



19 a 23 de setembro de 2022
Brasília/DF



XIV ENCONTRO NACIONAL DE
ÁGUAS URBANAS

IV SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO
DE RIOS URBANOS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

CT Águas Urbanas

EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA LEVANTAMENTO DE NÍVEL DA ÁGUA EM SISTEMAS DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E CORPOS D'ÁGUA

Maria Cristina Santana Pereira¹; Fábio Ferreira Nogueira²; Laís Ferrer Amorim³; Barbara Pozzan Santos Duarte⁴; Fábio Paiva da Silva⁵; Ariel Ali Bento Magalhães⁶; Stephanie Caroline Machado Gonzaga⁷; José Rodolfo Scarati Martins⁸.

RESUMO – O monitoramento das variáveis relativas à água é um dos fundamentos para gerir de forma adequada as questões como mudanças climáticas, resiliência e sustentabilidade. Possibilita quantificar as pressões e impactos nos sistemas naturais. Os corpos d'água sofrem muitas das consequências destas pressões e os dispositivos de infraestrutura verde (IEV) têm grande importância na construção de uma rede interconectada que reduza tais efeitos. Assim, monitorar corpos d'água além de ser uma forma de acompanhar o seu desempenho e dinâmicas, também é uma maneira de levantar dados expressivos à análise de todo o meio ambiente no qual se inserem. A quantificação de serviços regulatórios menos tangíveis e mais complexos é atividade urgente na mudança de paradigma de uso da natureza. Este estudo de medição de vazão de uma biorretenção é inédito e utiliza um sensor de nível de medição contínua e alta resolução temporal e sua validação é feita comparada a um sensor comercial. Apesar de serem equipamentos de medição de baixo custo, os resultados obtidos foram satisfatórios e promissores. O sistema desenvolvido é econômico e robusto para uso em larga escala com prototipagem, dando suporte a experimentos de laboratório e de campo e contribuindo para melhorar e aumentar a rede de monitoramento.

ABSTRACT– Monitoring variables related to water is one of the fundamentals to adequately manage issues as climate change, resilience and sustainability. It makes it possible to quantify the pressures and impacts on natural systems. Water bodies suffer many of the consequences of these pressures and green infrastructure (GI) is of great importance in building an interconnected network to avoid its effects. In this way, monitoring water bodies, besides providing performance and dynamics, is also a way of collecting expressive data for environment analysis in which they are inserted. The

¹ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Almeida Prado, nº 83, Edif. Engenharia Civil, Depto. de Engenharia de Construção Civil, Cidade Universitária; CEP 05508-900, São Paulo – SP, Tel. 11 994 497 426. E-mail: maripereira@usp.br.

² Mestre em Recursos Hídricos na Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Almeida Prado No. 83 Edif. Engenharia Civil Depto Hidráulica. Cidade Universitária, São Paulo, SP. CEP: 05508-900. Tel: (11) 985880123 E-mail: fabiofnog@alumni.usp.br

³ Pós-doutoranda no Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Almeida Prado, nº 83, Edif. Engenharia Civil, Depto. de Engenharia de Construção Civil, Cidade Universitária; CEP 05508-900, São Paulo – SP, Tel. 11 994 497 426. E-mail: laisamorim@usp.br

⁴ Mestranda em Recursos Hídricos na Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Almeida Prado No. 83 Edif. Engenharia Civil Depto Hidráulica. Cidade Universitária, São Paulo, SP. CEP: 05508-900. Tel: (11) 964 601 154 E-mail: barbara.pozzan.duarte@usp.br

⁵ Mestre em Recursos Hídricos na Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Almeida Prado No. 83 Edif. Engenharia Civil Depto Hidráulica. Cidade Universitária, São Paulo, SP. CEP: 05508-900. Tel: (11) 954956199 E-mail: fpaiva@alumni.usp.br

⁶ Doutoranda em Engenharia Civil na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado Nº 83 Edif. Engenharia Civil Depto. Hidráulica e ambiental, Cidade Universitária, São Paulo, SP. CEP: 05508-900. Tel: (34) 996670195, e-mail: arielabm@usp.br.

⁷ Mestranda em Paisagem e Ambiente na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. Rua do Lago,876. Cidade Universitária, São Paulo, SP. CEP: 05508-080. Tel: (11) 982 336 491 E-mail: sgonzaga@usp.br

⁸ Professor Associado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Almeida Prado, nº 83, Edif. Engenharia Civil, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Cidade Universitária; CEP 05508-900, São Paulo – SP, Tel. 11 3091 5581, E-mail: scarati@usp.br.



quantification of regulatory services, which are less tangible and more complex, is an urgent activity in changing the paradigm of how nature is disposed. This is an unprecedented study of flow measurement of a bioretention facility, which uses a continuous and high-resolution water level measurement sensor and its validation compared with a commercial sensor. Despite being low-cost measurement equipment, the results obtained were satisfactory and promising. The developed system is economical and robust for large-scale applications with prototyping, supporting laboratory and field experiments, contributing to improve and increase the monitoring network.

Palavras-Chave – Soluções baseadas na natureza, Monitoramento de corpos hídricos; Sensores de baixo custo.

INTRODUÇÃO

A medição de nível é uma das formas que possibilita o cálculo da vazão, grandeza levantada em aplicações de monitoramento ambiental e também em aplicações industriais e comerciais diversas (Naveen, 2020), sendo o nível a medida da cota da superfície de materiais diferentes (Dionísio, 2020). A medição de nível de líquidos pode ser realizada por medida direta ou indireta. Na forma direta os resultados são obtidos dos dados experimentais por meio de instrumentos de medição graduados. E a medição indireta é obtida por meio de outras grandezas, que estão relacionadas a uma dependência conhecida, por exemplo, a medição de distância realizada por ultrassom (Caetano, 2013).

A medição de nível é uma das atividades do monitoramento ambiental e está relacionada a cálculos, relações hidráulicas e hidrológicas, da qualidade da água. Ainda fornece subsídio para validação de modelos matemáticos, de predição de poluição, alterações relacionadas a cenários de mudanças de uso do solo, mudanças climáticas, entre outros (Nogueira, 2020; Pérez, 2019)

Deve ser adequada para os usos pretendidos, sendo necessário o planejamento da rede de monitoramento para o estabelecimento de atividade prática e que seja viável economicamente (Strobl; Robillard, 2008). Entre os objetivos podem ser citados: (i) estudos específicos, (ii) calibração de modelos, (iii) acompanhamento periódico da qualidade das águas, (iv) avaliação do atendimento à legislação, (v) avaliação do desempenho, (vi) controle operacional e (vii) estudos emergenciais (Von Sperling, 2014).

A importância do monitoramento das águas está relacionada ao entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água em determinado local. Conhecer esses processos possibilita maximizar os serviços ecossistêmicos (SE), que são os benefícios obtidos do ecossistema (MEA, 2005). Diante do cenário de mudanças climáticas e de seus efeitos locais, o investimento em monitoramento confiável, com acesso remoto e de baixo custo é uma necessidade que pode preservar vidas e a economia de uma região (Pérez, 2019).



O monitoramento do nível d'água está entre as variáveis ambientais de maior interesse no monitoramento de corpos hídricos e na drenagem, possibilita o levantamento do escoamento superficial que aflui a determinada área ou local. O uso de sensores de medição de nível no monitoramento ambiental em corpos hídricos é uma ação crescente. O desenvolvimento de algoritmos e tempos de processamento rápidos faz com que o levantamento e análise de dados para resolução de um problema já levantado, sejam atividades rápidas e precisas. (Pereira *et al.*, 2021).

Os sistemas de drenagem urbana sustentáveis ou sistemas de drenagem alternativos trazem mudança do paradigma atual, e mais recentemente passaram também a ser denominadas soluções baseadas na natureza (SbN), que englobam as IEV e buscam o estabelecimento de relações harmônicas com o meio ambiente, com a mimetização da natureza e com uma abordagem sistêmica das questões de drenagem urbana (Butler e Davie, 2018). Estas provêm uma gama de SE que precisam ser mensurados, e sendo os sistemas de biorretenção um dos tipos de IEV, para o entendimento de seus processos que envolvem diversas e complexas relações hidráulicas, hidrológicas e de condução da água pela vegetação. A mensuração da entrada e saída de água no sistema é a forma mais elementar do levantamento do balanço hídrico e mais realizada até o momento, na área de engenharia. Dentre os diversos processos podem-se especificar os hidrológicos que incluem: precipitação, interceptação, infiltração, evapotranspiração, fluxo de água na superfície da terra e subterrâneo, captação e retenção do escoamento superficial (Chui *et al.*, 2016).

Para quantificar processos em experimentos de SbN, o sensoriamento em tempo real e equipamentos experimentais de baixo custo são ferramentas essenciais, pois possibilitam o levantamento de extensa série de dados, para a mensuração de seu desempenho (Gobatti *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2021; Schütze *et al.*, 2004). Os microcontroladores de circuito integrado (MCI) têm sido uma alternativa para registro de dados ambientais de baixo custo (Margolis *et al.*, 2020; Lockridge *et al.*, 2016; Horsburgh *et al.*, 2019).

Neste artigo, desenvolveu-se um sensor de baixo custo para medição de nível composto por um microcontrolador tipo ESP associado a um transmissor/receptor ultrassônico (Pereira *et al.*, 2021). O sensor US-025 é alimentado por uma fonte de 3,2 V e esse hardware permite a aquisição e armazenamento de dados com frequência máxima de 0,5 Hz. A operação e transferência de dados são realizadas através de comunicação Wi-Fi.

MATERIAIS E MÉTODOS

O uso de sensores de baixo custo em pesquisa científica é uma alternativa frente aos sensores comerciais de alto custo, pois permite aumentar a resolução espacial do monitoramento e coleta de dados. Horsburgh *et al.* (2019) indicam que uma estação de monitoramento ambiental, sem considerar os sensores propriamente ditos, pode ter o custo superior a US\$ 5.000,00 e os sensores podem custar acima da casa de milhares de dólares. Para o desenvolvimento de sensores não comerciais, Naveen *et al.* (2020) mostram que um medidor de vazão idealmente deve ter um design adaptável e evitar materiais que não suportem fadiga. Ainda que o sensor desenvolvido e testado não seja à prova d'água ou intempérie pode ser substituído de maneira fácil e barata.

Princípio de funcionamento do sensor

A distância entre o sensor e o nível do líquido é determinado por meio do tempo entre o pulso emitido (trigger) e o refletido (eco) (Caetano, 2013; Dionísio, 2020; Gobatti *et al.*, 2022), que na equação de velocidade de propagação do som no ar possibilita a determinação da distância entre o sensor e o nível de água. A Figura 1 apresenta esquema do princípio de funcionamento do sensor US-025.

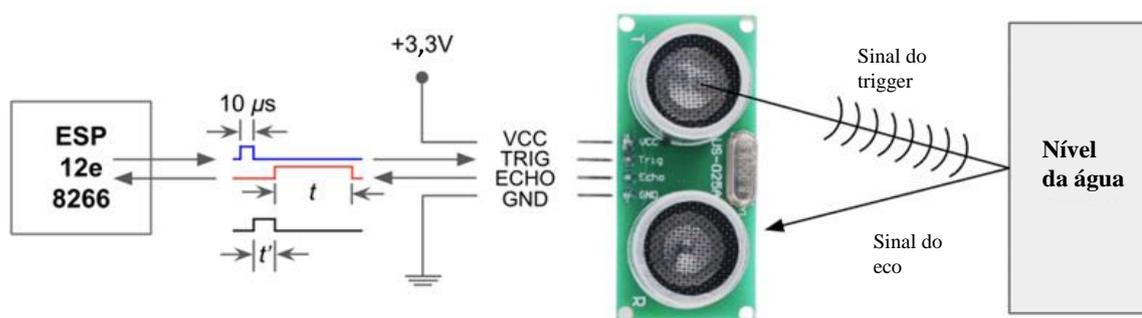


Figura 1 – Princípio de funcionamento do sensor US-025. Elaborado pelos autores. Fonte: Panda *et al.* (2016).

Microcontrolador

O ESP 12e 8266 é um pequeno módulo wireless, medindo 24 mm por 16 mm, com uma antena Wi-Fi integrada. A voltagem de operação é 3,3 V, o que melhora a precisão do conversor do US-025 que opera em 5 V. A alimentação é realizada por uma bateria de 3,7 V 18650 e um diodo, apresentado na Figura 2 e também possibilita o trabalho em locais sem acesso a fontes de alimentação.

O usuário interage com o microcontrolador por meio de um botão e o conversor serial USB módulo FTDI FT232RL é necessário para carregar o código no módulo. O acionamento do botão ativa o sistema de comunicação do microcontrolador. A comunicação se dá por conexão a uma rede Wi-Fi conhecida e por seu endereço IP. O usuário pode utilizar uma interface para realizar ações

como: coletar e apagar os dados registrados, configurar os passos de tempo, verificar a conexão do sistema com a rede Wi-Fi, ajustar o relógio e outras funções programáveis. A configuração proposta pode funcionar usando redes de dados de celulares ou usando totalmente a Internet das Coisas (IoT) se uma rede sem fio estiver ao alcance.

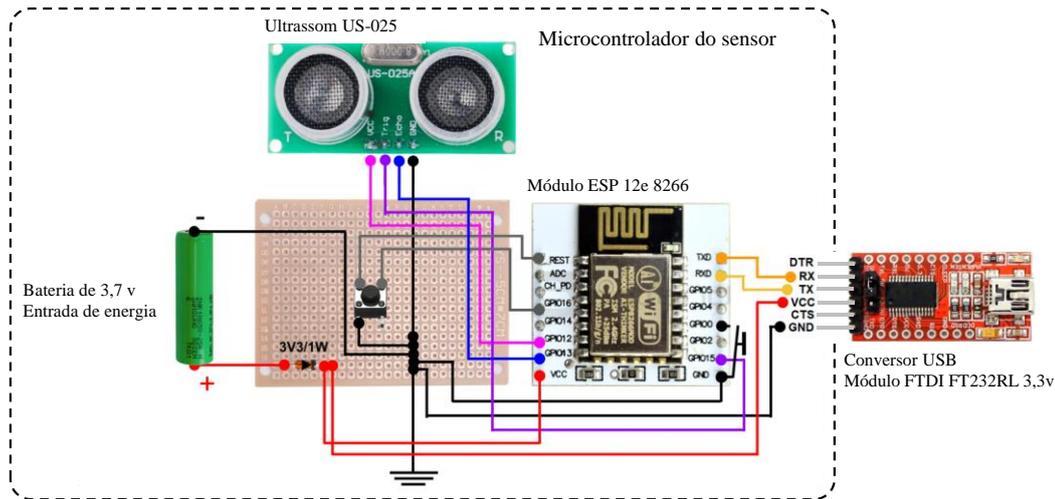


Figura 2 – Desenho esquemático do circuito. Fonte: Gobatti *et al.* (2022).

Design

O módulo do sensor ultrassônico foi fixado em um conjunto de 2 caps de PVC encaixados nas extremidades de um pedaço de tubo de 75 mm, vedados com cola impermeabilizante. O cap inferior foi perfurado para o encaixe do sensor de nível ultrassônico, de forma a ser direcionado para o líquido e que também permaneça protegido. A Tabela 1 apresenta as características do sensor desenvolvido.

Tabela 1 - Características dos sensores desenvolvidos.

Sensor ultrassônico	Voltagem de operação (V)	Corrente de operação (mA)	Frequência de operação (KHz)	Acurácia (m)	Alcance (m)	Ângulo de medição	Custo US\$
	3 ~ 3,3	15	40	0,003 m	0,02 – 0,4	<15°	13,70

Fonte: os autores.

Locais de instalação

Os sensores desenvolvidos pela equipe do Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH) estão em uso nos locais: sistemas de biorretenção, tetos vegetados e no canal de drenagem da Universidade de São Paulo (USP); também no lago Hedberg na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó. O sensor de nível testado está instalado em um dos sistemas de biorretenção, implantado no campus da Universidade de São Paulo no Butantã. A Figura 3 apresenta o local de implantação.



Figura 3 – Locais com sensores operando. Fonte: PMSP (2022). Elaborado pelos autores.

O projeto de biorretenção, que é uma solução baseada na natureza (SbN), faz parte dos projetos do programa USP Sustentabilidade, implantada em frente à entrada do Núcleo de Recreação Infantil do Centro de Práticas Esportivas (NURI-CEPEUSP), apresentada na Figura 4.



(a)

(b)

Figura 4 – (a) Implantação da biorretenção (b) biorretenção após implantação com caixa de proteção do sensor.

Fonte: os autores.

O sensor ultrassônico é um dos dispositivos usado no monitoramento desse sistema de biorretenção. Até o momento foi implantado um sensor de nível com controlador ESP32, interface Wi-Fi e memória RAM de até 4Mbytes; sensor de radiação solar e vertedor para o cálculo da vazão por meio do nível obtido.

Validação

A validação foi realizada em condições controladas de laboratório, na bancada do experimento de hidrometria, e os equipamentos utilizados para validação foram: suporte para os sensores, régua e sensor ultrassônico comercial. Os resultados validados até o momento são de sensores ultrassônicos utilizados em experimentos de biorretenção. A Figura 5 (a) apresenta a vista geral da bancada montada para o experimento e a (b) apresenta a vista aproximada dos sensores testados.

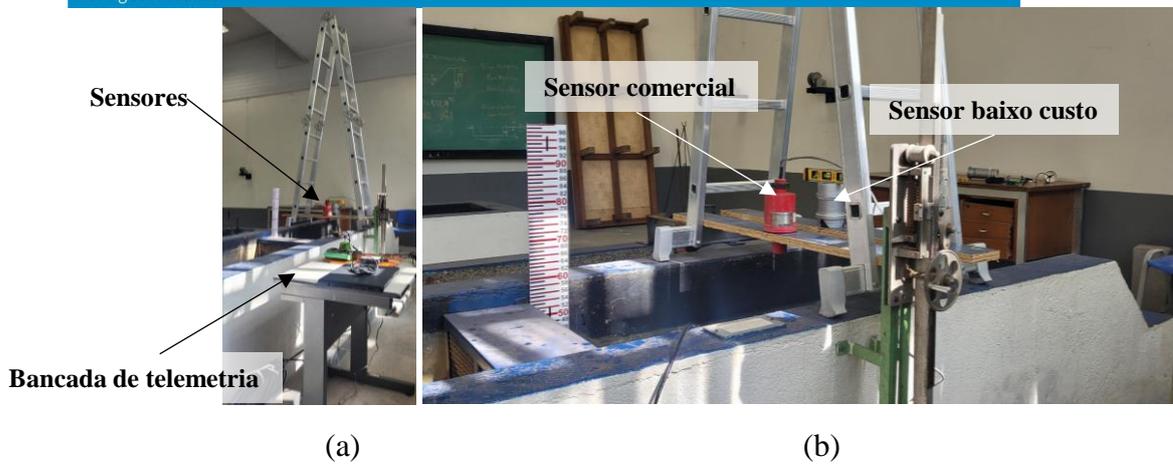


Figura 5 – (a) vista geral da bancada (b) vista aproximada dos sensores em teste. Fonte: os autores.

O sensor ultrassônico comercial utilizado para os testes foi o fabricado pela Nivelco, modelo Easy Trek, que tem alcance de 4m e precisão de $\pm 0,2\%$ da distância medida somado a 0,05% do alcance, sob condições ótimas de reflexão e temperatura do transdutor estável. A resolução que depende da distância a ser medida e no caso é menor que 1m, é de 1 mm.

O processo foi realizado com apoio da equipe de telemetria do Sistema de Alerta a Inundação de São Paulo (SAISP), que disponibilizou uma estação de transmissão remota, o módulo com microcontrolador e régua. Foi criado um canal dentro da rede telemétrica, do SAISP, na qual os dados ficaram armazenados durante os testes. *A posteriori*, os valores dos sensores comerciais foram disponibilizados para as análises.

Para a realização do experimento os sensores foram colocados em suporte a uma altura de 0,70 m do fundo do canal e foram nivelados. Na sequência, abriu-se o registro de controle de água para o canal e realizou-se medições com três níveis d'água diferentes durante 30 min. Os valores capturados dos sensores comerciais foram armazenados na rede do SAISP e os capturados pelos sensores de baixo custo foram baixados no celular por meio de transmissão Wi- Fi.

Para a verificação da aderência dos resultados do sensor comercial com os dos sensores de baixo custo realizou-se análise comparativa por meio da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) e comparou-se a variação da medição ao longo do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sensor validado no laboratório está em campo captando dados de nível e, em um dos eventos de chuva real na entrada da célula de biorretenção, apresentou resposta satisfatória. O gráfico dos resultados de campo do sensor testado em laboratório está apresentado na Figura 6.

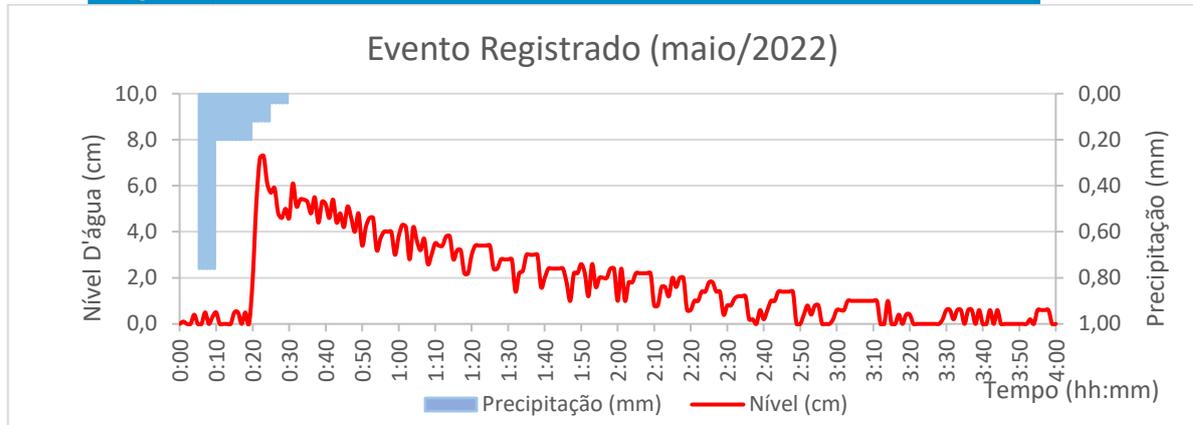


Figura 6 - Evento registrado na entrada da célula de biorretenção. Fonte: os autores.

Após a certificação de que o sensor estava respondendo adequadamente, realizados os experimentos comparativos em laboratório, os resultados obtidos foram plotados. A Figura 7 apresenta o gráfico comparativo entre o valor medido pelo sensor de baixo custo e o comercial, bem como a variação da medição de ambos.

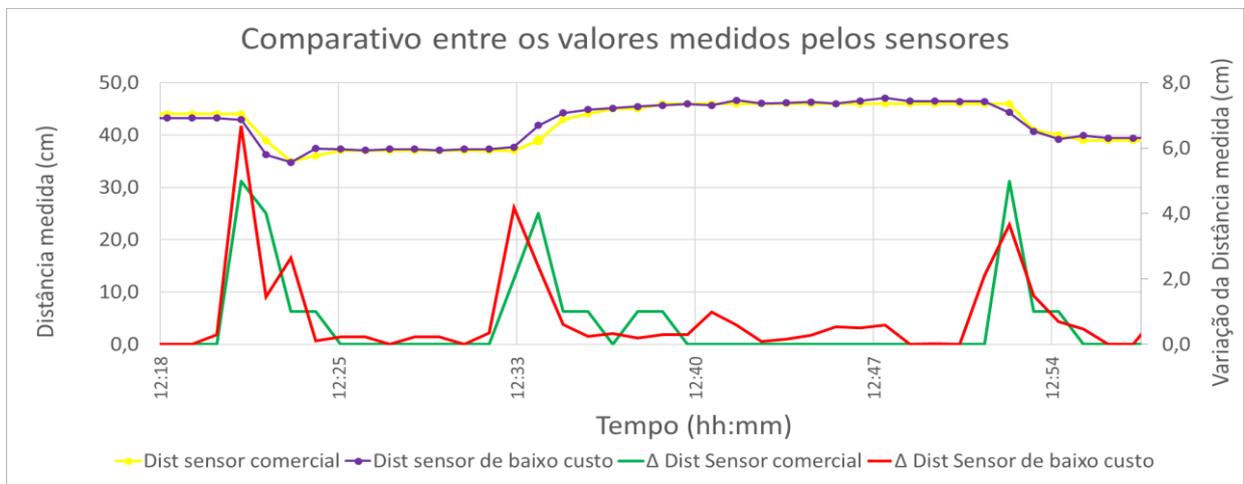


Figura 7 - Comparativo entre os valores medidos pelos sensores. Fonte: os autores.

Nota-se graficamente que existe uma boa correlação entre os valores medidos pelos dois sensores, a qual resultou em um valor de REMQ inferior a 0,01. Esse valor, apesar do reduzido espaço amostral (30 medidas, uma por minuto), indica forte correspondência entre a medição do sensor de baixo custo e o sensor comercial, este considerado referência a ser equiparada. As variações das medições também apresentaram similitude entre ambos os sensores, com algumas flutuações. Provavelmente, tais diferenças estão ligadas aos arredondamentos feitos na obtenção da distância média calculada por minuto para os pulsos emitidos nesse intervalo de tempo.



Fica evidente a sensibilidade do sensor de baixo custo, que consegue capturar flutuações milimétricas em um cenário real, onde a turbulência do escoamento provoca perturbações na superfície do fluxo. Dependendo da aplicação, esse grau de precisão e sensibilidade pode ser necessário; no entanto não para aplicações hidrométricas em escala real, uma vez que existem outras incertezas envolvidas que impactam uma ordem de grandeza superior.

As distâncias medidas no teste em laboratório e no campo foram inferiores a meio metro. Isso permite que não existam interferências devido ao formato cônico do pulso emitido pelo sensor ultrassônico. Essa questão precisa ser avaliada em distâncias diversas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se uma configuração dos sensores de nível desenvolvidos no CTH. Além da descrição do sistema e resultado de aquisição de dados de campo, apresentou-se também medição simultânea com outra fonte de dado de nível confiável para aferição de seus resultados. Ainda são necessários aperfeiçoamentos e aplicações em outros corpos hídricos para validação em diferentes cenários.

Os resultados obtidos até o momento mostram que o sistema é uma alternativa economicamente viável, reproduzível e compatível com as medições de sensores comerciais. Dessa forma, são equipamentos promissores do ponto de vista da qualidade dos dados obtidos, da autonomia dos equipamentos e da maior resolução temporal e espacial que a aplicação desses sensores pode proporcionar. É ideal para aplicações em estudos e projetos de pesquisa com baixo orçamento de laboratório e de campo e promissor para quantificar estruturas públicas *in loco*.

As tecnologias utilizadas na construção desses sensores estão evoluindo de forma acelerada, o que possibilita a quantificação dos benefícios reais das SBNs, como por exemplo: quantidade de água, identificação de espécies vegetais mais resistentes a determinada radiação solar, temperatura de regiões vegetadas e outros SE. Hardwares e softwares, desde a captação analógica da grandeza física, seu registro, comunicação, tratamento e aplicação, são alvos de novas pesquisas deste grupo. Monitoramento em tempo real, por meio de tecnologias IoT também está no escopo de novos sistemas de monitoramento em desenvolvimento. Ademais, outros sensores de baixo custo, como o de temperatura, umidade e turbidez, estão sendo desenvolvidos e aplicados para aquisição de dados de campo, simultaneamente com sensores comerciais para a devida validação. Também estão sendo desenvolvidos sistemas de monitoramento por vídeo com aplicação de aprendizado de máquina.



19 a 23 de setembro de 2022
Brasília/DF



XIV ENCONTRO NACIONAL DE
ÁGUAS URBANAS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

IV SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO
DE RIOS URBANOS

CT Águas Urbanas

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem o suporte da CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, a FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e a PRCEU - Pró-Reitoria de Cultura e Extensão da USP.

REFERÊNCIAS

- BUTLER, D; DAVIES, J. W. (2018). *Urban Drainage*. CRC Press Flórida EUA, 552 p.
- CAETANO, E. RICK S. S. A. (2013). “Projeto de um medidor ultrassônico de nível e medidor de turbidez” (monografia de disciplina) pp. 54.
- CHUI, T. F. M.; LIU, X.; ZHAN, W. (2016) "Assessing cost-effectiveness of specific LID practice designs in response to large storm events". *Journal of Hydrology*, v. 533, pp. 353–364.
- DIONÍSIO, R. V. (2020). “Medição de nível por pressão hidroestática”. *Robótica*, n. 121, pp.10- 12.
- GOBATTI, L.; MARTINS, J. R. S.; PEREIRA, M. C. S.; LEITE, B. C. C. (2022).. "Real-time sensing and low-cost experimental setup for water quantity investigation in Nature-based Solutions". *Blue-Green Systems*, v. 4, n. 2, pp. 1–14.
- HORSBURGH, J. S.; CARABALLO, J., RAMÍREZ, M.; AUFDENKAMPE, A. K.; ARSCOTT, D. B.; DAMIANO, S. G. (2019) “Low-cost, open-source, and low-power: But what to do with the data?”. *Frontiers in Earth Science*, v. 7, p. 67, 2019.
- LOCKRIDGE, G.; DZWONKOWSKI, B.; NELSON, R.; & POWERS, S. (2016) "Development of a low-cost arduino-based sonde for coastal applications". *Sensors*, n. 4, pp. 528.
- MARGOLIS, M.; JEPSON, B.; WELDIN, N. R. (2020) "Arduino cookbook: recipes to begin, expand, and enhance your projects". O'Reilly Media, , pp. 800.
- MEA, Millenium Ecosystem Assesment (2005). "Ecosystems and human well-being: Synthesis. Millennium ecosystem assessment" World Health, v. 1134, pp. 25-60.
- NAVEEN, H., NARASIMHAN, S., GEORGE, B., TANGIRALA, A.K. 2020. “Design and Development of a Low-Cost Cantilever-Based Flow Sensor”, *IFAC-PapersOnLine*, pp. 111-116.
- NOGUEIRA, F. F. (2020) "Métodos de monitoramento e estimativa de cargas poluidoras difusas em bacias hidrográficas". (dissertação de mestrado)
- PANDA, K. G.; AGRAWAL, D.; NSHIMIYIMANA, A.; HOSSAIN, A. (2016). "Effects of environment on accuracy of ultrasonic sensor operates in millimetre range". *Perspectives in Science*, v. 8, p. 574-576.
- PEREIRA, M. C. S.; DUARTE, B. P. S.; NOGUEIRA, F. F.; SILVA, F. P.; GOBATTI, L.; LEITE, B. C. C.; MARTINS, J.R. S. (2021) "Utilização de equipamentos de monitoramento de baixo custo de baixo custo para aplicação em corpos hídricos" in *Anais do XXIV SBRH*. Nov. 2021
- PÉREZ, C. G.;(2019) "Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para registro contínuo de variação do nível da água contribuindo à formação de sistemas de alerta de eventos naturais extremos - Estudo de caso complementado por variáveis ambientais em cananéia (SP-Brasil) (dissertação de mestrado) pp. 101.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *Mapa Digital da Cidade de São Paulo*. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br> #. Acesso em: 03 jun. 2022.
- SCHÜTZE, M., CAMPISANO, A., COLAS, H., SCHILLING, W.; VANROLLEGHEM, P. A. (2004) “Real time control of urban wastewater systems—where do we stand today?”. *Journal of hydrology*, v. 299, n. 3-4, pp. 335-348.
- STROBL, R. O.; ROBILLARD, P. D. (2008) "Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review". *Journal of Environmental Management*, v. 87, n. 4, p. 639–648.
- VON SPERLING, M. (2014) *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. DESA/UFMG, 592 p.