

UTILIZAÇÃO DE TÚNEL DE VENTO NA CALIBRAÇÃO DE MICROMOLINETE

Maurício C. Goldfarb¹; Ronildo Ignácio Soares de Alencar² & Alain M. B. Passerat de Silans²

Resumo - Na atual fase de gerenciamento efetivo dos recursos hídricos, faz-se muitas vezes necessário à medição da vazão escoada nos rios. Devido ao seu baixo custo e eficiência dos resultados obtidos, o micromolinete de eixo horizontal tem sido bastante utilizado na determinação da vazão em pequenos canais naturais. Apesar de sua fácil aplicação, a calibração deste equipamento requer uma estrutura onerosa, onde o mesmo é montado em um suporte que se desloca sob trilhos fixados nas laterais de um canal. Esse estudo foi feito com objetivo de se obter um mecanismo alternativo na calibração de micromolinete de eixo vertical, visto que o equipamento tradicionalmente utilizado não está disponível em grande parte dos laboratórios de hidráulica brasileiros. A análise experimental apresentada neste trabalho vem a demonstrar a possibilidade da utilização de um túnel de vento subsônico para calibração do micromolinete experimentado.

Abstract - In the current phase of effective management of the resources nature's, is necessary a lot of times to the mensuration of flow in the rivers. Due to its low cost and efficiency of the obtained results, the moulinet of horizontal axis has been enough used in the determination of the flow in small natural channels. In spite of its easy application, the calibration of this equipment requests an onerous structure, where the same is set up in a support that moves under rails fastened in the lateral of a channel. That study was made with objective of obtaining an alternative mechanism in the calibration of micromolinete of vertical axis, because the equipment traditionally used it is not available in a large part of the Brazilian hydraulics laboratories. The experimental and theoretical analysis presented in this work comes to demonstrate the possibility of the use of a tunnel of wind for calibration of the experienced moulinet.

Palavras-chave - Calibração de Micromolinete, Túnel de Vento.

¹ Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, CT/UFPB. e-mail: goldfarb@lrh.ct.ufpb.br

² Departamento de Tecnologia da Construção Civil, CT/UFPB.

1. INTRODUÇÃO

O expressivo crescimento populacional, verificado nas últimas décadas, associado a inadequada preservação dos recursos naturais, fez com que a água seja atualmente compreendida como um valioso e limitado recurso natural, onde sua utilização para diversos fins, tem comumente gerado conflitos entre consumidores. Nesse contexto, a medição da vazão em córregos naturais vem se tornando cada vez mais prática comum, necessária ao efetivo gerenciamento dos recursos hídricos superficiais disponíveis.

Diversas estruturas de medição hidráulica podem ser utilizadas na determinação do escoamento em canais abertos, a exemplo dos equipamentos a laser que utilizam princípio do efeito Doppler, de custo ainda relativamente alto, ou até a instalação vertedores ou calhas que, uma vez calibrados, determinam a vazão escoada em função de uma altura hidráulica lida.

O micromolinete de eixo horizontal, largamente difundido na Europa, é utilizado na determinação de líquidos escoando em canais abertos e tem grande aplicabilidade, como por exemplo no cálculo da vazão escoada em córregos naturais através da determinação do perfil velocidade.

O princípio de funcionamento do micromolinete baseia-se na correlação entre a velocidade tangencial de uma hélice e a velocidade do fluido que a impulsiona. A simplicidade deste equipamento, constituído basicamente de um sistema de hélice e suporte associado a um contador de rotações e cronômetro, contribui para a viabilidade de seu custo.

Apesar de suas vantagens, a calibração deste equipamento é um processo dispendioso, visto ser necessário a utilização de um canal em escoamento uniforme com velocidade variável ou uma estrutura sobre trilhos, que permita que o equipamento se desloque no interior de um canal. Acrescenta-se a isto o fato deste ser um equipamento com características eletromecânicas, que portanto necessita ser periodicamente aferido.

Recentemente, o laboratório de Hidráulica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba adquiriu um novo micromolinete de eixo horizontal, cuja equação de calibração, que relaciona a velocidade do escoamento ao número de rotações da hélice por segundo, foi fornecida pelo fabricante. No entanto, apesar da equação ser fornecida pelo fabricante, devido ao inevitável desgaste, o equipamento precisa passar por periódicos processos de calibração. Santos *et. al.* (2001), afirma que o micromolinete deve ser calibrado a cada vez que o erro superar o valor de 1%.

Neste trabalho, objetiva-se estabelecer parâmetros que possibilitem a calibração periódica de um micromolinete de eixo horizontal, utilizando-se um túnel de vento subsônico, um anemômetro de fio quente, e, a equação de calibração fornecida pelo fabricante.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se no experimento um micromolinetete de eixo horizontal fabricado pela empresa alemã *OTT messtechnik*, modelo 146818, com diâmetro de eixo de 9 mm e diâmetro da hélice de 50 mm. O número de rotações por segundo, ou seja o parâmetro n do micromolinetete deve ser, segundo o fabricante, não superior a 9,86 rotações por segundo.

O erro percentual destes equipamentos, de acordo com a literatura (Troskolanski, 1963), varia entre 1 e 3%, sendo uma função da velocidade medida e da velocidade máxima, conforme a equação seguinte.

$$E(\%) = 3 - 2(V/V_m) \quad (2)$$

onde: E é o erro percentual, V a velocidade medida e V_m a velocidade máxima que o micromolinetete pode medir.

No entanto, os equipamentos atualmente fabricados conseguem trabalhar com uma faixa de erro percentual inferior a determinada por Troskolanski (*op. cit.*). Conforme Santos *et. al.* (2001), o micromolinetete deve ser calibrado a cada vez que o erro superar o valor de 1%.

A expressão seguinte representa a equação experimental genérica de um micromolinetete do tipo utilizado, que fornece a velocidade V do escoamento em função das constantes a , K , e do valor n medido.

$$V = a + Kn \quad (3)$$

onde: a constante a tem a mesma unidade de V , e reflete a resistência mecânica do instrumento; K é o parâmetro de determina a geometria da superfície helicoidal das hélices, e n o número de rotações do eixo por unidade de tempo.

Para o micromolinetete utilizado as constantes de calibração fornecidas pelo fabricante foram as seguintes: $a = 0,008$ m/s, $K = 0,2533$. Nesse caso a equação de calibração do equipamento é da forma seguinte.

$$V = 0,008 + 0,2533n \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

Como o micromolinetete utilizado está em estado novo, pode-se admitir que a equação anterior reflete as condições atuais do equipamento. Nesse caso, o parâmetro $a = 0,008$ da equação representa uma velocidade necessária para vencer o atrito interno quando o instrumento foi calibrado pelo fabricante na água.

Para se determinar uma relação entre o parâmetro a da equação (4) e a velocidade necessária para vencer o atrito interno quando o instrumento for calibrado no escoamento de ar, o equipamento foi ensaiado em um túnel de vento subsônico. A velocidade de referência do escoamento, no túnel de vento, foi determinada utilizando-se um anemômetro de fio quente.

Anemômetro de fio quente é um equipamento utilizado para medir a velocidade de gases, seu princípio de funcionamento baseia-se na correlação entre a resistência elétrica de um fio metálico, no caso platina, e a temperatura do fio, que depende, por sua vez, da velocidade do escoamento. O anemômetro utilizado foi fabricado pela *TSI Incorporated*, modelo 8330, com faixa de trabalho entre 2 e 20 m/s, e acuidade de 0,03 m/s.

No experimento, foi utilizado um túnel de vento subsônico modelo TE44 fabricado pela *Plint & Partners*. O equipamento tem seção de trabalho de 45 por 45cm e velocidade média do escoamento variando entre 10 e 33m/s. Nesse caso a velocidade mínima ainda era superior ao limite superior da faixa de velocidade necessária para calibração do micromolinete. Para se resolver este problema, ou seja reduzir o limite inferior da faixa de velocidade, a área de entrada do ventilador do túnel foi reduzida progressivamente a cada ponto obtido no experimento. Assim pôde-se chegar a um limite inferior de velocidade da ordem de até aproximadamente 2 m/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados experimentais obtidos das leituras referentes ao escoamento no túnel de vento. O parâmetro n , apresentado na terceira coluna é obtido da divisão entre o número de rotações (coluna 1) e o tempo medido (coluna 2). A quarta coluna apresenta a velocidade do escoamento obtida substituindo-se o valor de n na equação (3), de calibração do equipamento, apresentada anteriormente.

Na ultima coluna da tabela seguinte, a velocidade do escoamento a ser utilizada como padrão de calibração, é obtida através do anemômetro de fio quente.

Tabela 1. Apresentação dos parâmetros do escoamento

L. Cont.	Tempo (s)	n	vel. (m/s)	vel. Anem.
97	30,29	3,20	0,82	1,55
133	30,13	4,41	1,13	1,75
150	30,22	4,96	1,27	2,1
181	30,17	6,00	1,53	2,25
197	30,20	6,52	1,66	2,5
217	30,00	7,23	1,84	2,65
246	30,71	8,01	2,04	2,8
263	30,38	8,66	2,20	2,95
298	30,28	9,84	2,50	3,3
317	30,31	10,46	2,66	3,55
353	30,45	11,59	2,94	3,8

O gráfico seguinte correlaciona a velocidade do escoamento, apresentada nas duas últimas colunas da tabela 1, com o valor do parâmetro n , do micromolinete. Nesse caso o paralelismo observado entre a reta da equação (4) e a obtida do ajuste de mínimos quadrados de velocidade lida no anemômetro, revela que a diferença está relacionada com o parâmetro a , do micromolinete, que por sua vez reflete o atrito mecânico do instrumento.

A interpretação física deste resultado pode ser pensada em termos do escoamento de água, para qual a equação 4 foi calibrada, supera, com maior facilidade que o ar, a inércia imposta pelo equipamento. Ou seja no escoamento líquido a resistência oferecida pelo atrito mecânico do equipamento é vencida com uma menor velocidade do que a seria necessária para um escoamento de um gás.

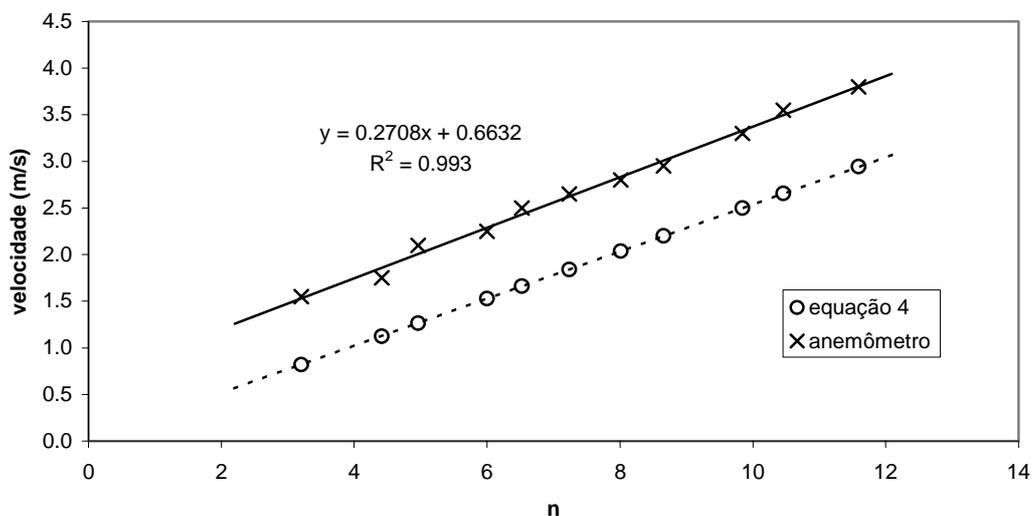


Figura 1. Correlação entre n e a velocidade do anemômetro e do micromolinete no túnel de vento.

A partir da correlação entre as velocidades lidas no anemômetro e o número de rotações do micromolinetete por unidade de tempo, a equação seguinte foi obtida utilizando-se o método dos mínimos quadrados. Nesse caso o valor do coeficiente de correlação linear de 0,993 reflete o bom ajuste da reta aos pontos experimentais.

$$V = 0,663 + 0,2708n \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

Como a equação anterior correlaciona a velocidade do escoamento de ar com o número de rotações do micromolinetete por unidade de tempo, n , a constante $a' = 0,663$ reflete a velocidade do escoamento de ar necessária para vencer o atrito mecânico do instrumento.

De posse dos parâmetros a e a' pode-se obter uma constante C que relaciona as velocidades necessárias para se vencer o atrito por um escoamento de água e de ar.

$$C = a / a' \quad (6)$$

onde: a reflete a velocidade necessária ao escoamento de água para vencer a resistência devido ao atrito mecânico do instrumento, e a' reflete a velocidade necessária ao escoamento de ar para vencer a resistência devido ao atrito mecânico do instrumento.

Finalmente, a equação (7) pode ser utilizada para calibração do micromolinetete de eixo horizontal, através do escoamento no túnel de vento subsônico.

$$V = Ca' + Kn \quad (\text{m/s}) \quad (7)$$

onde: a constante adimensional C foi apresentada na equação 6, a' reflete a velocidade necessária ao escoamento de ar para vencer a resistência devido ao atrito mecânico do instrumento, K é o parâmetro de determina a geometria da superfície helicoidal das hélices, e n o número de rotações do eixo por unidade de tempo.

Para o equipamento experimentado, o parâmetro $C = 0,012$, calculado de acordo com a equação 6, permite a obtenção da equação, na forma da expressão 7, para calibração periódica do micromolinetete, utilizando-se o túnel de vento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado demonstrou a viabilidade da utilização do túnel de vento subsônico na calibração do micromolinetete de eixo horizontal, a partir da equação fornecida pelo fabricante. No

entanto, o procedimento deve ser feito com o micromolinete em estado de novo, de tal forma que a equação fornecida pelo fabricante represente corretamente o estado do equipamento.

A adaptação feita no túnel de vento para se reduzir a velocidade mínima de trabalho, de 10 para aproximadamente 1m/s, foi eficaz, o que possibilitou sua utilização deste equipamento no experimento.

5. BIBLIOGRAFIA

ABNT / IMETRO, **Guia para Expressão da Incerteza da Medição**. Rio de Janeiro, segunda edição brasileira, 1993.

DOEBELIN, E. O. **Measurement Systems Application and Design**. Editora McGraw-Hill, 1996

NETTO, Azevedo. et. al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998.

TROSKOLANSKI, A. T. **Théorie et Pratique des Mesures Hydrauliques**. Paris: Editora DUNOD, 1963.

SANTOS, I; FILL, D. H; SUGAI, M. R. V. B., *et. al.* **Hidrometria Aplicada**, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento de Curitiba, 2001.

VENNARD, J. & STREET, R. **Elementos de Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.