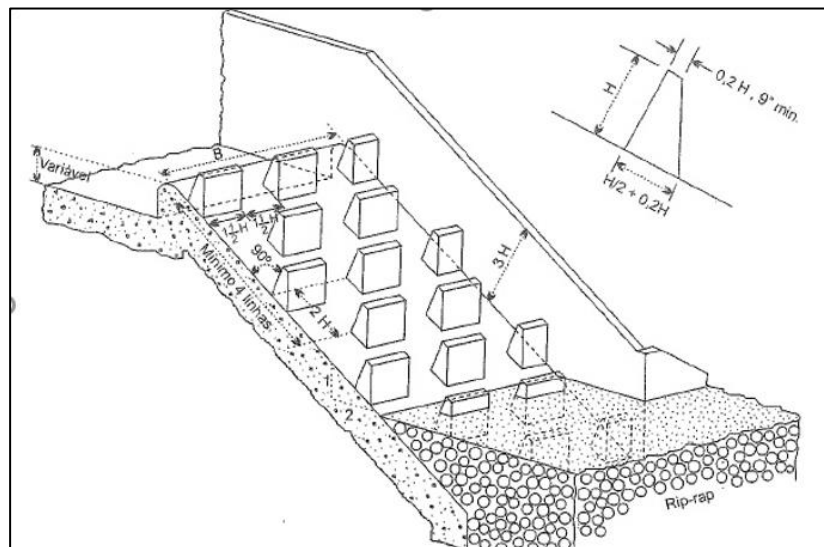


Figura 03 – Rampas dentadas ou calhas dissipadoras.

Fonte: Baptista (2010).

- Degrau vertical

O escoamento no degraú foi definido em função da vazão previamente estabelecida obtendo um número de queda ( $Dn$ ) de 1, com base nestes dados obteve uma largura ( $L$ ) de 3 m. A partir destes dados e com o auxílio das equações 2 a 5, obteve as seguintes variáveis:  $L_d$  de 2,40 metros,  $Y_p$  de 0,62 metros,  $Y_1$  de 0,22 metros e  $Y_2$  de 0,93 metros. A Figura 04, representa a posição das variáveis no dimensionamento do degraú.

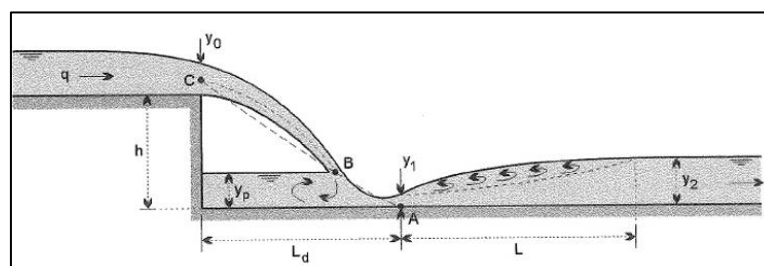


Figura 04– Esquema das condições hidráulicas em um degraú.

O dissipador de energia por degrau vertical por ter altura aproximada de 1,50 metros, necessitaria também de aterro para sua construção. Assim, tem grau baixo de viabilidade para execução.

- Escada hidráulica

Gonçales, et al (2005), afirma que a dissipação da energia causada pelos degraus pode reduzir significativamente o tamanho e o custo da bacia de dissipação necessária na base do vertedouro, comparada com uma calha convencional de concreto (calha lisa).

Portanto, na escada hidráulica temos um regime especial de escoamento denominado skimming flow que é complexo e dependente de inúmeras pesquisas ainda em desenvolvimento.

Temos como informações iniciais:

A escada hidráulica tem ângulo de inclinação variando de 10° a 55°. A altura do degrau é também chamada de espelho do degrau e varia de 0,2m a 0,90m.

Com as informações do emissário fornecida e os dados coletados in loco, temos que a vazão estabelecido no pico ( $q$ ) de 3,2 m<sup>3</sup>/s, o diâmetro da tubulação ( $D$ ) no final do emissário como sendo de 1,00 m, a diferença de nível ( $H$ ) de 3,60 m e o comprimento de declividade em projeção ( $L_d$ ) = 9,00 m.

Calculando a largura da escada hidráulica, como  $D$  de 1,00 metro, obtem-se, o valor de  $B$  de 2,00 metros. Logo teremos um canal de transição com a saída do tubo de diâmetro ( $D$ ) de 1,00 m até a entrada da escada com largura ( $B$ ) de 2,00 m.

A área molhada encontrada foi de 0,79 m<sup>2</sup> e a velocidade obtida foi de 4,08 m/s. com esses dados encontrou-se o número de Froude de 1,30, segundo o autor esse número geralmente varia entre 1 e 2,5, ou seja, esta dentro do recomendado. Com o Número de Froude determinou-se o comprimento de transição de aproximadamente 2,00 metros e a altura do degrau ( $h$ ) para as condições de escoamento analisadas entre 0,20 metros e 0,64 metros, adotando um valor intermediário de 0,30 metros e por consequência um número de 12 degraus com comprimento do degrau ( $b$ ) de 0,75 metros e a profundidade crítica ( $dc$ ) da água no início da escada hidráulica de 0,64 metros.

Verificação de que o regime de escoamento é skimming Flow, pois  $dc/h > 0,91 - 0,14.h/b$

Altura da água + ar encontrado foi de 0,40, dando um ângulo em graus de 22,92° e número de Froude ( $F$ ) de 4,984.

Altura da parede da escada hidráulica ( $H_1$ ), foi de 0,75 metros.

Assim, temos todas as dimensões necessárias para a execução de um dissipador de energia em escada hidráulica pelo método de Gonçales, et al (2005).



A obra hidráulica de dissipador por escada é a mais comum e utilizada, sendo de maior acessibilidade por mão-de-obra e posicionamento no local analisado, devido a declividade observada e a facilidade de execução.

#### 4. CONCLUSÃO

Tendo como base o referencial teórico, as visitas in loco e auxílio do Instituto Paranaense de Águas, o presente avaliou a partir dos dados fornecidos de vazão, a velocidade de escoamento e o dimensionamento de dissipadores de energia para um emissário do município de Campo Mourão, Paraná.

O emissário foi identificado e foi atestado que seria necessário a utilização de um dissipador de energia, por contar com uma erosão de grande porte no local escolhido. A erosão no local de escoamento do emissário tinha grandes proporções, se fazendo necessário um dissipador de energia. O local já contava com rochas para dissipação de energia parcial, sem a eficiência necessária.

Com o dimensionamento dos principais tipos de dissipador de energia, tem-se que o dissipador com bloco de impacto seria necessário um aterramento para sua execução, tornando essa opção pouco satisfatória para o problema levantado, assim como o dissipador de energia por degrau vertical, por apresentar altura aproximada de 1,50 metros, necessitaria também de aterro para sua construção. Assim, tem grau baixo de viabilidade para execução.

O dissipador por rampa dentada pode ser uma boa alternativa, no entanto o dissipador por escada hidráulica é o mais indicado por ser muito utilizado na região, sendo de maior acessibilidade por mão-de-obra e posicionamento no local analisado, devido a declividade observada e a facilidade de execução.

#### 5. REFERÊNCIAS

Miguez, Marcelo Gomes; Veról, Aline Pires; Rezende, Osvaldo Moura (2016). *Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. 1ª Ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Elsevier.

Tucci, Carlos E. M.; Porto, Rubem Laina; Bastos, Mário T. (2015). *Drenagem Urbana*. 1ª Ed, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

Baptista, Márcio Benedito; Coelho, Márcia Maria Lara Pinto (2010). *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. 3ª Ed, Belo Horizonte, Minas Gerais, UFMG.

COSTA, Alfredo Ribeiro; SIQUEIRA, Eduardo Queija; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins. (2007). *Águas Pluviais*. Brasília, DF: Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. 2007.

Gonzalez, C.A., Takahashi, M., and Chanson, H. (2005). *Effects of Step Roughness in Skimming Flows: an Experimental Study*. Research Report No. CE160, Dept. of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia, July, 149 pages