

Avaliação de um sistema de baixo custo para medir vazão

Evaluation of a low-cost system for flow measurement

Evaluación de un sistema de bajo costo para medir el caudal

Recebido: 06/10/2024 | Revisado: 16/10/2024 | Aceitado: 17/10/2024 | Publicado: 21/10/2024

Gustavo Coêlho de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4593-3109>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: gustavo.coelhodearaujo@gmail.com

Franz Berbert Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3539-747X>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: franz@ufam.edu.br

Resumo

A relação entre pressão, velocidade e posição relativa a um fluido em escoamento livre é descrita pela equação de Bernoulli. Apesar de suas restrições, este teorema possui aplicabilidade no ensino prático da disciplina mecânica dos fluidos através do experimento do jato livre. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de uma adaptação ao modelo feito em laboratório, utilizando garrafa pet e um sensor de vazão YF-S201, junto com uma placa Arduino UNO. A medição da vazão foi feita através do cálculo experimental e dos resultados obtidos pelo sensor quando a água atingisse uma altura de equilíbrio na garrafa. Foram coletados dezoito valores de altura e vazão. A taxa experimental encontrada para a altura de 15,6 cm (2,06 L/min) foi a mais próxima do valor marcado no sensor, 2,01 L/min. A maior divergência dos dados ocorreu para as alturas abaixo de 6,2 cm. Isto foi atribuído à baixa precisão do sensor YF-S201 e para pequenas alturas maior foi o erro produzido. No entanto, os dados obtidos foram aceitáveis, tendo em vista que apresentaram um desvio padrão de 0,54 L/min. Sendo assim, o modelo de medir vazão adaptado pode ser implementado no ensino remoto de disciplinas de engenharia.

Palavras-chave: Princípio de Bernoulli; Arduino; Mecânica dos fluidos; Ensino; Ensino de Ciências; Ensino de Engenharia; Tecnologia educacional.

Abstract

The relationship between pressure, velocity and position relative to a fluid in free flow is debited by the Bernoulli equation. Despite its restrictions, this theorem has applicability in the practical teaching of fluid mechanics through the free jet experiment. Therefore, this study aimed to evaluate the applicability of an adaptation to the model made in the laboratory, using a pet bottle and a YF-S201 flow sensor, together with an Arduino UNO board. The leakage of the flow was made through the experimental calculation and the results obtained by the sensor when the water reached an equilibrium height in the bottle. Eighteen height and flow values were collected. The experimental rate found for the height of 15.6 cm (2.06 L / min) was the closest to the value marked on the sensor, 2.01 L / min. The greatest divergence of data occurred for heights below 6.2 cm. This was attributed to the low precision of the YF-S201 sensor and for small heights the error produced was higher. However, the collected data were acceptable, given that standard dissipation of 0.54 L/min. Thus, the adapted flow measurement model can be implemented in remote teaching of engineering disciplines.

Keywords: Bernoulli's principle; Arduino; Mechanique of fluids; Teaching, Science teaching; Engineering education; Educational tech.

Resumen

La relación entre la presión, la velocidad y la posición relativa de un fluido que fluye libremente se describe mediante la ecuación de Bernoulli. A pesar de sus restricciones, este teorema tiene aplicabilidad en la enseñanza práctica de la mecánica de fluidos a través del experimento del chorro libre. Así, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la aplicabilidad de una adaptación al modelo realizada en el laboratorio, utilizando una botella de PET y un sensor de caudal YF-S201, junto con una placa Arduino UNO. El caudal se midió mediante cálculo experimental y los resultados obtenidos por el sensor cuando el agua alcanzó una altura de equilibrio en la botella. Se recogieron dieciocho valores de altura y caudal. La tasa experimental encontrada para la altura de 15,6 cm (2,06 L/min) fue la más cercana al valor marcado en el sensor, 2,01 L/min. La mayor divergencia en los datos se produjo para alturas inferiores a 6,2 cm. Esto se atribuyó a la baja precisión del sensor YF-S201 y para alturas pequeñas mayor es el error producido. Sin embargo, los datos obtenidos fueron aceptables, considerando que presentaban una desviación estándar

de 0,54 L/min. Por lo tanto, el modelo de medición de caudal adaptado se puede implementar en la enseñanza remota de disciplinas de ingeniería.

Palabras clave: Principio de Bernoulli; Arduino; Mecánica de fluidos; Enseñanza; Enseñanza de Ciencias; Educación en Ingeniería; Tecnología educativa.

1. Introdução

No estudo de tópicos de engenharia, quando se trata da energia associada a um escoamento permanente, as variáveis pressão, velocidade e posição relativa de um fluido possuem uma relação conhecida como princípio de Bernoulli (White, 2011). Esta lei para ser utilizada, precisa levar em consideração uma série de hipóteses simplificadoras. De acordo com (Brunetti, 2008), estas simplificações seriam: o escoamento deveria ocorrer em regime permanente, sem troca de calor, sem perdas por atrito, sem dispositivos que forneçam ou retirem energia, todas as seções do escoamento devem ser uniformes, e por fim, o fluido deveria ser incompressível.

Apesar das restrições necessárias para a aplicação deste teorema, ele ainda possui utilidade prática. Uma aplicação decorrente da equação de Bernoulli é o estudo da perda de carga, relevante para hidráulica, visto que a equação estabelece uma relação entre as principais variáveis associadas a um escoamento (Santos et al., 2022). Outra aplicação pode ser observada em sistema de pulverizadores agrícola, no qual a diferença de pressão positiva e negativa faz com que o líquido seja ejetado (Qin; Duan, 2017). Ainda segundo (Qin; Duan, 2017), existem outras aplicações para área de engenharia, como no estudo de bombas de ar, conservação de água, entre outros, desde que seja feito um estudo do empenho dessas aplicações. A pesquisa de (Otto; Mungan, 2024) utilizou a equação de Bernoulli junto com a segunda lei de Newton, como uma ferramenta para a melhoria de uma aplicação da lei de Torricelli que descreve o fluxo para fora de um funil.

O uso adequado de diversas metodologias experimentais pode favorecer a criação de um ambiente favorável ao aprendizado de vários conceitos científicos, de modo que conhecimentos prévios dos alunos não sejam ignorados (Sérgio et al., 2003). No ensino prático da disciplina Mecânica dos Fluidos, é realizado o experimento do jato livre em laboratório. Este consiste em medir a vazão de escoamento a partir de uma coluna de água por meio dos conhecimentos do Princípio de Bernoulli e da Lei de conservação de massa (Lucena, 2020). O experimento é realizado por meio de uma proveta graduada ou um reservatório, com um orifício de saída de água. É medido o alcance e a altura de água no reservatório quando se atinge o equilíbrio para enfim, ser determinada a vazão do escoamento (Cota; Dias, 2015).

Existem outras metodologias para medir vazão em um escoamento, de acordo com a Norma NBR-13403/(ABNT, 1995). Outra maneira eficaz para aferir vazão é pela utilização de sensores, como o sensor YF-S201 com uma placa Arduino. O uso de sensores e sistemas automatizados com Arduino, possibilitam aplicações em diversos setores que demandam precisão no controle e gestão de líquidos (Arman; Badhon, 2024). O seu uso vem sendo amplificado devido ao baixo custo e fácil utilização (Dornelas; Campello, 2017). O trabalho de (Souza; Airoidi, 2018) montou um sistema para medir a vazão e o consumo de água de uma residência utilizando envio de dados por meio de wireless. O estudo de (Dalle et al; 2020) também criou um sistema para medir vazão da água em barragens por meio do uso do sensor YF-S201 e a placa Arduino. Além disso, sensores são fontes confiáveis que podem estimar com precisão fluxos e velocidades de escoamentos turbulentos (Pereira et al., 2024).

Tendo em vista que o ensino de engenharia deve estimular os estudantes a propor soluções, através de análises práticas por meio da inclusão de metodologias com acesso remoto (Belisário et al., 2020), principalmente no período de pandemia. O trabalho de (Arruda, 2023), mostrou a importância do desenvolvimento de roteiros didáticos para melhor o entendimento do funcionamento de uma bancada de medidores de vazão, sendo possível ver na prática o comportamento dos fenômenos físicos que envolvem a dinâmica dos fluidos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de uma adaptação ao modelo feito em laboratório, utilizando garrafa pet e um sensor de vazão YF-S201, junto com uma placa

Arduino UNO. A fim de comparar os resultados obtidos pelo sensor e pelos cálculos experimentais, será avaliado a possibilidade de implementação desse método no ensino remoto disciplinas práticas de engenharia.

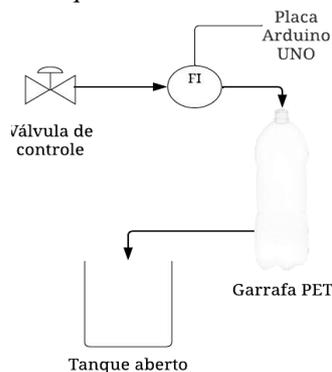
2. Metodologia

O presente estudo é uma montagem de pesquisa laboratorial, experimental, de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018) para ensino didático remoto de tópicos de engenharia dos fluídos. Nos resultados e discussão, faz-se uso da estatística descritiva com valores numéricos, médias e desvios padrões (Shitsuka et al., 2014).

2.1 Montagem do sistema piloto

Foi montado o sistema representado no esquema da Figura 1. A ponta de uma mangueira foi ligada a uma torneira, e junto a ela um sensor de vazão modelo YF-S201 conectado a uma placa de Arduino UNO ligado a um computador. A outra ponta do sensor também estava ligada a uma mangueira, que foi conectada a uma garrafa pet de 2L. Esta possuía um furo perto de sua base com 0,5cm de diâmetro, a água ejetada pelo furo caía em um tanque.

Figura 1 - Esquema de funcionamento do sistema.



Fonte: Autores (2024).

O esquema de funcionamento tem o mesmo princípio do sistema utilizado em laboratório, que no lugar da garrafa PET seria utilizada uma proveta graduada com um orifício na base. A válvula de controle neste caso será a própria torneira de, e o tanque aberto a pia onde a água da torneira escorre.

2.2 Cálculo da vazão do sensor digital

A aferição da vazão foi realizada com duas medidas, obtidas através do cálculo experimental e da análise digital obtida por meio do sensor de vazão. A água passou pelo sensor e encheu a garrafa até atingir equilíbrio em uma altura h_1 . Quando o equilíbrio foi atingido a altura h_1 foi marcada na garrafa com uma caneta, e foram coletados os dados de vazão obtidos pelo sensor num período de trinta segundos. Após isso, esvaziou-se a garrafa e este processo foi repetido para diferentes alturas e vazões.

2.2.1 Cálculo da vazão jato livre

Foi utilizada a equação de Bernoulli (1) (Rosa, 2022) para o cálculo experimental da vazão, Q_E . Considerando o ponto 1 o início da garrafa e o ponto 2 de acordo com a Figura 2. Pode-se considerar que ambos os pontos estão sujeitos à mesma pressão p , portanto $p_1=p_2$ (2). Pelo princípio da conservação de massas, obtém-se a equação da continuidade cuja vazão

que entra é a mesma que sai quando for atingida a altura h de equilíbrio, logo, $Q_1=Q_2$. Considerado que $A_2^2 \ll A_1^2$, pode-se concluir que $v_1 \approx 0$ (3). Por fim, a diferença entre as cotas 1 e 2 é dada por $z_1-z_2=h$, e isolando a variável da velocidade 2 obtêm-se a equação (4). A vazão será determinada pela equação (5), conforme forem determinadas as alturas de equilíbrio.

Figura 2 - Pontos de referência utilizados na garrafa.



Fonte: Autores (2024).

Como observado na Figura 2, os pontos de referência precisam ser na região da garrafa onde ela é completamente cilíndrica. Desta forma as dimensões do recipiente se tornam mais próximas da proveta graduada que é utilizada no experimento em laboratório.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (1)$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2)$$

$$z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (3)$$

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

$$Q_2 = \sqrt{2gh} \cdot A_2 \quad (5)$$

2.2.2 Cálculo da vazão do sensor

Foi utilizado o sensor de vazão YF-S201 através de uma placa Arduino UNO conectado a um computador. O programa Arduino no computador fornecia dados da vazão obtida no sensor, a cada segundo, na unidade de L/min. De acordo com o fabricante foi considerado um erro de 10% para os valores de vazão obtidos. O tempo, também em segundos, referente a cada valor de vazão também era fornecido pelo programa. Para cada altura (h_n) obtida na garrafa, correspondia a uma variação de vazão medida pelo sensor, logo, foi tirada uma média dos valores encontrados no período de trinta segundos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Sistema piloto

A montagem do sistema piloto ocorreu conforme representado na Figura 3. Todos os componentes e as conexões do sensor foram adequadamente configurados à placa Arduino de acordo com a programação da plataforma. Quando a torneira é

ativada, inicialmente, o Arduino detecta o sensor, e é dado início à execução da programação, que registra o fluxo a cada minuto.

Figura 3 - Sistema piloto de análise de vazão.



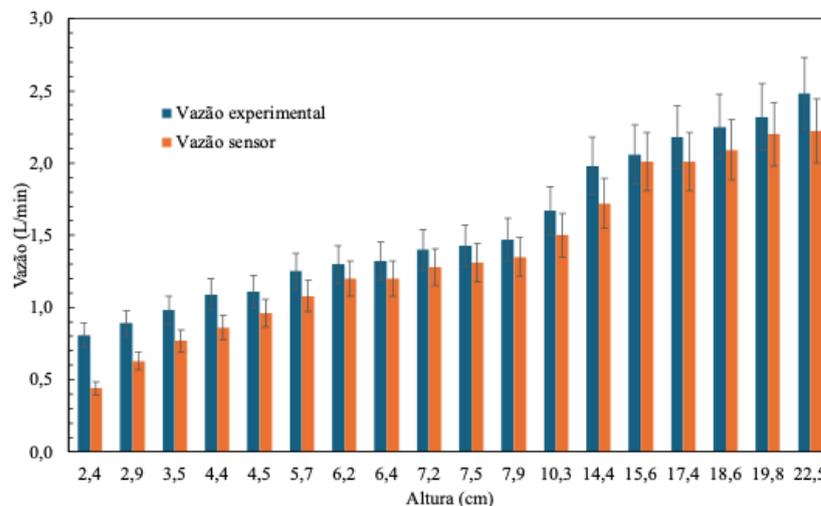
Fonte: Autores (2024).

3.2 Medidas de vazão

Foram obtidos dezoito valores para a altura da coluna de água na garrafa, e os seus respectivos valores de vazão, experimental e do sensor (Figura 4). A vazão obtida pelo sensor foi dada em L/min, e a vazão experimental, calculada pela equação (5), em m^3/s foi transformada para a mesma unidade de medida do sensor. Dentre os dezoito resultados, onze estiveram dentro do intervalo de incerteza da vazão do sensor, sendo a taxa encontrada para a altura de 15,6 cm (2,06 L/min) a mais próxima do valor marcado no sensor (2,01 L/min). As vazões experimentais 0,81; 0,89; 0,98; 1,09; 1,98 (L/min) foram as que apresentaram maior distanciamento do intervalo de erro, como pode ser observado no gráfico 1.

O distanciamento dos resultados pode ser atribuído à baixa precisão do sensor YF-S201, considerando que a incerteza dos resultados é de $\pm 10\%$ do valor medido. Existem outros modelos de sensores no mercado que possuem margem de erro menor que 1%, logo, para experimentos em que seja necessária uma maior precisão para medir a vazão, este não é indicado (Dornelas; Campello, 2017). Como o presente estudo objetificava um sistema de baixo custo que pudesse ser aplicado de forma remota, o uso do sensor atendeu às necessidades e mostrou resultados satisfatórios.

Figura 4 - Comparação dos resultados de vazão obtidos pelo experimento e pelo sensor



Fonte: Autores (2024).

Além disso, foi possível observar que os resultados com maior distanciamento entre os valores, foram aqueles obtidos para alturas pequenas, 2,4; 2,9; 3,5; 4,4; 4,5 (cm). Quanto maior a altura da água, menor o erro produzido (Dalle, et al., 2020), as alturas acima de 5,7 cm possuíram valores aproximados. O desvio padrão dos resultados obtidos foi de 0,54 L/min e a média foi de, aproximadamente, 1,47 L/min (Tabela 1). Estes resultados se mostraram aceitáveis considerando que o desvio padrão foi baixo.

Tabela 1 - Média e desvio padrão dos resultados obtidos.

Média (L/min)	Desvio Padrão (L/min)
1,47	0,54

Fonte: Autores (2024).

Devido à utilização de uma garrafa de dois litros, existiu uma limitação na coleta de dados da altura, impossibilitando a medição de valores acima de 22,5 cm. Por conta disso, só foi possível encontrar valores de vazão com a torneira parcialmente aberta. Para futuros estudos em que se desejar medir vazões mais elevadas, recomenda-se a utilização de uma garrafa com volume igual, ou acima, de 2,5 L.

4. Considerações Finais

O sistema proposto para medir vazão apresentou bom desempenho com as adaptações feitas utilizando garrafa pet e sensor de vazão. Foi analisado que para alturas pequenas os resultados obtidos pelo sensor foram muito divergentes daqueles obtidos experimentalmente. Apesar disso, foi possível obter um desvio padrão de 0,54 L/min, tendo em vista que os resultados obtidos para alturas maiores que 5,7 cm apresentaram menor diferença. Além disso, a montagem do sistema piloto montagem do sistema mostrou-se de simples execução, e cumpre o objetivo proposto de ser de baixo custo.

Para estudos futuros, é indicado a utilização de uma garrafa com volume maior ou igual à 2,5 L, para que possam ser coletados dados de vazão experimental mais elevados, e a utilização de outro sensor de vazão afim de comparar a eficiência. Como o modelo proposto não requeria alta precisão do sensor ele pode ser implementado no ensino remoto experimental de tópicos de engenharia.

Referências

- ABNT. (1995). *NBR 13403: Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - escoamento livre*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Arman, M. N., & Badhon, B. (2024). Aqua Flow Master: Intelligent liquid flow control and monitoring system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. <https://www.doi.org/10.56726/IRJMETS53697>.
- Arruda, V. G. B. (2023). *Medidores de vazão: Aplicações para um laboratório didático de física*. Trabalho de conclusão de Curso na UFFS. <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7672>.
- Autodesk Instructables. (n.d.). Measure water flow rate and volume using Arduino. <https://www.instructables.com/Measure-Water-Flow-Rate-and-Volume-Using-Arduino/>
- Belisário, A. B., et al. (2020). Relatos de experiência de inserção de tecnologias digitais no ensino de Engenharia. *Revista Docência do Ensino Superior*, 10, 1–18.
- Brunetti, F. (2008). *Mecânica dos fluidos* (2ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Cota, T., & Dias, A. C. (2015). *Laboratório mecânica dos fluidos e hidráulica experimento III: Jato livre*. Porto Velho.
- Dalle, J., Tamjidi, M., & Syafruddin, S. Y. (2020). Implementation of water debit measurement using microcontroller-connected flow meters. *TEM Journal*, 9(4), 1467–1474.
- Dornelas, E., & Campello, S. (2017). Monitoramento de consumo doméstico de água utilizando uma meta-plataforma de IoT. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 2(2), 136–147.

- Galdino, G. D. (2020). *Obtenção dos coeficientes de velocidade, contração e descarga usando o alcance do jato de água*. Trabalho de Conclusão de Curso na UFERSA. <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/11389>.
- Lucena, J. M. V. A. (2020). *Obtenção dos coeficientes de descarga, velocidade e contração para orifícios circulares, quadrados e triangulares*. Trabalho de Conclusão de curso na UFERSA. <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/7630>.
- Otto, J., & Mungan, C. E. (2024). Flow of water out of a funnel. *European Journal of Physics*. DOI 10.1088/1361-6404/ad7107.
- Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica* [e-book gratuito]. Ed. UAB/NTE/UFSM.
- Pereira, T. S. R., et al. (2024). Hydrodynamic modeling for flow and velocity estimation from an Arduino ultrasonic sensor. *Hydrology*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/hydrology11020012>
- Qin, R., & Duan, C. (2017). The principle and applications of Bernoulli equation. *Journal of Physics: Conference Series*, 916(1). DOI 10.1088/1742-6596/916/1/012038. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/916/1/012038/pdf>.
- Rosa, A. G. (2022). *Estudo das equações diferenciais de Bernoulli e suas aplicações*. Monografia de Especialização em Matemática. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
- Santos, F. P., et al. (2022). Estudo da perda de carga localizada em uma banca hidráulica com o uso da válvula gaveta com diferentes aberturas. Uberlândia/MG.
- Sérgio, M., et al. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- Shitsuka, R., et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia* (2ª ed.). Editora Erica.
- Souza, C., & Airoidi, D. (2018). Sistema para leitura de vazão de água wireless. *Revista Brasileira de Mecatrônica*, 1, 26–38.
- Sushma, N., Suresh, H. N., & Lakshmi, J. M. (2022). Smart water flow meter for improved measurement of water usage in a smart city. In *2022 2nd International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT 2022). Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*
- White, F. M. (2011). *Mecânica dos fluidos* (6ª ed.). AMGH Editora Ltda.