

SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA ESTIMATIVA DE VAZÃO EM CANAIS HIDRÁULICOS DE ESCOAMENTO LIVRE PARA USO EM ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

DOI: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2024/VII-030.pdf>

Andrea Sartori Jabur (*), Guilherme Rossetto, Fábio Kurt Schneider, Ana Cláudia Ueda

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana, Rua Marcílio Dias, 635, Jardim Paraíso, Apucarana - PR. jabur@professores.utfpr.edu.br

RESUMO

O monitoramento das vazões em corpos d'água é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Desta forma, são necessários equipamentos adequados principalmente para medições em campo. A construção de um dispositivo barato e eficiente tanto para medição quanto para registro de dados em campo constitui o objetivo deste trabalho. O micromolinetete foi construído a partir de um sensor de vazão (microturbina) associado a um microcontrolador tipo ESP32-D0WDQ6 de uma placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32, alimentado por uma bateria externa. A aquisição e registro dos dados foi realizada por meio de um aplicativo desenvolvido com MIT APP INVENTOR instalado em *smartphone* com sistema ANDROID e conexão *bluetooth*. Este sistema foi calibrado em um canal de hidráulica com método de flutuador e placa de orifício utilizando situação de regime subcrítico ($Fr > 1$) e regime supercrítico ($Fr < 1$). Foram obtidas correlações de 84% para o regime subcrítico e 95% para o regime supercrítico entre os valores medidos no instrumento desenvolvido e o método de referência. Este equipamento ainda apresenta outras vantagens, como versatilidade, facilidade de transporte, velocidade de medição e aquisição de dados e ainda a possibilidade de realizar os cálculos no programa embarcado no microcontrolador desobriga o usuário de outros cálculos adicionais.

PALAVRAS-CHAVE: monitoramento de recursos hídricos, medida de vazão, micromolinetete, aplicativo ANDROID.

INTRODUÇÃO

A obtenção de dados de medição de velocidades em um canal livre é uma das ferramentas para avaliação das vazões mínimas e máximas em corpos d'água, que auxiliam no gerenciamento dos recursos hídricos. Diante disso, a escolha de equipamentos adequados e a aplicação correta dos métodos e técnicas são necessárias para obter estimativas que variam de ambientes acadêmicos (por exemplo, o uso do equipamento canal hidráulica, Figura 1) e para fins de pesquisa, como a determinação da vazão com uso de diferentes vertedores ou com flutuadores (Figura 2). Em contrapartida, a hidrometria em pesquisa de campo tem o caráter extensionista, auxiliando a comunidade externa, como secretarias de meio ambiente ou prefeitura, com levantamento de dados dos corpos d'água da região, auxiliando em projetos ou gestão ambiental, ou para comunidades rurais, com projetos de sistemas de irrigação. Estudos de hidrometria para determinação de vazão em pequenos corpos d'água indicam o uso de vertedores ou flutuadores, pois devido à baixa lâmina d'água, dificulta o uso de outros equipamentos, como o molinete [1]. Métodos de medição de vazão mecânicos, de vórtice, ultrassônicos utilizando (princípio Doppler) e baseados em métodos magnéticos têm sido usados há décadas [2-6].



Figura 1: Canal de hidráulica de laboratório para realização dos testes iniciais e da calibração do medidor de vazão. Fonte: Autores (2021).



Figura 2: Estimativa de vazão em trabalho de campo em rio. Fonte: Autores (2021).

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um medidor de vazão simples e de baixo custo utilizando um sensor de vazão de água baseado em micromolinete construído a partir de uma microturbina para medição em canais livres de escoamento hidráulico, para ser utilizado tanto para fins acadêmicos (em aulas práticas de laboratório e em trabalhos de campo com os acadêmicos do curso de Engenharia Química e Engenharia Civil) quanto por profissionais de áreas correlatas, como consultoria ambiental, gestão pública de recursos hídricos, defesa civil, etc.

METODOLOGIA

Confeção do Protótipo

Para determinar a faixa de trabalho do sensor protótipo, o canal de laboratório com 15 cm de largura foi considerado para realização dos testes iniciais. Fluxos laminares e turbulentos usando diferentes declives para o canal hidráulico foram analisados e apresentaram vazões que variam de 1,2 a 2,3 L/s (ou seja, 72 a 138 L/min). Um sensor de fluxo baseado em efeito Hall tipo Sea YF-S201, com taxas de fluxo variando de 1 a 30 L/min foi escolhido para ser usado para medição direta e indireta de fluxos nesta faixa de valores e a estrutura para alocação da turbina e o braço para disposição do equipamento no leito do canal para possibilitar a medição serão confeccionados em material polimérico utilizando impressora 3D.

Uma placa de orifício com medição de pressão de entrada-saída usada como referência e posicionada após a bomba [7] foi usada no canal de hidráulica de laboratório para gerar uma curva de calibração. O sensor de vazão (microturbina) pode fornecer um sinal de frequência digital dependente da vazão (por exemplo, 16 Hz para 2 L/s e 90,2 Hz para 15 L/s). Para adquirir e processar este sinal é utilizada uma placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32 de baixo custo. Esta placa utiliza o microcontrolador ESP32-D0WDQ6 com duplo *core* de processamento capaz de processamento na frequência de 240 MHz com conversor analógico-digital de 12 bits tipo SAR com frequência de amostragem máxima de 2 MSPS (*mega samples per second*). A vazão estimada é enviada para um *smartphone* por meio da placa de desenvolvimento com comunicação sem fio (exemplo *Bluetooth* ou *Wi-Fi*). No *smartphone*, o *software* aplicativo foi inicialmente desenvolvido usando o MIT APP INVENTOR para permitir a aquisição e o registro de dados.

A Figura 3 apresenta a placa de desenvolvimento (a) e o sensor de vazão por efeito Hall (b).

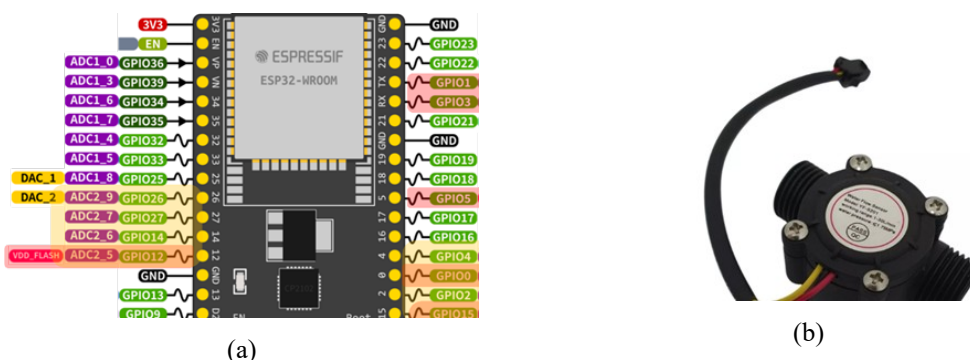


Figura 3: Esquema da placa de desenvolvimento (a) e sensor de vazão por efeito Hall (b). Fonte: Autores (2024).

No início do código é definido o pino GPIO4 (pino digital 4) como entrada para receber os pulsos elétricos vindos do sensor. No código, na seção *loop*, esses pulsos são transformados em dados através do cálculo da taxa de fluxo. Considerando a contagem de pulsos em intervalos de tempo tem-se um fluxo estimado pela placa e sensores. Uma curva de calibração precisa ser definida considerando a correspondência entre a resposta do sensor/placa e o valor real medido no canal. Após isso, esta informação pode ser apresentada no serial monitor do Arduino, ou seja, enviada por comunicação serial tipo USB para um computador conectado à placa e também enviado para um aplicativo desenvolvido e instalado em um dispositivo móvel com sistema ANDROID por meio da comunicação *Bluetooth* por protocolos SPP (*Serial Port Profile*), no qual será mostrada a vazão de água, em L/min, e o volume, em L, em tempo real.

Para a criação do aplicativo para um sistema ANDROID foi utilizado o **MIT APP INVENTOR** sendo desenvolvido um design simples para os testes iniciais. No aplicativo ANDROID, existe um botão para primeiramente estabelecer a conexão Bluetooth entre o ESP32 e o smartphone e logo depois disso o aplicativo já apresentará os dados provenientes do sensor de vazão. Existe outro botão que uma vez acionado começa o envio e registro desses valores para a planilha do Google a cada segundo e que pode ser interrompido mediante outro clique. Observe que o tempo entre amostras registradas pode ser modificado no código ou então ser inserido no aplicativo para decisão do usuário. É comum existirem aplicações onde a taxa de amostragem e registro precisem ser maiores ou menores do que 1 Hz. Para isso funcionar, foi criada uma programação no Google Apps Script que é capaz de recolher os dados no aplicativo e mandar para essa planilha, porém para essa função é exigido a conexão com a internet que pode ser tanto pelos dados móveis ou Wi-Fi. Em contrapartida, qualquer pessoa com internet se tivesse o e-mail e a senha teria acesso a essa planilha, o que se torna muito útil para a análise de dados.

Na construção do protótipo foi utilizado resina isolante elétrica nos cabos, pois como o sensor será totalmente mergulhado é preciso proteger a parte elétrica. Também foi instalado alguns canos com maior dimensão para facilitar o direcionamento da água. Como os testes em campo são necessários, uma bateria portátil é indispensável, por isso foi utilizada uma *power-bank* simples e leve, pois o consumo de energia é mínimo nas medições.

Medição da Velocidade

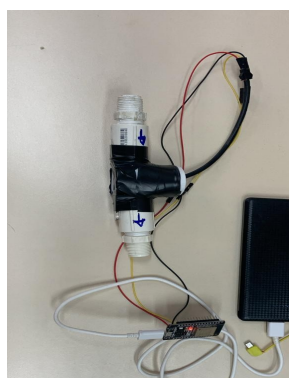
Para a avaliação do protótipo, as medições de velocidade foram realizadas em um canal de hidráulica. Para a obtenção das velocidades pelo escoamento no canal de hidráulica foi utilizado o método do flutuador, o qual foi calibrado com o uso da placa de orifício, conforme equações apresentadas por Fox, McDonald & Pritchard [7]. Este método consiste em medir a velocidade da água usando objetos flutuantes em trechos com distâncias pré-determinadas. Recomenda-se o uso deste método principalmente em corpos d'água, que apresentam baixa lâmina de água, que dificultam a instalação de um molinete fluviométrico.

A metodologia de validação do micromolinete seguiu os procedimentos descritos nas referências [8] e [9]. Para a realização do experimento, foram utilizados flutuadores em forma de esferas de polietileno com diâmetro de 40 mm. A distância de deslocamento estabelecida foi de 3 metros, que corresponde ao comprimento total da calha de acrílico do canal hidráulico. Durante o experimento foram realizadas 10 medições, nas quais se registrou a altura da lâmina d'água e a largura da calha, que era de 15 cm. Esses dados permitiram calcular a seção transversal da área molhada. Com os valores da velocidade de deslocamento e da área molhada, foi possível determinar a vazão do escoamento ao longo de todo o experimento, mantendo-se a vazão constante durante todo o processo.

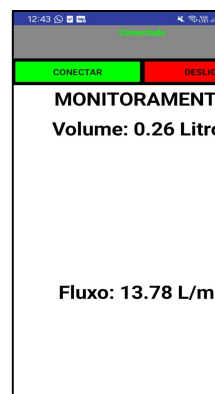
Com o micromolinete construído optou-se pelas medições de vazões considerando duas situações, uma em regime subcrítico ($Fr > 1$) e outra em regime supercrítico ($Fr < 1$). O micromolinete foi instalado no canal e com o aplicativo no smartphone, coletou-se os valores das vazões. Com os valores, foram calculadas as velocidades, considerando o diâmetro da tubulação da turbina de 1,1 cm. Para a calibração foram coletadas 10 medidas de velocidade de flutuadores, 10 medidas para o regime subcrítico e 10 medidas para o regime supercrítico.

RESULTADOS

O protótipo atual trabalha com comunicação do tipo *Bluetooth* com o aplicativo no celular que está emparelhado com o microcontrolador usando protocolos SPP. Este tipo de comunicação foi escolhido devido à possível indisponibilidade de internet durante as medições em campo, por exemplo num trecho de um rio. A Figura 4(a) apresenta o protótipo montado em laboratório sendo energizado por um *power-bank* permitindo a mobilidade do instrumento e a Figura 4(b) apresenta um modelo simplificado da tela do aplicativo desenvolvido para o dispositivo móvel Android.



(a)



(b)

Figura 4: (a) Protótipo de laboratório com a placa de aquisição, o sensor de vazão e o fornecimento de energia. (b) Exemplo da tela de interface do aplicativo desenvolvido para dispositivo móvel Android. Fonte: Autores (2024).

Calibração do micromolinete

As velocidades coletadas pelo micromolinete foram ajustadas por meio de um modelo matemático definido pela relação entre a velocidade obtida pelos flutuadores e a velocidade adquirida pelo micromolinete (Figura 5), ambos no canal hidráulico.

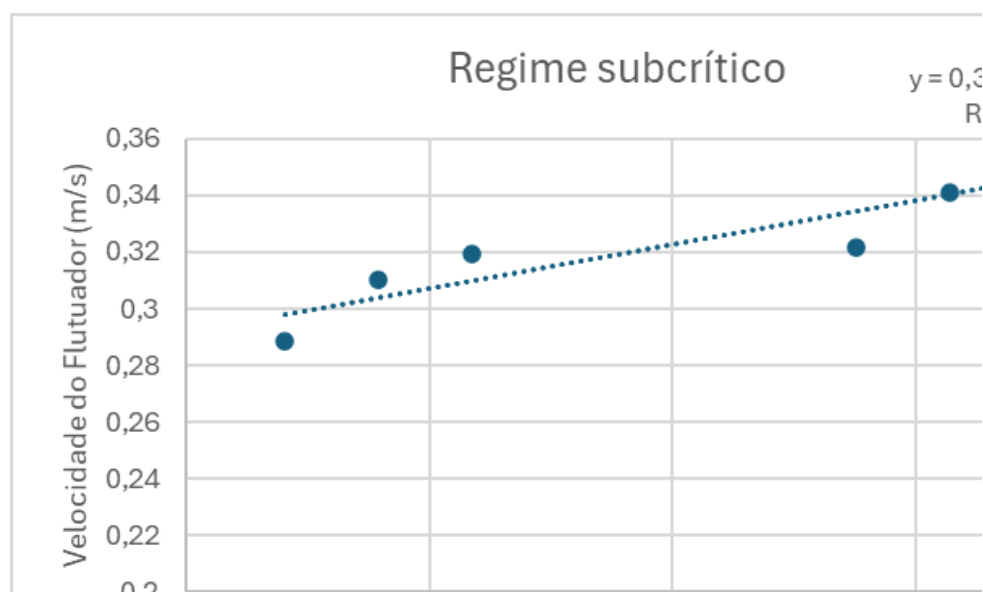


Figura 5: Equação do micromolinete considerando o regime subcrítico. Fonte: Autores (2024).

Os valores obtidos para o regime subcrítico foram calculados com a altura de lâmina d'água de 0,045 m, e apresentou velocidade do micromolinete entre 0,37 a m/s e número de Froude entre 0,55 a 0,79. Observa-se que os resultados considerando o regime subcrítico, existe uma correlação de 84%, dada pela seguinte equação:

$$V_{\text{micromolinete}} = 0,3097 \times V_{\text{flutuador}} + 0,1833.$$

Já os resultados obtidos para o regime turbulento estão representados na Figura 6 e apresentaram uma correlação de 95%, baseada na equação:

$$V_{\text{micromolinete}} = 0,2834 \times V_{\text{flutuador}} + 0,0208.$$

O intervalo de velocidade do micromolinete ficou compreendido entre 0,42 a 0,66 m/s, com uma lâmina d'água de 0,01 m e com o Número de Froude entre 1,12 a 1,73.

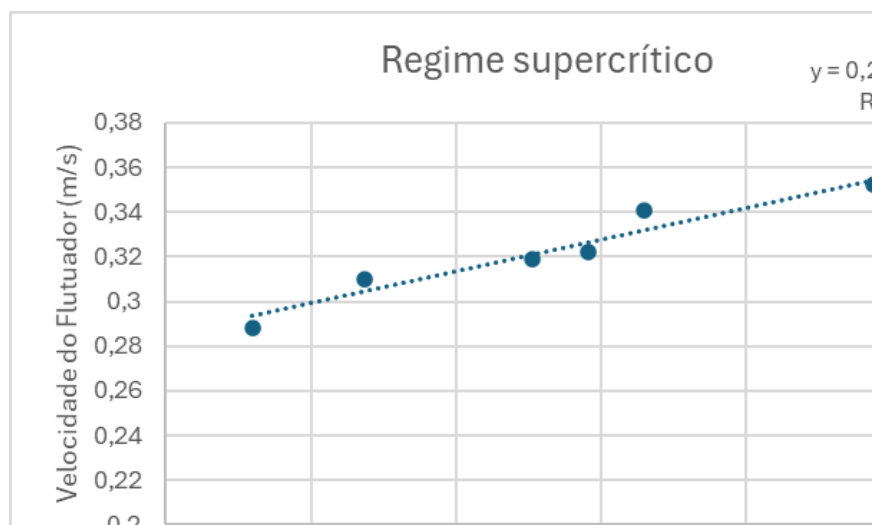


Figura 6: Equação do micromolinete considerando o regime supercrítico. Fonte: Autores (2024).

O resultado de 95% de correlação para o regime supercrítico pode ser explicado pelo fato de que a microturbina, que atua como sensor de fluxo, é projetada especificamente para condutos forçados. Esses condutos operam sob regime turbulento e em pressões diferentes da atmosférica.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram uma correlação significativa entre a velocidade do micromolinete fabricado e a do flutuador, especialmente em condições de escoamento abaixo de 0,7 m/s, com alturas de lâmina d'água variando entre 1 cm e 4 cm. Essa descoberta é valiosa para a medição de vazões em nascentes e em corpos d'água com baixa lâmina. Além disso, oferece uma oportunidade educativa, permitindo a apresentação lúdica de métodos para determinação de velocidade e vazão.

Foram obtidas com testes no canal hidráulico correlações nas medições de 84% (regime subcrítico) a 95% (regime supercrítico), porém apresenta algumas vantagens, como: versatilidade, transporte fácil para qualquer ambiente, velocidade de medição e aquisição dos dados, realização dos cálculos no programa embarcado no microcontrolador, que desobriga o usuário de outros cálculos adicionais.

O micromolinete será submetido à avaliação em condições reais, realizando a medição da velocidade e comparando-a ao método do flutuador em um canal extravasor de uma barragem. Este canal opera com uma vazão que varia entre 0,2 m³/s e 0,5 m³/s, o que pode resultar em discrepâncias em relação aos resultados obtidos em simulações realizadas em um canal hidráulico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azevedo Netto, J. M de; Fernandez Y Fernandez (2015). Manual de Hidráulica. 9. Ed. São Paulo: Editora Blucher. 632 p.
2. Callede, J., Kosuth, P., Loup, J. L., Guimarães, V. S., Discharge determination by Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP): a moving bottom error correction method and its application on the River Amazon at Óbidos. Hydrological Sciences Journal, 45(6), p. 911–924, 2000. <https://doi.org/10.1080/02626660009492392>.
3. Bahreinimotlagh, M., Kiyosi Kawanisi, Mochammad Meddy Danial, Mohamad Basel Al Sawaf, Junya Kagami, Application of shallow-water acoustic tomography to measure flow direction and river discharge, Flow Measurement and Instrumentation, v. 51, 2016, p. 30-39, ISSN 0955-5986, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2016.08.010>.
4. Bradley, A. A., Kruger, A., Meselhe, E. A., Muste, M. V. I., Flow measurement in streams using video imagery, Water Resource Research, v. 38(12), p. 1315, doi:10.1029/2002WR001317, 2002.
5. Stone, M. C., Hotchkiss, R. H., Evaluating velocity measurement techniques in shallow streams, Journal of Hydraulic Research, v. 45(6), p. 752–762, 2007. <https://doi.org/10.1080/00221686.2007.9521813>
6. Martim, A. L. S., Martim, S., Filho, J. G. D., De Lucca, Y. de F. L., Genovez, A. I. B., Electromagnetic flowmeter evaluation in real facilities: Velocity profiles and error analysis, Flow Measurement and Instrumentation, v. 66, p. 44-49, 2019, ISSN 0955-5986, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.01.001>.
7. Fox, R.W., McDonald, A.T. and Pritchard, P.J.; Introdução à Mecânica dos Fluidos, 6ª ed., LTC, 2004.

8. Souza Sobrinho, J., Lima, M. L., Ucker, F. E., Santos, F. C. V., Viera e Silva, F. M. Comparação entre o método do flutuador e o molinete hidrométrico para estimativa de vazões em condutos livres. *Revista Uniaraguaia* (online). Goiânia, v. 14, n. 2, maio/ago 2019.
9. Almeida Junior, A. J. D., Hernandez, F. B. T., Franco, R. A. M., Zocoler, J. L. Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador. *Anais XX Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem*. Ilha Solteira, São Paulo, 2010.