

DESENVOLVIMENTO DE CORRENTÓGRAFO DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL AQUÁTICO

José Eduardo das Neves da Fonseca¹; Felipe Ávila Silva²; Leonardo Contreira Pereira³

¹Universidade Federal de Pelotas – fonseca.jose@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – fasilva@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – leonardo.contreira@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

No século XXI, o crescimento contínuo da urbanização e industrialização enfatiza a importância crescente da preservação ambiental e sustentabilidade. Nesse contexto, os recursos hídricos desempenham papel vital como alicerces para a vida e o desenvolvimento econômico, exercendo funções cruciais em ecossistemas naturais e na esfera humana. A avaliação da velocidade da água em corpos hídricos ganha destaque na gestão dos recursos, sendo crucial para compreender padrões hidrodinâmicos, avaliar a qualidade da água e definir estratégias de gestão eficazes.

No entanto, os sensores utilizados para o monitoramento de velocidade de água, como os sonares ADCPs (Acoustic Doppler Current Profilers), enfrentam obstáculos significativos na prática. Esses sensores, apesar de sua alta precisão, são notoriamente caros, não estão disponíveis no mercado nacional e requerem mão de obra especializada tanto para a instalação quanto para a manutenção contínua, encarecendo consideravelmente as operações de monitoramento.

Neste estudo, propõe-se um novo conceito de medidor de velocidade de correntes de água em canais abertos. Esse sensor utiliza uma IMU (Inertial Measurement Unit) para efetuar medições de velocidade e direção da corrente, em tempo real, utilizando-se de materiais acessíveis e de baixo custo.

2. METODOLOGIA

A composição do correntógrafo envolve um cilindro, com dimensões aproximadas de 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro, fixado no fundo do corpo d'água mediante o emprego de uma âncora, conectada por meio de um cabo. No interior do cilindro, encontra-se uma Unidade de Medição Inercial (IMU - Inertial Measurement Unit), responsável pela coleta de dados essenciais ao processo de medição.

A IMU desempenha um papel central no correntógrafo, permitindo o registro preciso de dois ângulos cruciais: o ângulo de inclinação ω e o ângulo de direção θ . Estes ângulos são intrinsecamente moldados pelo fluxo de água em torno do sensor, originando forças de arrasto F_a e empuxo F_e que atuam sobre o dispositivo, conforme ilustrado na figura 1.

Através da avaliação do ângulo de inclinação, é possível calcular a velocidade da água utilizando princípios trigonométricos, proporcionando uma medida tangível da corrente. De maneira análoga, o ângulo de direção possibilita a obtenção da orientação do correntógrafo em relação ao norte magnético.

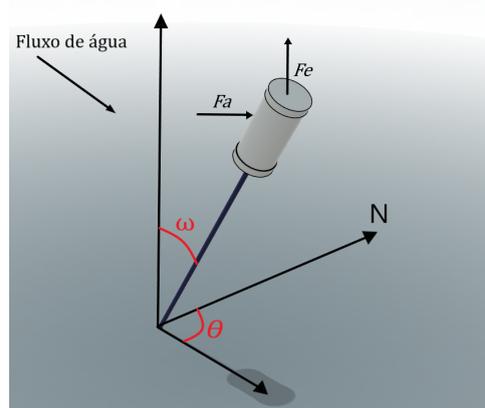


Figura 1: Correntógrafo no fundo do corpo de água.

Considerando as definições de força de empuxo e de arrasto encontradas na literatura (BRUNETTI, 2008) o ângulo ω pode ser determinado como:

$$\omega = \arctan\left(\frac{F_a}{F_e}\right) = \arctan\left(\frac{\frac{1}{2}v^2\rho C_a A}{(m-\rho V)g}\right) \quad (1)$$

Isolando a velocidade da água e agrupando as constantes físicas em uma única constante, temos:

$$v = H\sqrt{\tan(\omega)} \quad (2)$$

A constante H pode ser definida como:

$$H = \sqrt{\frac{2(m-\rho V)g}{\rho C_a A}} \quad (3)$$

Os valores aproximados das constantes físicas podem ser encontrados na tabela 1. As constantes mecânicas do sensor (área, volume e massa) foram dimensionadas para obter uma maior sensibilidade em águas com velocidade entre 0 e 2 m/s, com um ângulo de inclinação de 0 a 45 graus.

ρ	V	m	C_a	A	g
997 kg/m^3	$0,00311 \text{ m}^3$	$0,58 \text{ kg}$	0.74	$0,01725 \text{ m}^2$	$9,82 \text{ m/s}$

Tabela 1: Constantes do sensor

A IMU usada para medir os ângulos foi a LM303DLHC (STMICROELECTRONICS, 2013), pois possui um acelerômetro e um magnetômetro integrados em um único chip. Assim, o ângulo de direção (θ) medido pela IMU tem como referência o norte magnético indicado pelo magnetômetro.

Para estabelecer a comunicação com o sensor, empregou-se a microcontroladora ESP32 (EXPRESSIF, 2016), utilizando o protocolo I2C. Essa controladora é responsável por transferir os dados capturados pelo sensor para a

internet, utilizando o protocolo LoRa (SEMTECH, 2016). A unidade de transmissão do sensor é localizada em uma bóia, que flutua sobre a superfície da água. Os componentes do correntógrafo podem ser vistos na figura 2.



Figura 2: Protótipo do Correntógrafo

Inicialmente, o corpo do sensor seria uma esfera de plástico PLA, feita em uma impressora 3D. Contudo, problemas na estanqueidade fizeram com que o sensor fosse feito como um cilindro de PVC, com espuma expansiva na parte interna.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros testes foram feitos em laboratório, onde o ângulo do sensor foi variado, e a velocidade correspondente foi calculada, conforme a equação 2. O gráfico apresentado na figura 3 mostra uma linearidade entre 10 e 45 do ângulo de inclinação, que é uma característica desejável em um sensor.

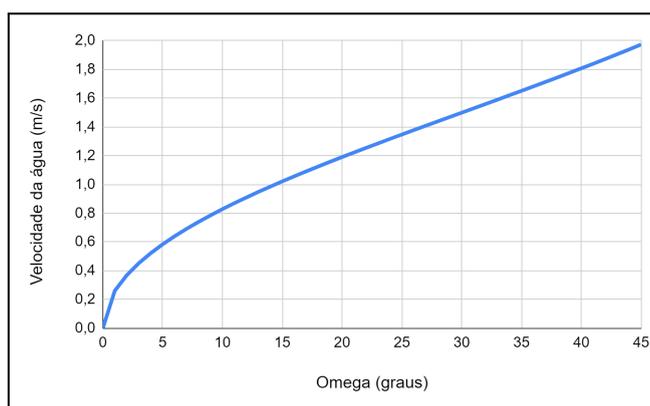


Figura 3: Curva de velocidade

O ângulo de direção foi medido e comparado com uma bússola comercial. Os valores encontrados podem ser vistos na figura 4, demonstrando uma boa resposta do protótipo.

A interface de monitoramento do sensor pode ser vista na figura 5. O site permite a visualização dos ângulos medidos e um gráfico em tempo real. Os dados são atualizados a cada 2 segundos.

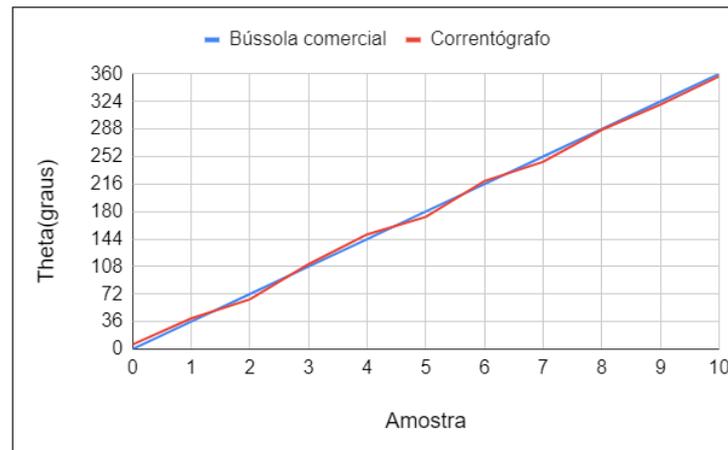


Figura 4: Curva de direção.

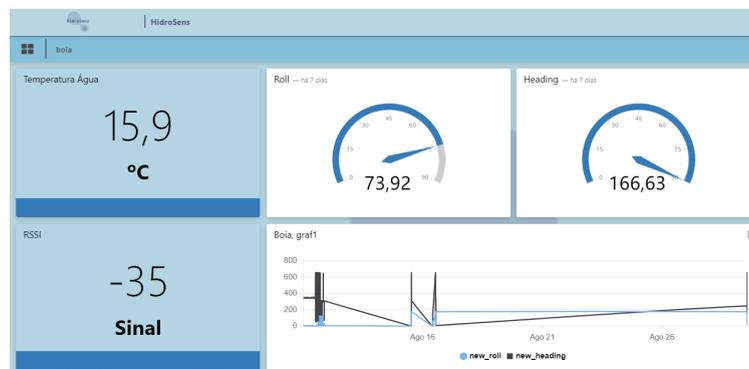


Figura 5: Interface do sensor.

4. CONCLUSÕES

Pode ser concluído que a técnica para a medição de velocidade da água, apresentada neste trabalho, é viável, e pode ser facilmente implementada, com materiais de baixo custo, e programas de código aberto. Apesar de não possuir a mesma sensibilidade dos sensores comerciais, o correntógrafo desenvolvido surge como uma boa alternativa ao monitoramento da movimentação de corpos hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. Brasil: Pearson Universidades, 2008.

STMICROELECTRONICS, **Ultra-compact high-performance eCompass module: 3D accelerometer and 3D magnetometer**, 2013. Acessado em 21 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm303dlhc.pdf>

EXPRESSIF, **ESP32 Series Datasheet**, 2016. Acessado em 21 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm303dlhc.pdf>

SEMTECH, **SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver**, 2016. Acessado em 21 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/761/sx1276-1278113.pdf>