

IX-019 - DESEMPENHO HIDRÁULICO DE DISSIPADORES CONTÍNUOS EM DEGRAUS E SUA RELAÇÃO COM O RESSALTO HIDRÁULICO: ESTUDO DE CASO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHO EXPERIMENTAL

Marcos Rocha Vianna⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Professor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC.

Maria da Glória Braz

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da UFMG. Professor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC.

Evelize Ferreira da Silva

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. Bolsista de Iniciação Científica e estagiária da empresa Engesolo Engenharia Ltda.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cobre, 200 - Cruzeiro - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.310-190- Brasil - Tel: (31) 3228-3000- e-mail: mrvianna@fumec.br

RESUMO

O trabalho reporta e discute um caso típico de dissipador de energia do tipo de escada, projetado pelos autores para o sistema de drenagem pluvial de uma área ferroviária em Minas Gerais. O dissipador adaptou-se perfeitamente à topografia do terreno em que seria implantado. Entretanto, os critérios adotados na elaboração do projeto são tecnicamente questionáveis, conforme discussão apresentada adiante. O trabalho conclui pela necessidade de estudos de laboratório que validem, ou não, os critérios adotados.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem de águas pluviais, dissipadores contínuos em degraus, comprimento do ressalto hidráulico.

INTRODUÇÃO

Em sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais, os dissipadores de energia por descidas d'água em degraus são utilizados para conduzir, para fora do corpo da via, a vazão proveniente da pista ou dos cortes (de altura superior a três metros), objetivando reduzir ou eliminar o efeito erosivo das águas pluviais (SUDECAP, 2008). Uma das características associadas a essas estruturas, além do caráter de dissipação, refere-se à mudança de seções de escoamento (Figura 1).

Verifica-se, na prática, que o projeto dessas estruturas muitas vezes não é realizado de acordo com as especificações exigidas e suas dimensões não são capazes de comportar a ocorrência do ressalto. Assim sendo, na maioria dos casos ele se manifesta sobre as quedas de amortecimento (degraus) sem a devida normalização do fluxo a jusante e, portanto, sem sua correta inserção no sistema de escadas. Isto reduz a eficiência do processo de dissipação, podendo ocasionar impactos adversos.

O RESSALTO HIDRÁULICO

Este fenômeno corresponde a uma brusca elevação do nível d'água num canal funcionando em regime permanente (BAPTISTA, LARA, 2006). Ele ocorre quando há uma descontinuidade dos fluxos, em que há uma transição do regime de escoamento supercrítico (rápido, turbulento) para o subcrítico (lento, fluvial), com grandes turbulências e dissipação de energia. Alguns autores ainda o definem como uma transição entre dois estados energéticos, acompanhada de forte dissipação de energia.

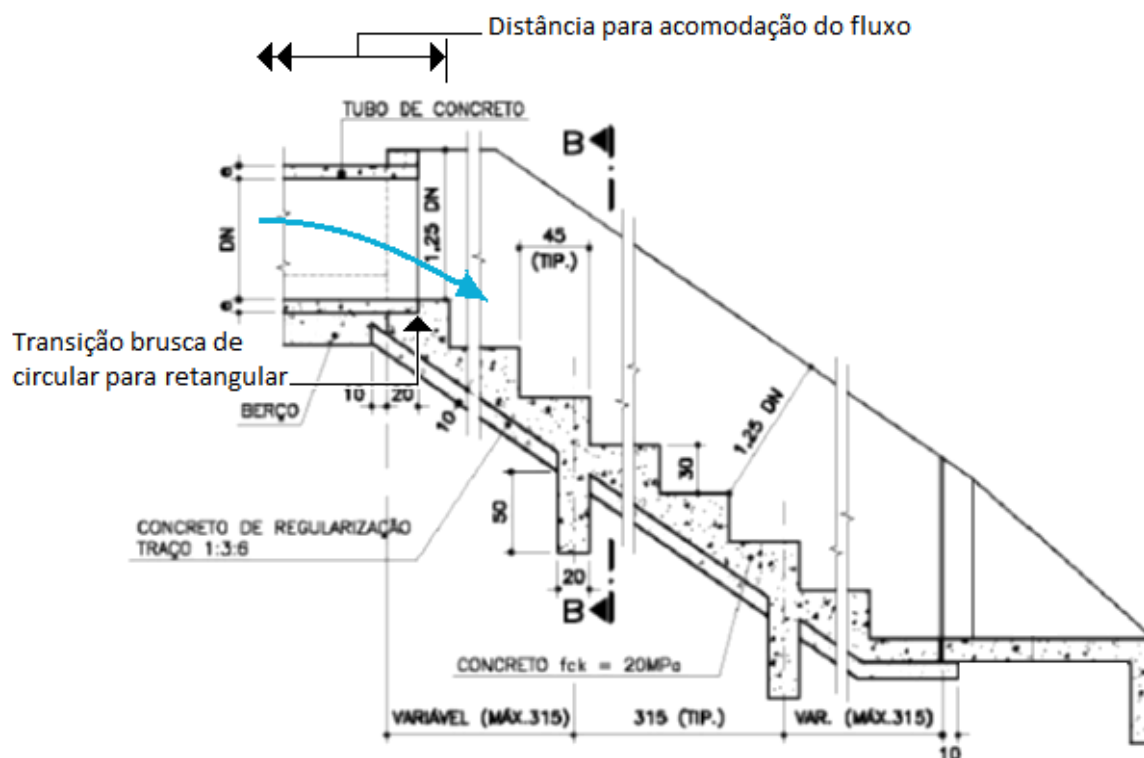


Figura 1 – Descida d'água tipo degrau: corte longitudinal segundo especificações da SUDECAP.

Fonte: Caderno de Encargos da SUDECAP, 2008.

A estrutura interna do ressalto hidráulico pode ser obtida através do número de Froude (Equação 1) e da determinação da altura a montante, y_1 , e a altura a jusante, y_2 , também denominadas de alturas conjugadas. Para que ocorra o ressalto deve-se ter $Fr > 1$ no trecho de montante, o que caracteriza o regime supercrítico de escoamento, e $Fr < 1$ no trecho de jusante, o que caracteriza o regime subcrítico de escoamento. Ocorrerá, em consequência, $y_2 > y_1$.

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gy_h}} \quad (1)$$

Na equação anterior tem-se:

Fr = número de Froude (adimensional);

U = velocidade média do escoamento na seção considerada (m/s);

y_h = profundidade hidráulica.

O ressalto hidráulico é classificado em função do número de Froude a montante (Fr_1). Essa classificação, segundo o *U.S. Bureau of Reclamation*, é apresentada na Figura 2.

COMPRIMENTO DO RESSALTO

Segundo a literatura, uma das dificuldades encontradas está no dimensionamento do comprimento do ressalto, não havendo, portanto, um consenso sobre a determinação do ponto referente ao término das influências provocadas por ele. Em função da complexidade do fenômeno, o comprimento do ressalto hidráulico não pode ser definido através de expressões teóricas, fazendo-se necessário o desenvolvimento de estudos laboratoriais para a obtenção de elementos que permitam o seu dimensionamento (BAPTISTA; LARA, 2006).

Diversos estudiosos como Peterka (1957), Beebe e Riegel (1917) e Elevatorski (1959) *apud* Gomes (2008), dentre muitos outros, desenvolveram formulações para a estimativa do comprimento do ressalto hidráulico. A expressão desenvolvida por Elevatorski (Equação 2) é considerada pela literatura a mais comumente utilizada no meio técnico.

$$Lr \cong 6,9(y_2 - y_1) \quad (2)$$

Chow (1959) apresentou a primeira relação entre o comprimento do rolo (Lr), ver Figura 3.

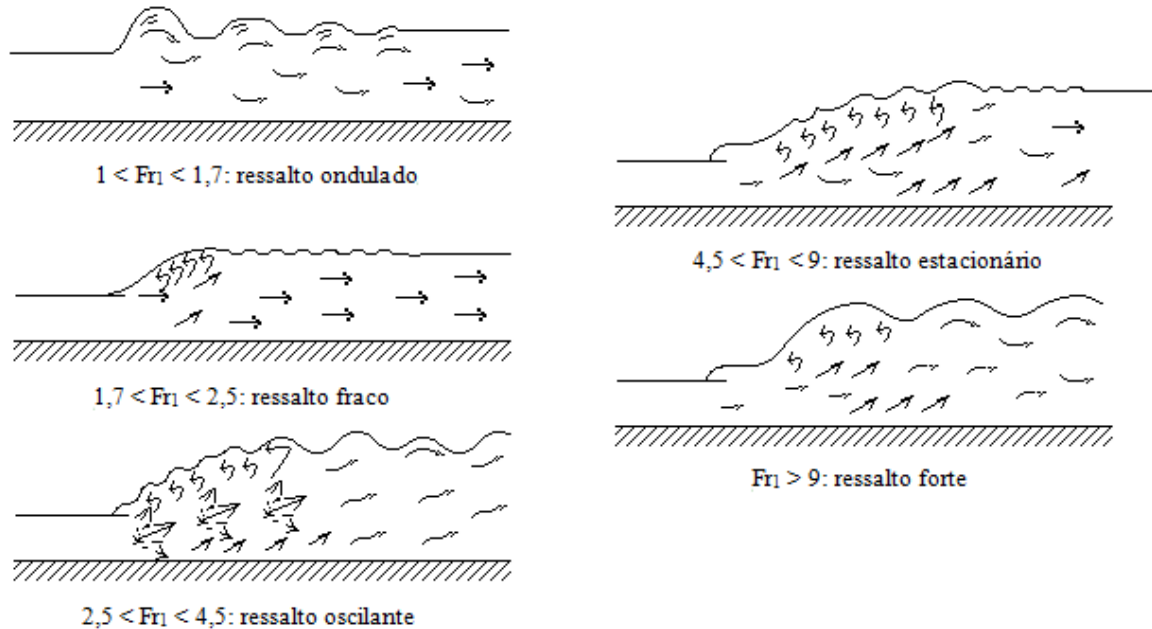


Figura 2 - Tipos de ressalto hidráulico e respectivos intervalos quanto ao número de Froude.

Fonte: Chow, 1959.

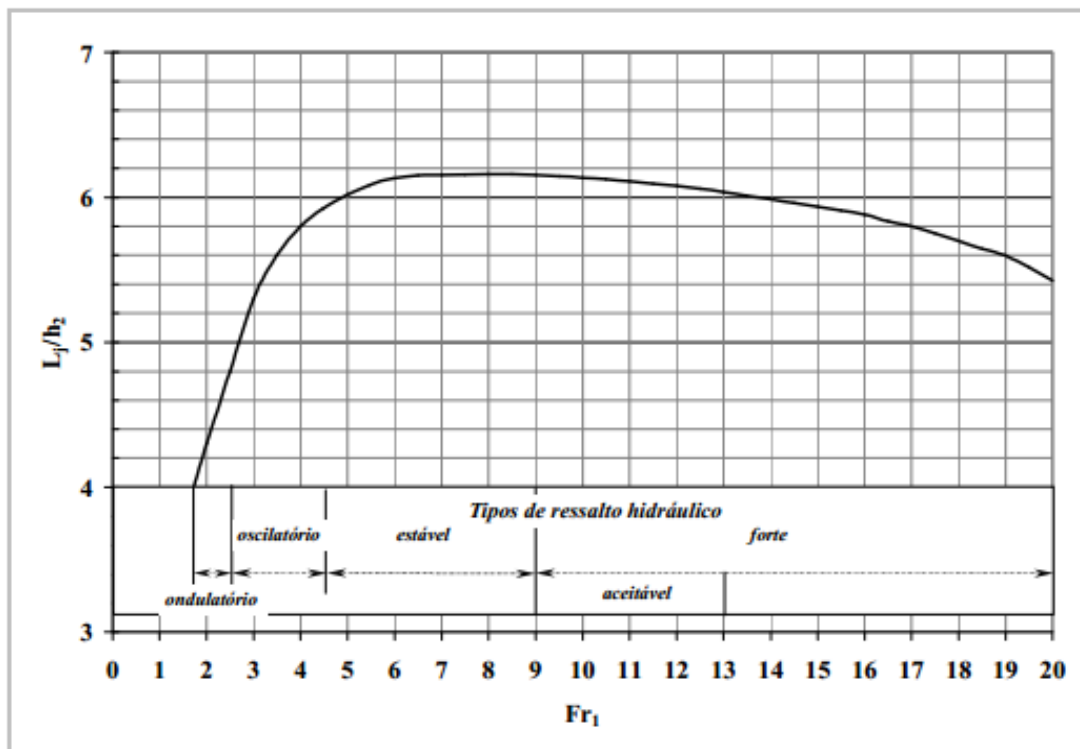


Figura 3 - Comprimento do ressalto para diversos números de Froude.

Fonte: Adaptado de Chow (1959), apud Gomes, 2000.

Silvestre (1982) apresenta quatro expressões destinadas a esse fim, transcritas a seguir.

- Safranets: $L_r = 5,2 y_2$ (3)
- Smetana: $L_r = 6,02 (y_2 - y_1)$ (4)
- Douma: $L_r = 3 y_2$ (5)
- USBR: $L_r = 6,9 (y_2 - y_1)$ (6)

ESTUDO DE CASO

Os autores projetaram um dissipador contínuo em degraus para o sistema de drenagem de águas pluviais de uma área ferroviária. A planta e a seção desse dissipador são apresentadas na Figura 4.

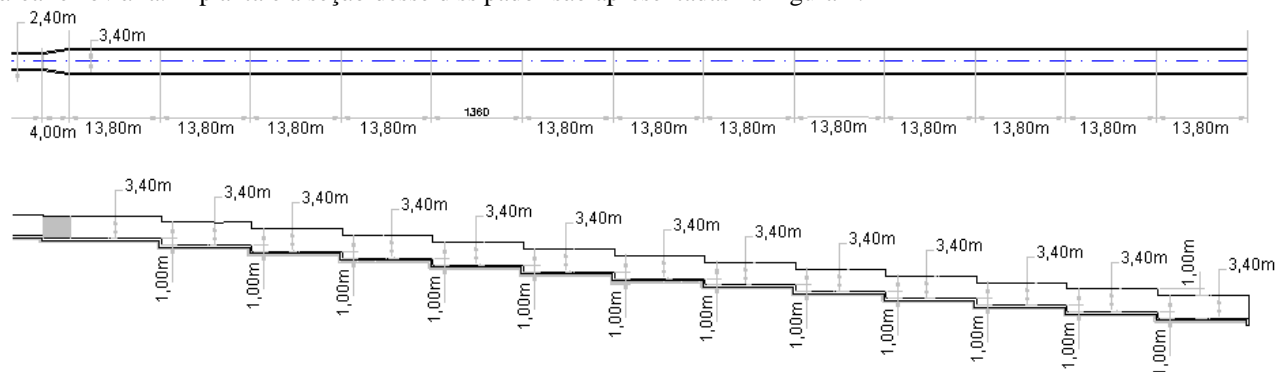


Figura 4 - Dissipador: planta e seção

Os cálculos hidráulicos foram elaborados para as vazões de 40,4 e 52 m³/s. Eles pressupõem a formação de um ressalto hidráulico em cada um de seus degraus ao longo de todo o escoamento. O resumo deles, para cada vazão de cálculo, é apresentado a seguir.

Extensão de cada degrau (m): 13,80
 Altura do degrau (m): 1,00
 Largura de cada degrau (m): 3,40

a) cálculo para a vazão de 40,4 m³/s:

- Profundidade crítica (m): 2,43
- Velocidade crítica (m/s): 4,89
- Extensão para início do ressalto (m): 4,09
- Extensão do ressalto (Douma): 7,29
- Extensão mínima (m): 11,38
- Extensão adotada (m): 13,60

b) cálculo para a vazão máxima de 52 m³/s:

- Profundidade crítica (m): 2,88
- Velocidade crítica (m/s): 5,31
- Extensão para início do ressalto (m): 4,73
- Extensão do ressalto (Douma): 8,64
- Extensão mínima (m): 13,37
- Extensão adotada (m): 13,60

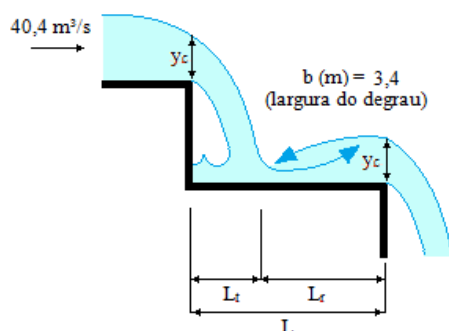
DISCUSSÃO

De modo sucinto, observa-se que o dissipador projetado foi concebido do modo desejável, do ponto de vista hidráulico e à luz da metodologia adotada em casos semelhantes. Há um trecho inicial entre a seção do canal e o início do dissipador, capaz de admitir a acomodação do fluxo, e uma relação (altura x extensão do degrau) adequada à formação do ressalto antes do término de cada um deles.

A citada relação (altura x extensão do degrau) raramente é observada nos projetos padronizados de dissipadores do tipo de escada em sistemas urbanos de águas pluviais, especialmente no que diz respeito à desejável acomodação do fluxo entre a saída da galeria de seção circular e do dissipador propriamente dito, ver figura 1.

Entretanto, a extensão adotada para o ressalto é questionável, quando examinada à luz das equações 3, 4 5 e 6 anteriores. As Tabelas 1 e 2 apresentam e comparam para as vazões de projeto, os valores fornecidos a partir da adoção de cada uma delas.

Tabela 1: grandezas geométricas aplicáveis ao dissipador concebido pelos autores, segundo Douma, Safranes, Smetana e USBR, para a vazão de 40,4 m³/s.



Autor	y_c (m) ¹	U_c (m/s)	L_t (m)	L_r (m)	$L = L_t + L_r$ (m) ²
Douma: $L_r = 3y_2$	2,433	4,883	4,088	7,300	11,387
Safranes: $L_r = 5,2 y_2$	2,433	4,883	4,088	12,653	16,741
Smetana ³ : $L_r = 6,02 (y_2 - y_1)$	2,433	4,883	4,088	7,324	11,412
USBR ³ : $L_r = 6,9 (y_2 - y_1)$	2,433	4,883	4,088	8,395	12,482

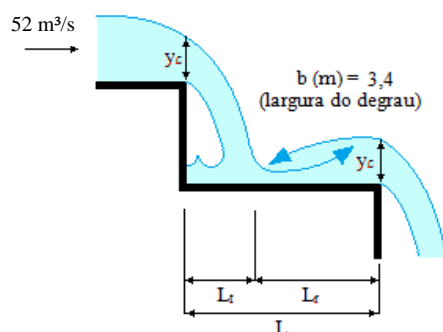
Notas:

1 No projeto, adotou-se $y_2 = y_c$.

2 Valor adotado no projeto: $L = 13,80\text{m}$

3 Valor de y_1 calculado: 1,217 (altura conjugada)

Tabela 2: grandezas geométricas aplicáveis ao dissipador concebido pelos autores, segundo Douma, Safranets, Smetana e USBR, para a vazão de 52 m³/s.



Autor	y_c (m) ¹	U_c (m/s)	L_t (m)	L_r (m)	$L = L_t + L_r$ (m) ²
Douma: $L_r = 3y_2$	2,879	5,312	4,726	8,638	13,364
Safranets: $L_r = 5,2 y_2$	2,879	5,312	4,726	14,972	19,698
Smetana ³ : $L_r = 6,02 (y_2 - y_1)$	2,879	5,312	4,726	8,666	13,393
USBR ³ : $L_r = 6,9 (y_2 - y_1)$	2,879	5,312	4,726	9,933	14,660

Notas:

1 No projeto, adotou-se $y_2 = y_c$.

2 Valor adotado no projeto: $L = 13,80\text{m}$

3 Valor de y_1 calculado: 1,440 (altura conjugada)

A partir dessas tabelas, observa-se que a extensão adotada para o degrau do dissipador atende ao que se obtém através das fórmulas de Douma e Smetana. Entretanto, ele é pouco inferior ao que recomenda a fórmula do USBR e muito inferior ao que seria necessário quando se utiliza a fórmula de Safranets.

RECOMENDAÇÕES

Face ao exposto, é recomendável, portanto, estabelecer, através da realização de estudos experimentais em laboratório, através de protótipos que simulem as condições hidráulicas entre a saída do canal circular e entrada do canal retangular.

Estudos deste tipo serão iniciados no Laboratório de Hidráulica da Universidade. Para sua realização, serão implantados dissipadores em escala reduzida, capazes de simular as condições hidráulicas que ocorrem nas unidades padronizadas pelos órgãos municipais responsáveis pelos sistemas municipais de águas pluviais. Os ensaios laboratoriais adotarão a técnica de visualização através da captura de imagens fotográficas, com determinada frequência, que permitirá identificar o comportamento do fluxo hidráulico em cada simulação. Conhecidas as características dos condutos circulares parcialmente cheios, será possível definir em cada experimento as vazões máximas recomendáveis para cada diâmetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, Márcio; LARA, Márcia. Fundamentos de engenharia hidráulica. Editora UFMG, 2ª ed. Belo Horizonte, 2006.
- CHOW, V.T.. Open-channel hydraulics. McGraw - Hill Book Company, International Editions. 1959.
- GOMES, Jaime Federici. Visualização de escoamento macroturbulento – ressalto hidráulico a jusante de uma comporta. [Dissertação] Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- SILVESTRE, Paschoal. Hidráulica geral. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1982.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL SUDECAP. Cadernos de encargos da SUDECAP. Diretoria de Planejamento e Gestão – 3ª ed. v1, v2. Belo Horizonte. SUDECAP, 2008.