



Determinação do coeficiente de descarga para vertedores: estudo em laboratório

Determination of the discharge coefficient for spillways: laboratory study

Larissa Ayumi Namie¹,
Pedro Henrique Donato Aporta²,
Andrea Sartori Jabur³

RESUMO

Vertedores são paredes ou aberturas, onde um fluido escoar sobre as mesmas e são utilizados intensamente para medir e/ou controlar a vazão em escoamento de um canal hidráulico, como as barragens. O presente trabalho teve como objetivo comparar quais são os coeficientes de descarga encontrados literatura teórica com os medidos na prática, em um canal hidráulico reduzido. Para o levantamento de dados fez-se necessário realizar medições em laboratório de Transferência de Calor e Massa/Hidráulica, da UTFPR – Campus Apucarana-PR, com vertedores de forma retangular e triangular de parede delgada, onde apresentam uma espessura mais fina em relação ao seu comprimento, colocados perpendicularmente ao fluxo do escoamento. Formando assim, uma elevação do nível d'água a montante até o fluido desaguar sobre os vertedores. Diante disso, foram realizadas medições no canal hidráulica, encontrando uma sutil diferença entre o valor encontrado na prática com existente na literatura. Comprovando-se as formulações de Thomson e Francis, para o vertedor triangular e retangular, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: coeficiente de descarga; hidráulica; vertedor.

ABSTRACT

Spillways are walls or openings, where a fluid flows over them and are used intensively to measure and/or control the flow in flow of a hydraulic channel, such as dams. The present study aimed to compare what are the discharge coefficients found in the theoretical literature with those measured in practice, in a reduced hydraulic channel. For data collection it was necessary to perform measurements in the laboratory of Heat Transfer and Mass/Hydraulics, from UTFPR- Campus Apucarana-PR, with spillways of rectangular and triangular shape of thin wall, where they present a thinner thickness in relation to their length, placed perpendicular to the flow of the flow. Thus forming an elevation of the water level upstream until the fluid flows over the spillways. Therefore, seis measurements were made in the hydrodynamic channel, finding a subtle difference between the value found in practice and existing in the literature. Proving the formulations of Thomson and Francis, for the triangular and rectangular spillway, respectively.

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: larissanamie@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5053711813302027.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: pedrohaporta@hotmail.com. ID Lattes: 0283243900801099.

³ Docente no Curso de Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: jabur@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0460678668447420.



KEYWORDS: discharge coefficient; hydraulics; Spillway.

INTRODUÇÃO

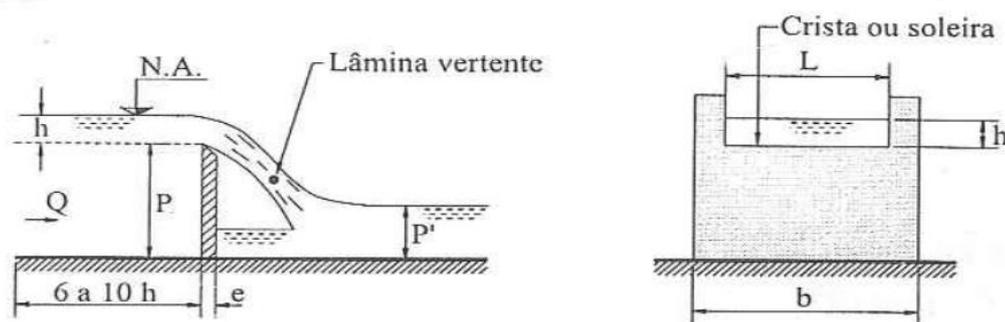
Vertedores são estruturas hidráulicas utilizadas para controlar a vazão de condutos livres. São importantes em obras como barragens, pois permitem que haja um controle do nível de água no reservatório à montante, e realize a retirada das vazões máximas, em conjunto com o canal extravasor (DANTAS e SILVA, 2016).

De acordo com Azevedo Netto (1998), o estudo de vertedores é de grande importância devido ao uso intenso na medição de vazão de pequenos cursos de água e condutos livres, utilizados em estações de tratamento de água (ETAs), assim como no controle de escoamento em galerias e canais. O presente trabalho tem como objetivo determinar os coeficientes de descargas de vertedores, em laboratório, e avaliar os valores obtidos com os valores teóricos, adotados nos dimensionamento das estruturas.

Conforme a figura 1, as principais partes que compõem um vertedor de acordo com Porto (2006) são:

- Crista ou soleira é a parte superior da parede, onde a lâmina de água verte.
- Carga sobre a soleira h é a diferença de cota entre o nível de água a montante e o nível da soleira.
- Altura do vertedor P é a diferença entre a soleira e o fundo do canal.
- Largura ou luz da soleira L é a dimensão da soleira onde há presença de escoamento.

Figura 1 - Vistas lateral e longitudinal de um vertedor de parede delgada.



Fonte: Porto (2006)

Os vertedores podem apresentar diversas formas e disposições, assumindo assim, diferentes comportamentos, existindo então muitos fatores que servem como parâmetro para classificá-los, sendo eles listados a seguir, segundo Azevedo Netto (1998).

- Forma geométrica, podendo ser simples (retangulares, trapezoidais, triangulares, etc.) ou compostos (seções combinadas).

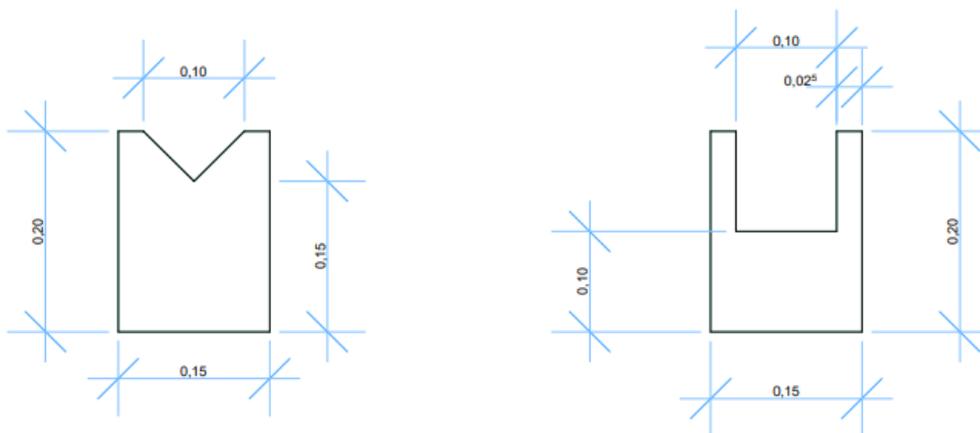


- b) Altura relativa da soleira, onde são classificados como vertedores completos/livres ($P > P'$) ou vertedores incompletos/afogados ($P < P'$).
- c) Natureza da parede, sendo de parede delgada, quando apresenta a espessura e da parede bem mais fina e um comprimento mais elevado em comparação ao vertedor tipo parede espessa ($e > 0,66h$).
- d) Largura relativa, onde podem ser sem contrações laterais ($L = b$) ou vertedores contraídos ($L < b$), com uma ou duas contrações.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de Hidráulica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana, e visa analisar as correlações entre a carga hidráulica a montante e a respectiva vazão sobre um vertedor de parede delgada, com contrações, na geometria retangular e triangular, como mostra a Figura 2, assim como as dimensões apresentadas em metros. Analisando, assim, os coeficientes de descarga com experimentos práticos em modelos reduzidos para comparar com os modelos presentes na literatura técnica.

Figura 2 – Vertedor triangular e retangular



Fonte: Elaborado por autores (2023)

No entanto, o vertedor triangular utilizado, funciona como afogado, pois a água verte sobre ele, onde não há presença de contrações laterais, atuando assim, como um vertedor misto triangular com vertedor retangular sem contração.

Para a realização deste experimento foi utilizado um canal hidráulico, composto de um conjunto motor-bomba, de 0,5 cv, onde fornece água de um reservatório (300 L) para o canal aberto com paredes em acrílico transparente (Figura 3). Deste modo, o sistema possibilita, a instalação dos respectivos vertedores, feitos do mesmo material.

Figura 3 – Canal hidráulico



Fonte: Elaborado por autores (2023)

Para a determinação do coeficiente de descarga foram utilizadas Eq. (1) e (2), derivadas das formulações de Francis e Thomson para o cálculo de vazão de vertedores retangulares com 2 contrações (Eq. 1) e vertedores triangulares (Eq. 2), respectivamente. No entanto, essas são equações simplificadoras, onde desprezam diversas hipóteses como efeito da viscosidade, tensão superficial, rugosidade da parede do vertedor e entre outras. Assim, para não negligenciar as mesmas, introduz-se o coeficiente de descarga “ C_d ”.

$$C_d = \frac{3 * Q}{2 * \sqrt{2g} * (L - 0,2H) * H^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

$$C_d = \frac{15 * Q}{8 * \sqrt{2g} * tg\left(\frac{\theta}{2}\right) * H^{\frac{5}{2}}} \quad (2)$$

Sendo:

C_d – Coeficiente de descarga

Q – Vazão (m³/s)

g – Gravidade (m/s²)

L – Comprimento da soleira (m)

H – Altura da lamina d’água (m)

θ – Ângulo de 90°

Para a leitura dos níveis de água a montante dos vertedores, utilizou-se a distância de 10h, sendo h a altura da lâmina d’água na entrada dos vertedores. A medida foi obtida com uma régua graduada em centímetros. Para os dados iniciais, manteve-se a inclinação mínima de 0,05%, de modo a manter o escoamento uniforme. A vazão do equipamento manteve-se constante, e foi determinada pelo método do flutuador (esferas de polietileno) calibrados.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

No laboratório, foram feitas seis medidas com cada tipo de vertedor, calculando assim a vazão e em seguida o coeficiente de descarga (Quadro 1). A vazão manteve-se a média de 1,778L/s.

Em decorrência dos cálculos realizados, é evidente a presença de uma discrepância mínima entre o valor do coeficiente teórico e o valor do coeficiente de cálculo, resultando, na prática, em valores virtualmente idênticos tanto para os parâmetros teóricos quanto para aqueles derivados dos cálculos encontrados.

Quadro 1 – Comparação dos coeficientes.

Vertedor com duas contrações		
Cd Teórico	Cd calculado	%
0,623	0,622425339	0,09%

Vertedor triangular e retangular sem contração		
Cd Teórico	Cd calculado	%
1,216	1,215050118	0,08%

Vertedor triangular		
Cd Teórico	Cd calculado	%
0,593	0,592624779	0,06%

Fonte: Elaborado por autores (2023)

CONCLUSÃO

No presente estudo, os resultados obtidos revelaram que os coeficientes identificados na investigação são altamente semelhantes aos valores dos coeficientes teóricos. Os resultados demonstram a acurácia do método empregado, onde os valores obtidos experimentalmente possibilitaram a determinação precisa dos coeficientes por meio de cálculos meticulosos.

Os vertedores desempenham uma função de primordial importância na regulação e quantificação do fluxo hídrico em canais fluviais e reservatórios. A compreensão aprofundada do funcionamento destes dispositivos é de suma importância para a dimensionamento adequado de estruturas hidráulicas, a mitigação de eventos de inundação e a otimização da captação de água para uma ampla gama de usos.

A segunda etapa da pesquisa, é a determinação dos coeficientes com inclinações variadas, uma vez que a linha piezométrica não irá coincidir com a linha de fundo do canal, podendo gerar valores diferentes. Foram dimensionados para o canal de hidráulica mais três vertedores, com os modelos: circular, retangular sem contrações e um triangular, que foram construídos em impressoras 3D.



FINANCIAMENTO

Não há financiamento.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo-SP. Editora Edgard Blücher. 1998.

DANTAS, J. B.; SILVA, D. F. Vertedores e sua relevância nas usinas hidrelétricas. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 3, p. 241-250, Novembro, 2016. Disponível em <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/3623/2054>>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4 ed. São Carlos-SP. Editora Rima. 2006