

Estudo do coeficiente de Manning para diferentes materiais em canal

Study of the Manning coefficient for different materials in an experimental channel

RESUMO

Carolina Viale de Oliveira
caroli@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Andrea Sartori Jabur
sartorijabur@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Condutores livres ou canais livres são estruturas por onde escoar a água em superfície livres, no qual estão sujeitos à pressão atmosférica direta, podendo ser naturais ou artificiais (construídos). O fluxo de água é dado de forma contínua direcionado de acordo com a força gravitacional ao longo da declividade do canal, porém vários fatores contribuem para sua perda de carga. Para isso, é necessário ter-se o conhecimento do coeficiente de rugosidade Manning no qual determina a resistência ao escoamento, sendo determinado também a vazão do canal estudado. A pesquisa em questão trata-se de estudos teóricos e práticos para determinar o coeficiente de Manning de diferentes tipos de materiais, para uma possível associação e comparação entre os valores calculados e teóricos de seus respectivos coeficientes. As fórmulas utilizadas foram basicamente a equação do coeficiente de Manning, tendo restrição na vazão, quando utilizado dados da placa de orifício, devido ao emprego de um registro de esfera, não sendo possível regular a pressão do canal; e a equação da continuidade, quando utilizados flutuadores.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de Manning. Hidráulica. Vazão.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

ABSTRACT

Free conductors or free channels are structures through which water flows on free surfaces, in which they are subject to direct atmospheric pressure, and can be natural or artificial (constructed). The flow of water is given in a continuous manner directed according to the gravitational force along the slope of the channel; however, several factors contribute to its loss of pressure. For that, it is necessary to have the knowledge of the Manning roughness coefficient in which it determines the flow resistance, being also determined the flow of the studied channel. The research in question is theoretical and practical studies to determine the Manning coefficient of different types of materials, for a possible association and comparison between the calculated and theoretical values of their respective coefficients. The formulas used were basically the Manning coefficient equation, with flow restriction, when using orifice plate data, due to the use of a sphere register, it is not possible to regulate the channel pressure; and the continuity equation, when using floats.

KEYWORDS: Manning coefficient. Hydraulics. Flow rate.



INTRODUÇÃO

Devido ao aumento na demanda do uso da água aumentou-se, na mesma proporção, a necessidade de um estudo e caracterização de cursos d'água e suas variáveis, como disponibilidade hídrica, seu potencial energético, controle de inundações, vazões, entre outros, tendo em vista as normas e diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos da região. O acompanhamento hidrológico de bacias e rios é de extrema importância para descrever o comportamento e características dos mesmos, dispondo de um maior número de informações e ampliando a linha de estudos no ramo (AB. GHANI et al., 2007 apud LYRA et. al. 2010).

Derivada da equação de Bernoulli, no qual descreve a carga total (H_T) existente na seção, a equação de Manning surgiu de maneira a simplificar os métodos de determinação de dimensionamentos de um canal livre. Proposta por Chézy, a equação teve sua primeira versão em 1775 como forma de estimar a velocidade média do escoamento, de acordo com a Eq. (1), tendo uma necessidade de se determinar o coeficiente C independente da rugosidade do material (AZEVEDO NETTO, 2015; GONÇALVES, 2016).

$$V=C\cdot\sqrt{R_H\cdot I} \quad (1)$$

Posteriormente Manning determinou uma relação entre os coeficientes de Chézy e de rugosidade e reescreveu a equação original associando-a com a equação da continuidade, descrita pela Eq. (2) (AZEVEDO NETTO, 2015).

$$n=\frac{A_m}{Q}\cdot R_h^{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{I} \quad (2)$$

em que: Q - vazão escoada, m^3/s ; n - coeficiente de rugosidade de Manning, $m^{1/3} \cdot s$; A_m - área molhada, m^2 ; R_h - raio hidráulico, m, e; I - declividade do canal, mm^{-1} .

De uma maneira simples e prática, a equação de Manning é muito utilizada com a finalidade de determinar parâmetros hidráulicos de um escoamento ou dos elementos geométricos de um conduto livre como a vazão de cursos d'água naturais, trazendo resultados satisfatórios e auxiliando na modelagem hidrológica destes. No entanto, há uma dificuldade em sua aplicação devido à complexidade para definir e obter o valor do coeficiente de rugosidade de Manning ou coeficiente de resistência ao escoamento (n), no qual cada material dispõe do seu valor (AB. GHANI et al., 2007 apud LYRA et. al. 2010).

Caracterizar o coeficiente de rugosidade é, até o presente momento, alvo de diversas investigações, tanto para estudos em campo quanto em laboratório. Através de caracterização experimental, é possível obter resultados bem próximos do valor tabelado, apesar de não se conseguir uma precisão rigorosa (GONÇALVES, 2016). Isso ocorre, pois, as tabelas apresentam valores médios de rugosidades, que foram obtidos em laboratórios, que diferem de resultados obtidos em áreas de estudos.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de estimar um valor médio para o coeficiente de Manning de diferentes materiais de fundo de corpos d'água, através do canal de hidráulica e como diferentes materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS UTILIZADOS

Para o referente estudo inicialmente foram listados os materiais e aparelhos encontrados no Laboratório de Hidráulica na sala N006, localizada no bloco N da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana: Canal de Acrílico de Hidráulica Experimental de acrílico, limnómetro de polietileno (fixado no canal de hidráulica), trena e bolas de polietileno, utilizadas como flutuadores. Os materiais fabricados para compor o fundo de vale artificial foram seixos rolados, brita 1 e 2, gramíneas artificiais, MDF cortados de modo que encaixe no fundo do canal e EVA para encapar o MDF de modo que não danifique o acrílico do canal.

Figura 1 – Canal experimental de acrílico de hidráulica



Fonte: Autoria própria (2019).

Abaixo é possível notar na Figura 2 um exemplo de fundo de vale fabricados em laboratório de seixos rolados.

Figura 2 – Fundos de seixos rolados



Fonte: Autoria própria (2020).

MÉTODOS

De modo a começar o estudo, faz-se necessário equacionar e determinar a vazão do canal, calculada através da Equação (3). Ao iniciar o funcionamento do equipamento, com o registro de esfera, estabiliza-se uma vazão no qual será fixa

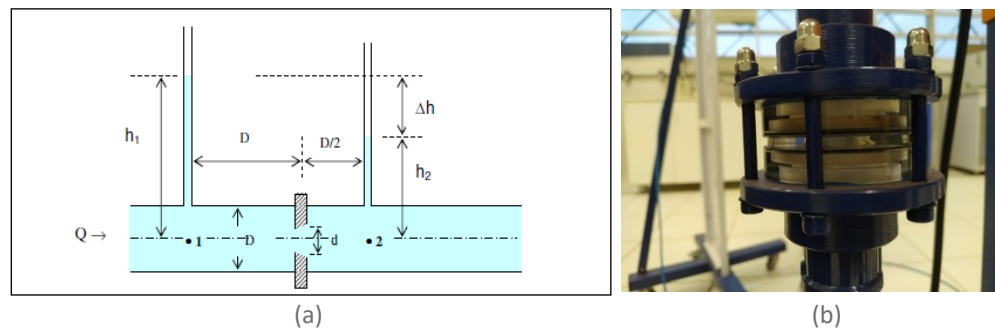
em todo o experimento, pelo fato de que não é possível regulá-la devido ao tipo de registro utilizado.

$$Q = C_v \cdot A_g \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}{1 - \left(\frac{A_g}{A_e}\right)^2}} \quad (3)$$

em que: P1-P2 - diferença de pressão obtida pelo manômetro, medida em metro por coluna d'água (m.c.a.). Ag/Ae - relação entre a abertura e a redução da placa de orifício, cedida pelo fabricante, m/m. Ag - área da redução (do orifício), m, e; Cv o coeficiente de velocidade, adotado pela teoria de 0,61.

Na Figura 3 está destacado o detalhamento de uma placa de orifício em conduto forçado por meio de ilustração, no qual a vazão é calculada baseada nos valores de dimensionamento desta placa.

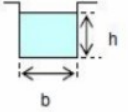
Figura 3 – Placa de orifício do canal hidráulico



Fonte: Modificado de Fox, McDonald, Pritchard (2006); Autoria própria (2020).

Como os condutos livres podem apresentar as formas mais variadas, podendo ainda funcionar como seção plena ou não, para seu estudo e definição torna-se necessária o seu cálculo. Os canais são projetados usualmente em uma das quatro formas geométricas seguintes: Retangular, trapezoidal, triangular e semicircular, sendo a forma trapezoidal a mais utilizada. O canal utilizado para este trabalho foi o canal do tipo retangular. Cada geometria fornece uma equação particular para cada parâmetro, descritos na Figura 4 abaixo no qual a partir destes parâmetros geométricos e de parâmetros hidráulicos estima-se os coeficientes de rugosidade pela Equação de Manning (2).

Figura 4 – Área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico

Forma da seção	Área (A) (m ²)	Perímetro molhado (P) (m)	Raio hidráulico (R) (m)	Largura do Topo (B) (m)
	b.h	b + 2.h	$\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{b.h}{b + 2.h}$	b

Fonte: Baptista, Coelho (2010).

em que: P ou Pm - perímetro molhado, m; A ou Am - área molhada da seção, m²; R ou Rh - raio hidráulico, m, e; b - a largura da base ou do topo, m.

Outro fator inerente e correlacionado com coeficiente de rugosidade é o número de Froude (4), Fr. Este se trata de um número adimensional representando a relação entre uma velocidade característica do canal analisado e a velocidade

gravitacional, utilizado em escoamentos de superfície livre, classificando estes de três modos – fluvial, torrencial e crítico.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (4)$$

em que: V - velocidade característica, m/s; g - aceleração da gravidade, m/s²; e, h - profundidade hidráulica, m.

É importante destacar que em uma situação natural o escoamento pode variar de acordo com diversos fatores, o que pode influenciar na equação de Manning, determinando, assim, coeficientes diferentes para cada situação.

Desta forma em laboratório, foram produzidos os fundos de cursos d'água com placas de MDF cortadas em tamanhos adequados para encaixes no canal experimental de acrílico do laboratório e, assim, colados os materiais para análise sobre essas placas.

Em seguida, com todos os dados físicos do canal, quando ligado, anotados), calculou-se os valores de área molhada e perímetro molhado a fim de se determinar a vazão do canal conforme a Eq. (3). Posteriormente através da Eq. (2) determinou-se o coeficiente de Manning e o número de Froude a partir da Eq. (4) e comparados com os valores teóricos.

Com a finalidade de comparação, utilizando dez bolas de polietileno foi despejado uma por uma e anotado o tempo em que cada uma atravessou 1,5m do canal e feito uma média dos tempos a fim de se calcular a velocidade média das bolas. Posteriormente, com base na área molhada utilizou-se a equação de continuidade, descrita na Eq (5), calculou-se a vazão de escoamento e assim utilizando a Eq. (2) obter o número de coeficiente de Manning (n) para cada material utilizado.

$$Q = A \cdot V \quad (5)$$

em que: Q - vazão de escoamento, m³/s; V - velocidade característica, m/s; e, A - área da seção analisada, m².

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estão descritos nas Tabela 1 e 2 os parâmetros geométricos iniciais para os cálculos das vazões. Na Tabela 1 foram obtidos valores de velocidade por meio da vazão medida através da placa de orifício e na Tabela 2 estão os valores de velocidade obtidos por meio dos flutuadores, cuja média de tempo foi de 5,819s.

Os experimentos foram divididos de 1 a 8, sendo que de 1 a 4 são os valores descritos na Tabela 1, e de 5 a 8 estão descritos na Tabela 2. Além disso, é importante destacar que foram feitos experimentos com diferentes materiais e medida de lâmina d'água, sendo que: experimento 1 – acrílico; experimento 2 – seixos rolados com la = 5,5cm; experimento 3 – seixos rolados com la = 6,0cm, e; experimento 4 – seixos rolados com la = 6,5cm;

Desta forma cada experimento tem seu próprio valor de velocidade, independente da vazão e declividade constantes, devido ao fato de cada um apresentar uma altura de lâmina d'água experimental específica.

Tabela 1 – Dados obtidos experimentalmente com base na vazão da placa de orifício

Experimento	lo (m/m)	B (m)	La (m)	V (m/s)
1	0,003333	0,15	0,041	0,195052
2	0,003333	0,15	0,055	0,145402
3	0,003333	0,15	0,06	0,133286
4	0,003333	0,15	0,065	0,123033

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 2 – Dados obtidos experimentalmente com base na vazão dos flutuadores

Experimento	lo (m/m)	B (m)	La (m)	V (m/s)
1	0,003333	0,15	0,041	0,257776
2	0,003333	0,15	0,055	0,254626
3	0,003333	0,15	0,06	0,257776
4	0,003333	0,15	0,065	0,257776

Fonte: Autoria própria (2020).

A partir desses dados e dos valores de vazão, formulou-se a Tabela 3 e 4 no qual estão apresentados os valores de cálculo de área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, coeficiente de Manning e número de Froude, com base na mesma distribuição de experimentos das tabelas anteriores.

Tabela 3 – Parâmetros calculados a partir dos dados experimentais da placa de orifício

Experimento	Q (m ³ /s)	Am (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	n (s · m ^{-1/3})	Fr (adm.)
1	0,0012	0,00615	0,232	0,0265	0,026315	0,307556
2	0,0012	0,00825	0,26	0,0317	0,039797	0,19795
3	0,0012	0,009	0,27	0,0333	0,044865	0,173729
4	0,0012	0,00975	0,28	0,0348	0,05004	0,154074

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 4 – Parâmetros calculados a partir dos dados experimentais dos flutuadores

Experimento	Q (m ³ /s)	Am (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	n (s · m ^{-1/3})	Fr (adm.)
1	0,001585	0,00615	0,232	0,0265	0,019912	0,406459
2	0,001585	0,00825	0,26	0,0317	0,022726	0,346646
3	0,001585	0,00900	0,27	0,0333	0,023198	0,335995
4	0,001585	0,00975	0,28	0,0348	0,023883	0,322814

Fonte: Autoria própria (2020).

É importante ressaltar que houve uma divergência muito significativa dos valores de coeficientes de Manning determinados experimentalmente para os coeficientes de Manning teóricos (por exemplo, o acrílico possui n entre 0,008 e 0,0100 s · m^{-1/3}) devido a diversos fatores que interferem e influenciam no cálculo, como exemplo, erros experimentais. Pode-se levar em conta, também, o fato de

que o valor teórico é generalizado a todos os materiais, não especificando o tempo de vida do material ou sua espessura.

Em comparação aos coeficientes de Manning, para seixos rolados, os valores obtidos na tabela 4 ficaram próximos dos teóricos, conforme apresentado pelo Batista e Coelho (2010), os valores para canais com pedregulhos graúdos estão entre 0,018 a 0,024. Em relação a tabela 3, os valores ficaram superiores, comparados a revestimentos de gabiões ou rochas sem revestimento, com valores teóricos entre 0,025 a 0,040.

No entanto, mesmo os resultados sendo insatisfatórios a nível de comparação aos valores do acrílico, ainda é válida a relação de cálculos e o experimento. Com relação ao número de Froude verificou-se que o sistema de escoamento laminar em todos os experimentos. Outro fator a ser considerado é a determinação da vazão, uma vez que os métodos de hidrometria são diferentes gerando valores distintos – conduto forçado e canal livre – no qual pelo método de flutuadores houve um aumento de vazão, sendo este método mais simplificado e com erros maiores em comparação a placa de orifícios.

CONCLUSÕES

Os equipamentos educacionais para os estudos hidráulicos apresentam, na sua maioria, materiais de acrílico ou vidro, o que dificulta a obtenção de dados reais através de coeficientes de Manning para estudos de canalizações em rios urbanos devido a diferença de materiais utilizados. Sendo assim, a pesquisa se propõe a obtenção de dados com valores voltados aos coeficientes de Manning com materiais que apresente rugosidade parecidas com os fundos naturais de rios, como seixos rolados, de modo a auxiliar em projetos de canalizações sustentáveis, com o uso de materiais como gabiões ou fundos naturais, reduzindo o incentivo de uso de canalizações de concreto.

No entanto, com relação ao resultado calculados para seixos rolados, resultou-se em valores bem próximos aos valores teóricos e houve um aumento no número de Froude devido também ao aumento da velocidade. Os resultados mostram que a rugosidade de Manning apresenta uma pequena variação com a alteração da linha da água e isso ocorre porque as medições se referem a uma rugosidade composta ao seixo rolado e as laterais de acrílico. Em relação ao coeficiente para acrílico, o valor ficou quase o dobro dos valores utilizados na teoria, justificado pelo fato que os valores tabelados são valores “gerais”, indiferentes de espessura ou porosidade dos materiais.

É importante destacar que para a confecção dos fundos de vale apresentaram dificuldades, uma vez que o material inserido no experimento não poderia danificar o equipamento, como também na dificuldade da fixação do material. Porém, devido a poucos resultados obtidos, por causa da COVID -19, os resultados foram satisfatórios para a continuação da pesquisa e elaboração de novos fundos de canais, tanto naturais como artificiais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana e a professora Caroline Casagrande Sipoli por ceder o laboratório para a realização do trabalho e a PiBiV por ter disponibilizado a bolsa voluntária para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Manual de Hidráulica**. 9. Ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recursos hídricos**. FGV, Brasília, 1998. 10 v.

CHOW, Ven te. **Open Channel Hydraulics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1959.

GONÇALVES, J. A. V. **Caracterização do Coeficiente de Rugosidade e seu Efeito no escoamento em Canais Naturais: Simulação e modelação (à escala) no laboratório de hidráulica Aplicação às ribeiras do Funchal**. 2016. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Competências de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira, Funchal, 2016.

LYRA, G. B. et al. **Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 4, p.343-350, mar. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n4/v14n04a01.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2019.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC/ USP, 2006.