

MODELAGEM PARA A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO EM CANAIS ABERTOS

Romulo Ruiz Gasparini¹ & Andrea Sartori Jabur Correio²

1-SANEPAR Unidade de Serviço de Projetos e Obras de Curitiba e Região Metropolitana; 2-UTFPR Campus Pato Branco - Coordenação em Edificações - Área de Hidráulica, Hidrologia e Saneamento

Resumo - Este trabalho tem por objetivo apresentar uma formulação para se determinar a vazão, considerando apenas um canal aberto, no módulo didático do laboratório de hidráulica da UEM, Campus Umuarama. Para a determinação desta formulação, utilizou-se de uma placa de orifício, localizada na parte de conduto forçado deste módulo, para a determinação da vazão no sistema; utilizou-se de uma bolinha de isopor, para a determinação da velocidade superficial da água que escoava no canal aberto e utilizou-se de um limnógrafo, para a determinação da altura do nível de água no canal. Através de várias medições destes dados citados, aplicou-se uma técnica denominada de identificação de parâmetros, para que, a partir da velocidade superficial, medida pelo deslocamento da bolinha de isopor e a área da seção, encontra-se o valor da vazão no canal. Este parâmetro encontrado pode ser aplicado a outros canais abertos utilizados para fins didáticos, sendo necessário apenas se medir a velocidade superficial da água que escoava sobre o canal.

Palavras-Chave: determinação da vazão, equação de Bernoulli, canais abertos.

WATERFLOW DETERMINATION IN OPEN CHANNEL

Abstract- This paper has for objective to show a formularization to water flow determination, in open channel, in the didactic module of the UEM hydraulically lab. For formularization development, it was used a orifice plate, located in the part of conduit forced of this module, for water flow determination in the system; it was used of a small ball, for superficial speed water determination in the open channel and was used of a limnógrafo, for water level height determination in the channel. Through the many measurements of these cited data, applied one called technique of parameters identification, so that, from the superficial speed, measured for the displacement of the small ball and the section area, meets the value of the water flow in the channel. This parameter can be applied to other channels, being necessary only to measure the superficial speed water on the channel.

KeyWord: Water flow determination, Bernoulli equation, open channel.

ATENÇÃO: O presente trabalho apresenta dificuldade de leitura e interpretação, pois os autores intercalaram símbolos e fórmulas matemáticas no corpo do texto, entretanto, por sua relevância, um esforço foi realizado para transmitir a maior parte do contexto. Entre em contato com o autor para uma cópia integral não oficial do trabalho (nota do Editor).

1. INTRODUÇÃO

A determinação da vazão através de um canal aberto não é um problema recente, sendo que no século XVI, Leonardo da Vinci já observava que a quantidade de água por unidade de tempo que escoava em um rio era a mesma em qualquer parte, independente de largura e da profundidade. Com a evolução deste ramo da hidráulica, atualmente existem várias técnicas e aparelhos para se medir a vazão, tanto em condutos fechados quanto em canais abertos. Apesar desta situação, alguns equipamentos hidráulicos possuem poucos recursos para se medir a vazão. É o caso do módulo didático de hidráulica da Universidade Estadual de Maringá, Campus Umuarama.

O módulo didático de hidráulica, do Campus de

Umuarama, consiste em um circuito fechado sendo que na sua parte inferior é formado por uma tubulação em PVC e na sua parte superior é formado por um canal aberto em material transparente. A circulação da água, por esse circuito, é feita através de um conjunto motor-bomba. O módulo didático pode ser visualizado na figura (1).

Para se determinar a vazão de água através deste módulo, existe apenas um método, que é a placa de orifício. Para ensaios onde se considere apenas o canal aberto, não existe uma maneira para se determinar o valor da vazão de forma adequada, sendo necessário a utilização desta placa de orifício, que é destinada a ensaios de condutos forçados.

Este presente trabalho tem por objetivo, apresentar uma formulação para se calcular a vazão, considerando apenas a situação de um canal aberto, através da componente da

velocidade superficial do deslocamento de água, sendo que para o desenvolvimento desta formulação foi necessária a utilização da placa de orifício, como referencial. O desenvolvimento desta formulação foi realizado a partir de medições realizadas neste módulo, sendo que com essas medições, aplicou-se a técnica de identificação de parâmetros, para que a partir da velocidade superficial do deslocamento de água no canal aberto, determine a vazão no canal.



Figura 1: Módulo Didático de Hidráulica do Campus de Umuarama

2 METODOLOGIA UTILIZADA

Para o desenvolvimento da formulação através de identificação de parâmetros, utilizaram-se os seguintes equipamentos ou técnicas que são discutidos separadamente, conforme a seguir:

2.1 Determinação da Vazão Através da Placa de Orifício

A placa de orifício é uma placa fina que pode ser interposta entre flanges de tubos, sendo que a sua instalação é transversal a tubulação. Com a instalação desta placa fina, a seção sofre um estrangulamento.



Figura 2: Placa de Orifício

Os pontos para tomada de pressão são conectados a montante e a jusante desta placa fina, sendo que a pressão a montante é maior que a pressão a jusante, devido ao estrangulamento. Utilizando um manômetro para se medir esse gradiente de pressão, determina-se a vazão através da equação de energia ou Bernoulli. A placa de orifício pode ser visualizada na figura 2.

Aplicando a equação de Bernoulli na seção 1 e na seção 2 descritas na figura (2).

$$\frac{P_1}{\rho_{H_2O} \cdot g} + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{H_2O} \cdot g} + \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + z_2 \quad (1)$$

Relacionando as velocidades médias na seção 1 e na seção 2, através da equação da continuidade, obtém-se a seguinte relação:

$$\bar{v}_1 = \bar{v}_2 \left(\frac{D_2^4}{D_1^4} \right) \quad (2)$$

Substituindo a equação (2) na equação (1) e considerando que a seção 1 e a seção 2 estejam niveladas, obtém-se a seguinte equação para se determinar a velocidade média através da seção estrangulada:

$$\bar{v}_2 = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho_{H_2O} \cdot g} \right)}{1 - \left(\frac{D_2^4}{D_1^4} \right)}} \quad (3)$$

Através da velocidade média na seção 2, pode-se determinar a vazão, aplicando a equação da continuidade, conforme a equação (4):

$$Q = C \cdot \bar{v}_2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

Onde C é um coeficiente para se corrigir a velocidade devido à brusca variação na seção. O coeficiente pode ser calculado pela equação (5), segundo Fox e McDonald (1998):

$$C = 0,5959 + 0,0312 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{2,1} - 0,184 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^8 + \frac{91,71 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{2,5}}{Re_{D_1}^{0,25}} \quad (5)$$

Segundo Fox e McDonald (1998), a equação (5) apresenta erro de + 0,6% para v e \bar{v} . Para a placa de orifício do módulo de hidráulica, os diâmetros na seção 1 e na seção 2 são 0,0635m e 0,0425m, respectivamente.

2.2 Determinação da Velocidade Média do Deslocamento de Água no Canal Aberto

O perfil de velocidade do escoamento através de um canal retangular aberto pode ser representado pela figura (3), segundo Porto (1999):

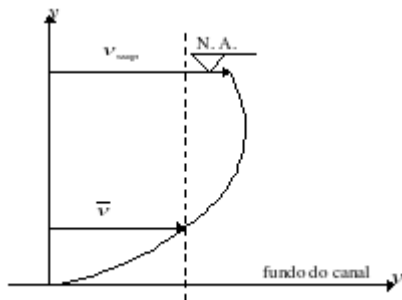


Figura 3: Perfil de velocidade de um canal retangular aberto

Onde v_{sup} é a velocidade superficial do escoamento no canal e \bar{v} é a velocidade média no perfil de velocidade, sendo esta velocidade média utilizada para determinar a vazão em um canal, através da equação da continuidade. O eixo y representa a variação de altura no nível de água.

Através do deslocamento de uma bolinha de isopor entre a seção de entrada e a seção de saída do canal aberto, mede-se a velocidade superficial v_{sup} . A distância L , entre a seção de entrada e de saída, é de 2,95m. Através da medição tempo t que a bolinha leva para percorrer esta distância, determina-se v_{sup} aplicando o movimento retilíneo uniforme, conforme a equação a seguir:

$$v_{sup} = \frac{L}{t} \quad (6)$$

Pode-se relacionar a velocidade superficial com a velocidade média, da seguinte maneira:

$$\bar{v} = X \cdot v_{sup} \quad (7)$$

Onde X é a incógnita a determinar através da identificação de parâmetros, para que, através da velocidade superficial do escoamento no canal, determina-se a velocidade média no canal. Substituindo a equação (7) na equação da continuidade, obtém-se a seguinte relação para se determinar a vazão no canal aberto:

$$Q = X \cdot v_{sup} \cdot b \cdot h \quad (8)$$



Figura 4: Limnígrafo

Onde h é a base da seção do canal e H é a altura do nível de água. Como a seção do canal não sofre variação, o valor da base é de 10cm para todo o canal, sendo necessário apenas fazer a medição da altura, para se quantificar a área de escoamento. A altura é determinada utilizando o limnígrafo, conforme ilustra a figura (4).

3 PROCEDIMENTO DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Tendo definidos os métodos de medição de vazão através da placa de orifício e de velocidade superficial através do deslocamento de uma bolinha de isopor, o problema se restringe a determinar o parâmetro através da identificação de parâmetros, conforme descrito por Beck e Arnold (1977). Aplicando este método para as medidas experimentais, determina-se um valor para X , sendo este um número a qual o erro gerado devido às medições, seja o menor possível.

O erro gerado entre duas medidas Q_i é definido segundo a equação (9):

$$E_i = Q_i - Q \quad (9)$$

Onde Q_i é a vazão determinada pela placa de orifício, conforme definido na equação (4) e Q é a vazão determinada pelo canal, sendo esta definida na equação (8). Substituindo a equação (8) na equação (9), tem-se a seguinte relação para se determinar o erro de uma medida:

$$E_i = Q_i - X \cdot v_{sup} \cdot b \cdot h \quad (10)$$

A equação (10) representa o erro entre duas medidas. Como foram realizadas várias medidas e aplicando mínimos quadrados para diminuir a probabilidade de erro, a soma dos erros é definida pela equação (11):

$$S = \sum (Q_i - X \cdot v_{sup} \cdot b \cdot h)^2 \quad (11)$$

Para se determinar o ponto onde o erro é mínimo, deriva-se a soma dos erros em relação ao parâmetro e iguala-se a zero, conforme a equação (12):

$$\frac{\partial \left[\sum (Q_i - X \cdot v_{\text{sup}} \cdot b \cdot h)^2 \right]}{\partial X} = 0 \quad (12)$$

Com a resolução da equação (12), encontra-se uma relação para o parâmetro a determinar, conforme a equação (13)

$$X = \frac{\sum Q_i \cdot v_{\text{sup}} \cdot b \cdot h}{\sum v_{\text{sup}}^2 \cdot b^2 \cdot h^2} \quad (13)$$

4 RESULTADOS

Tabela 1 Medições realizadas

Tabela 1 – Medições realizadas				
medida	Vazão (Q)	Velocidade Superficial (v _{sup})	Altura (h)	Base (b)
	(m³/s)	(m/s)	(m)	(m)
	0,00503			
1	1	0,739348	0,0970	0,1
	0,00513			
2	7	0,737500	0,0980	0,1
	0,00512			
3	8	0,744949	0,0980	0,1
	0,00140			
45	2	0,504274	0,0475	0,1

Organização das medições no módulo didático de hidráulica.

Realizando 45 medidas para a determinação da vazão no módulo, através da placa de orifício, para a determinação da velocidade superficial no canal, através do deslocamento de uma bolinha de isopor e altura do nível de água, através do limnigráfo, sendo que, para cada medida, a vazão no módulo foi alterada através de um

registro de gaveta a jusante do conjunto motor bomba, os dados foram organizados da seguinte maneira:

Organização das medições no módulo didático de hidráulica.

Substituindo os valores encontrados, conforme a tabela (1), na equação (13), encontrou-se o seguinte valor para :

$$X = 0,695286 \quad (14)$$

Substituindo a equação (14) na equação (8), encontra-se a seguinte relação para se determinar a vazão no canal:

$$Q = 0,695286 \cdot v_{\text{sup}} \cdot b \cdot h \quad (15)$$

Com isso, pode-se determinar a vazão, considerando apenas a situação de canal aberto, a partir da velocidade superficial, medida através do deslocamento de uma bolinha de isopor.

5 CONCLUSÃO

Através deste trabalho, encontrou-se uma relação para se determinar a vazão em um canal aberto para fins didáticos, através do deslocamento de uma bolinha de isopor, pois no módulo didático de hidráulica do Campus de Umuarama não existem maneiras de se determinar a vazão considerando apenas a situação de um canal aberto. Esta relação pode ser utilizada em outros canais abertos didáticos.

6 REFERÊNCIAS

- BECK, J. V. & ARNOLD, K. J. Parameter Estimation in Engineering and Science. New York: John Wiley and Sons, 1977. 501p.
- FOX, R. W. & McDONALD, A. T. Introdução a Mecânica dos Fluidos. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 504p.
- PORTO, R. M. Hidráulica Básica. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 1999. 519p.