

## Sistema de Medição de Nível por Ultrassom baseado na Máxima Verossimilhança e Ferramentas de IoT

Alan R. D. do Nascimento\* Lucas D. de Oliveira\*  
Juan M. M. Villanueva\* José H. B. da Silva\* João S. da S. Junior\*

\* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da  
Paraíba, PB, e-mail: (alan.filho, lucasd.oliveira, jmauricio,  
jose.dasilva, joao.junior)@cear.ufpb.br.

**Abstract:** Tank level measurement is extremely important for the correct functioning of hydraulic systems. Generally, the ease of implementation combined with the costs involved are prioritized, which leads to the installation of a single sensor. However, this can decrease the reliability of the results and make the system dependent on the good functioning and durability of the sensor, generating frequent maintenance and recalibration expenses. In this sense, a solution consists of using multiple redundant sensors, enabling the use of fault detection techniques and data fusion for a more accurate estimation. In this article, an ultrasound level measurement system and data fusion based on Maximum Likelihood is presented, together with online supervisory monitoring. In this way, the process of construction and integration of hardware and software is described, as well as its experimental results and cost survey.

**Resumo:** A medição de nível de reservatórios detém extrema importância para o correto funcionamento de sistemas hidráulicos. Geralmente, preza-se pela facilidade de implementação aliado aos custos envolvidos, o que leva à instalação de um único sensor. Entretanto, isso pode diminuir a confiabilidade dos resultados e põe o sistema em dependência do bom funcionamento e durabilidade do sensor, gerando despesas de manutenção e recalibrações frequentes. Nesse sentido, uma solução consiste em usar múltiplos sensores redundantes possibilitando a utilização de técnicas de detecção de falhas e fusão de dados para uma estimação de maior precisão. Nesse artigo, um sistema de medição de nível por ultrassom e fusão de dados baseado na Máxima Verossimilhança é apresentado, aliado também ao monitoramento por supervisor online. Dessa forma, o processo de construção e integração de hardware e software é descrito, assim como seus resultados experimentais e levantamento de custos.

**Keywords:** Level Measurement; Maximum Likelihood; Ultrasonic Sensor; Flight time; Data Fusion; Internet of Things; IoT.

**Palavras-chaves:** Medição de Nível; Máxima verossimilhança; Sensor Ultrassônico; Tempo de Voo; Fusão de Dados; Internet das Coisas; IoT.

### 1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, as aplicações industriais requerem a instalação de múltiplos sistemas de aquisição de dados para fins de monitoramento e controle, tais como: medição de nível e volume de líquidos em tanques e recipientes, em situações como tanques de óleo, recipientes de combustível, abastecimento público de água, sistemas de osmose reversa, entre outros.

Assim, para esse tipo de medição, uma gama de tecnologias foi proposta usando diferentes abordagens: sensores baseados em fibra óptica (Antunes et al. (2015)), efeito Doppler (Zhang et al. (2017)), pressão (Nikolov and Nikolaeva (2008)), alterações de capacitância (Shim (2013)) e ressonância plasmônica de superfície (Pozo et al. (2016)). Entretanto, cada tecnologia tem seus pontos fortes e fracos sob diferentes condições, levando a uma série de desafios a serem considerados pela comunidade acadêmica, incluindo

custo de implementação, condições ambientais, instalação, distância de detecção e manutenção a longo prazo. Nessa esfera, os sensores ultrassônicos parecem promissores pois têm alta precisão, baixo custo, podem trabalhar com pressões de até 2 megapascal (MPa), temperaturas de até 100 °C assim como possuem alcances de até 30 m, Dunn (2005).

Independentemente do princípio de medição a ser utilizado, na instrumentação sempre tem-se o objetivo de fornecer medições confiáveis e precisas. Dito isso, grande parte da responsabilidade reside no tratamento de dados, ou seja, na metodologia aplicada nos dados coletados para fornecer bons resultados. Nesta linha de raciocínio, uma técnica consolidada consiste na utilização de sensores em redundância permitindo a aplicação de técnicas de estimação de medições baseadas em fusão de dados. Essa técnica consiste na combinação de dados derivados de fontes distintas, visando obter uma informação de maior confiabilidade através da fusão de diferentes informações

conhecidas, Hall and Llinas (1997). Logo, a informação resultante tem menor incerteza do que seria possível quando essas fontes são utilizadas individualmente.

Um dos maiores interesses ao se implementar um sistema de medição é a disponibilidade da informação medida, isto é, possibilitar ou facilitar o acesso à uma informação anteriormente difícil ou inacessível. Atualmente uma forma de facilmente obter informação se dá através da conexão à internet, impulsionado pelo campo da Internet das Coisas (do inglês Internet of Things (IoT)) cujo desenvolvimento cresce rapidamente. Nesse sentido, as tecnologias de IoT permitem uma fácil conexão e transferência de dados entre máquinas e com o avanço dessas tecnologias, uma das áreas com maior proveito é sem dúvidas a instrumentação, que através da alta conectividade e rápida comunicação tornou possível avanços, como a indústria 4.0. Para alcançar esta fácil e ampla conectividade a dispositivos muitas vezes de pequeno porte, com baixo poder computacional e baixo consumo energético, a IoT utiliza de protocolos de comunicação, tais como MQTT, HTTP e o ModBus TCP/IP, muito utilizados em soluções industriais para acompanhar a performance dos elementos da planta.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a implementação de um sistema de medição de nível de reservatórios utilizando transdutores ultrassônicos baseado em técnicas de fusão de dados, especificamente a técnica baseada em MLE (Maximum Likelihood Estimation). Complementarmente, foi desenvolvido um procedimento para a detecção de falha de sensores e diminuição das incertezas, aliado a integração de um supervisor online para monitoramento.

## 2. SISTEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEL PROPOSTO

O sistema de medição de nível proposto é visto na Fig. 1 e, como pode ser observado, é baseado em uma integração de diversas tecnologias de hardware e software.

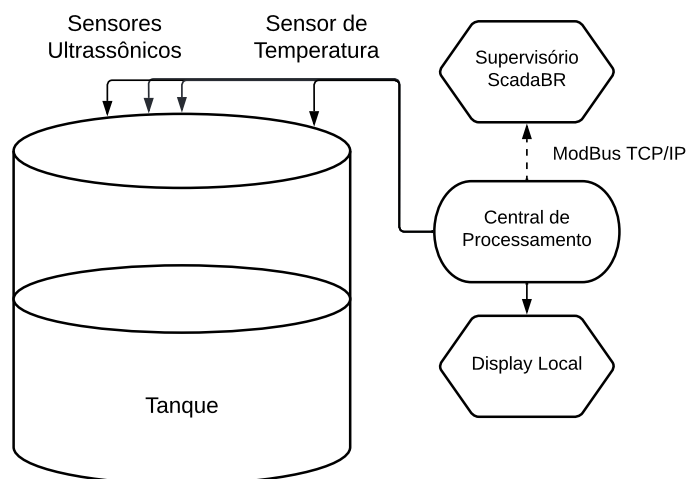


Figura 1. Esquemático Geral do Sistema.

Seu funcionamento é baseado em três sensores ultrassônicos redundantes, um sensor de temperatura e fusão de dados, fornecendo um sistema de medição de nível não-invasivo, capaz de realizar a estimação do nível com menor incerteza e identificar falhas em um ou mais sensores.

Nesse sentido, um microcontrolador ESP32 é utilizado para acionar o circuito dos sensores e medir o tempo de voo ((do inglês *Time-of-Flight (ToF)*)) dos ecos refletidos pela superfície da água recebidos pelo sensor ultrassônico que corresponde ao nível da água, no microcontrolador também é realizada a fusão de dados, onde realiza-se a correção do efeito da temperatura na velocidade do som, após isso, identifica-se se existe um sensor defeituoso e é realizada uma recalibração automática. Através do protocolo ModBus TCP/IP, os dados são lançados para um supervisor online ScadaBR onde podem ser acessados e salvos conforme desejado. Por fim, os resultados experimentais ilustram a eficácia do sistema instalado para acessar a informação localmente ou via internet, assim como sua confiabilidade e boa estimação realizada através do uso da fusão de dados.

## 3. LÓGICA DE MEDIÇÃO

Os sensores ultrassônicos podem ser utilizados para a medição da distância através do uso de ondas ultrassônicas. Assim, um dos modos de operação mais comumente utilizados é a medição de distância por *ToF*. Seu funcionamento é baseado no modo de eco de pulso, i.e. o sensor emite uma onda ultrassônica e recebe a onda refletida por um objeto ou obstáculo. Nesse sentido, os sensores ultrassônicos medem a distância até o alvo através da medição do tempo entre a emissão e a recepção (Fig. 2), sendo por isso chamado como um sensor de tempo de voo.

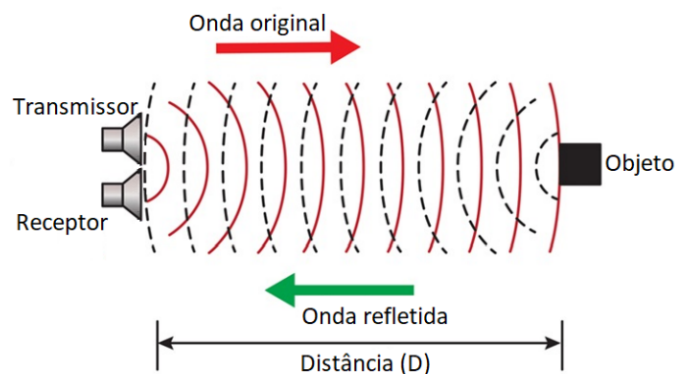


Figura 2. Princípio de Funcionamento do sensor para a estimação do *ToF*.

### 3.1 Processo de Medição

Para realizar a estimação do *ToF*, o sensor HC-SR04 (Fig. 3), após receber um sinal positivo em seu *trigger* por 10 microsegundos, emite oito pulsos à 40 kHz através de seu emissor e aciona seu receptor aguardando um eco (reflexão das ondas ultrassônicas). Em caso havendo, o sensor então aciona sua saída por uma duração igual ao tempo levado entre emissão e reflexão recebida. Este princípio de funcionamento está ilustrado na Figura 4.

A partir da medição do tempo de voo e dos conhecimentos da cinemática, a distância entre o dispositivo ultrassônico e o objeto em estudo pode ser estimada por meio da seguinte equação:

$$D = \frac{Ct}{2} \quad (1)$$

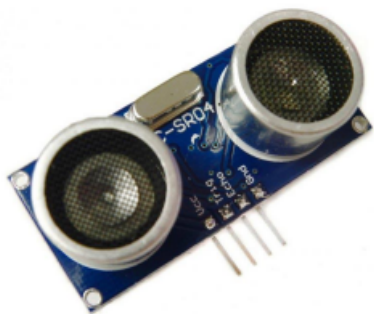


Figura 3. Sensor HC-SR04.

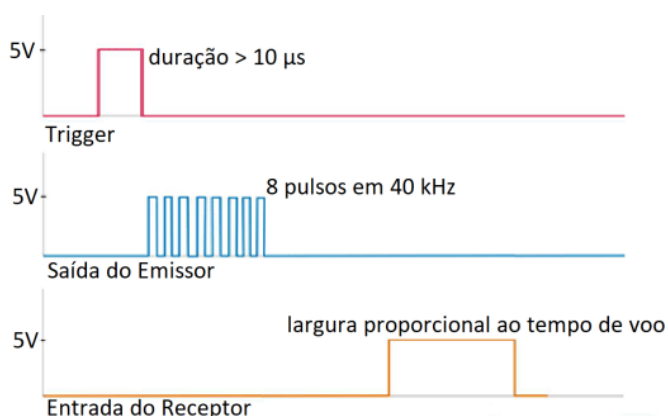


Figura 4. Princípio de Funcionamento do sensor HC-SR04.

em que  $D$  é a distância entre dispositivo e objeto,  $C$  é a velocidade do som e  $t$  é o tempo entre a emissão e recepção da onda sonora.

### 3.2 Efeito da Temperatura

Como foi observado, a medição de distância através do sensor ultrassônico por tempo de voo está diretamente ligada à velocidade do som. Boa parte dos dispositivos comerciais adotam uma velocidade do som constante, geralmente calculada para uma temperatura de 25 °C, este é o caso do sensor adotado HC-SR04, que utiliza  $C = 340$  m/s. Porém a velocidade do som varia com a temperatura e tal efeito pode propagar erros de medição notáveis ao medir distância via tempo de voo.

Desta maneira, a velocidade do som como função da temperatura pode ser encontrada através da seguinte equação (Kaimal and Businger (1963)):

$$C \approx 20.074\sqrt{T + 273.15} \quad (2)$$

em que  $C$  é a velocidade do som e  $T$  é a temperatura em graus Celsius.

A Tabela 1 exemplifica como a variação de temperatura pode impactar consideravelmente as medições, mostrando a importância de levar em consideração a temperatura do local de medição para uma melhor medição de distância via ultrassom. Assim, para o sistema proposto, o sensor de temperatura e umidade utilizado foi o DHT11.

Tabela 1. Efeito da variação de temperatura na medição de distância via ultrassom.

Temperatura (°C)	20	25	30	35	40	45
Velocidade do Som (m/s)	343,29	346,20	349,09	351,96	354,81	357,63
Tempo para $D = 300\text{cm}$ (ms)	17,48	17,33	17,19	17,05	16,91	16,78
Distância Medida (cm)	297,12	294,62	292,18	289,80	287,48	285,21

A título de detalhamento, para temperaturas maiores, em torno de 40 °C (frequentemente observadas dentro de reservatórios, como aquele utilizado neste projeto), percebe-se um erro de cerca de 12 cm na medição do nível quando não se leva em consideração a temperatura dentro do reservatório para uma distância entre o sensor e a superfície da água de 300 cm.

## 4. APLICAÇÃO DA FUSÃO DE DADOS PARA ESTIMAÇÃO DE DISTÂNCIAS

A fusão de dados é o processo de integração de múltiplas fontes de dados para produzir informações mais consistentes, precisas e úteis do que as fornecidas por qualquer fonte de dados individual, Haghghat et al. (2016). Dentre os múltiplos benefícios em realizar fusão de dados, dois de extrema importância ao utilizar tal técnica serão discutidos e aplicados neste trabalho. São eles: detectar falhas nos sensores e prover uma menor incerteza de medição.

### 4.1 Detecção de Falhas

À medida que o campo da automação avança, sistemas mais seguros e confiáveis são altamente desejáveis. Qualquer mal funcionamento numa fábrica resulta em uma redução da eficiência da planta, qualidade reduzida do produto e, às vezes, pode resultar em fatalidades. Portanto, a detecção de falhas e o monitoramento do processo estão se tornando parte integrante dos modernos sistemas de controle, Kousar et al. (2012).

As falhas têm significados diferentes quanto a sua interpretação final e a sua importância. Assim, o uso de múltiplos sensores redundantes permite utilizar suas medições, assim como de seus históricos, para detectar problemas através da fusão de dados. Dessa maneira, a forma aplicada para a identificação de falhas do tipo *outlier* se dá através da distância euclidiana entre as medições. Essa distância pode ser encontrada através da expressão 3. Logo, ao se calcular as diferenças entre medições, pode-se atribuir uma tolerância máxima. Nesse sentido, caso a medição de uma distância, em relação as demais, ultrapassar essa tolerância, então tal valor será considerada como *outlier* e descartado.

$$d_{mn} = |x_m - x_n| \quad (3)$$

em que  $d_{mn}$  é a distância euclidiana entre as medições  $x_m$  e  $x_n$ .

Além de permitir a identificação de falhas nos sensores, outro ponto de interesse ao realizar a fusão de dados é prover uma melhor estimativa de medições redundantes. Dessa forma, um algoritmo que buscar diminuir as incertezas

nas medições é a Estimção de Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood Estimation (MLE), em inglês).

#### 4.2 Estimção de Máxima Verossimilhança (MLE)

Em estatística, a Estimção de Máxima Verossimilhança é um método para estimar os parâmetros de uma distribuição de probabilidade através da maximização de uma função de verossimilhança, de modo que sob o modelo estatístico assumido, os dados observados são os mais prováveis.

Como visto, os sensores ultrassônicos possuem uma faixa de incerteza em suas medições. Naturalmente, grandes incertezas implicam em pouca confiabilidade no processo de medição. Assim, como demonstra a Figura 5, o método MLE empregado tem como objetivo fundir os dados dos três sensores de forma que a incerteza na medição final seja menor do que a menor incerteza das medição dos sensores, Villanueva et al. (2009).

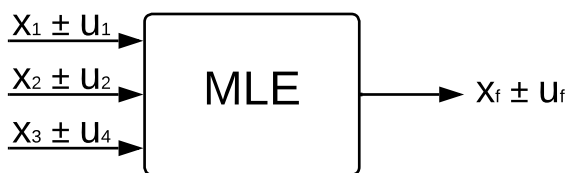


Figura 5. Representação do MLE.

A partir de três fontes de dados, cada uma com medições  $X$  e incertezas  $U$ , o MLE é capaz de obter uma medição  $X_f$  com incerteza  $U_f$ , de forma que:

$$U_f < U_1, U_2, U_3 \quad (4)$$

$$\frac{1}{U_f^2} = \frac{1}{U_1^2} + \frac{1}{U_2^2} + \frac{1}{U_3^2} \quad (5)$$

Nesse sentido, para o sistema proposto, as técnicas de fusão de dados para detecção de falhas, a fim de identificar *outliers*, aliado ao algoritmo MLE, para diminuição da incerteza final, foram aplicados.

#### 4.3 Internet das Coisas e Protocolo ModBus TCP/IP

Com o desenvolvimento da ciência e das tecnologias de comunicação, a Internet das Coisas nasceu e rapidamente se viu presente em diversas aplicações. A Internet das Coisas (do inglês Internet of Things (IoT)) é um sistema de dispositivos de computação inter-relacionados, máquinas mecânicas e digitais, objetos, animais ou pessoas que recebem identificadores únicos (UIDs) e a capacidade de transferir dados através de uma rede sem exigir interação entre homem-homem ou homem-máquina. Na instrumentação, a Internet das Coisas pode ser aplicada ao conectar sensores e microcontroladores à internet, fazendo uso de um protocolo de comunicação máquina-máquina (em inglês Machine to Machine (M2M)).

A partir do avanço das tecnologias de comunicação sem fio, busca-se cada vez mais implementar alternativas que integram a IoT ao cotidiano, ou seja, aproximam cada vez mais

o mundo digital ao físico revolucionando a comunicação dos objetos físicos entre si e daqueles que os utilizam, com o intuito de garantir uma melhora no que tange a segurança e proteção, conforto, comunicação, gerenciamento técnico e autonomia. Atualmente, os sistemas de supervisorio e monitoramento estão cada vez mais conectados. Assim, a IoT fornece soluções de baixo custo, baixo consumo de energia e simples instalação e configuração.

Logo, tendo em mãos o sistema de medição local funcionando, resta apenas fornecer estes dados à uma plataforma online para então poder acessar via internet. Para isso, escolheu-se trabalhar com o protocolo ModBus TCP/IP devido à sua simplicidade e bom desempenho. Esse protocolo é baseado na estrutura Cliente-Servidor (Fig. 6): cada cliente abre uma conexão direta com um servidor, formando uma conexão de um para um, onde o servidor aguarda requisições dos clientes para responder. Paralelamente, os clientes têm a função de realizar a conexão com o servidor, fazer as requisições e receber as respostas do servidor. Nesse sentido, os clientes nunca se conectam a outros clientes e não respondem a requisições. Os servidores, por sua vez, aguardam conexões e requisições de clientes e atendem a elas com os dados solicitados, de forma que os servidores nunca realizam requisições, Bai et al. (2018).

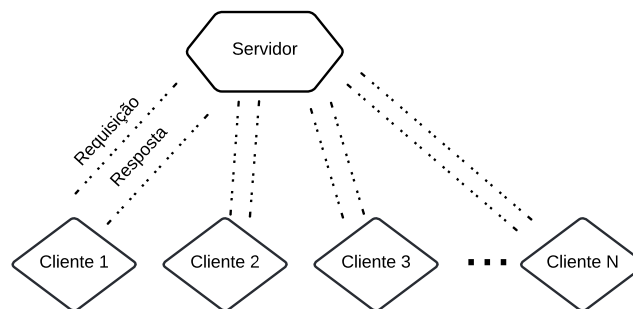


Figura 6. Representação do protocolo ModBus TCP/IP.

No sistema proposto, o servidor foi estabelecido de forma hospedada, a partir da biblioteca *Modbus-ESP8266*, no microcontrolador utilizado ESP32, o qual foi escolhido por ser uma solução de baixo-custo, baixo-consumo de energia e possuir módulos Wi-Fi e Bluetooth integrados.

Pelo outro lado, para o monitoramento dos dados obtidos, o cliente configurado para o sistema foi o supervisorio utilizado: o ScadaBR. Mais detalhadamente, o ScadaBR consiste em um software livre, gratuito e de código-fonte aberto, para desenvolvimento de aplicações de automação, aquisição de dados e controle supervisorio. Assim, após conectados todos os nós na rede, a plataforma permite a criação de uma interface gráfica para o monitoramento em tempo-real dos dados obtidos. O diagrama de fluxo do funcionamento do sistema assim como o código em C++ desenvolvido são demonstrados no Apêndice A.

## 5. RESULTADOS

Com o intuito de mensurar o desempenho do sistema, uma validação prévia das técnicas de fusão de dados foi realizada em bancada. Em seguida, foi feita a instalação física no reservatório em seguida da integração ao ambiente de monitoramento remoto. Por fim, um levantamento de

custos é apresentado a fim de demonstrar a viabilidade financeira do sistema.

### 5.1 Validação do Sistema

Procedimentos foram conduzidos a partir da combinação dos três sensores para avaliar o desempenho do método de MLE. Assim, a Figura 7 ilustra os resultados obtidos após aplicar o algoritmo nas medições coletadas de três testes de validação.

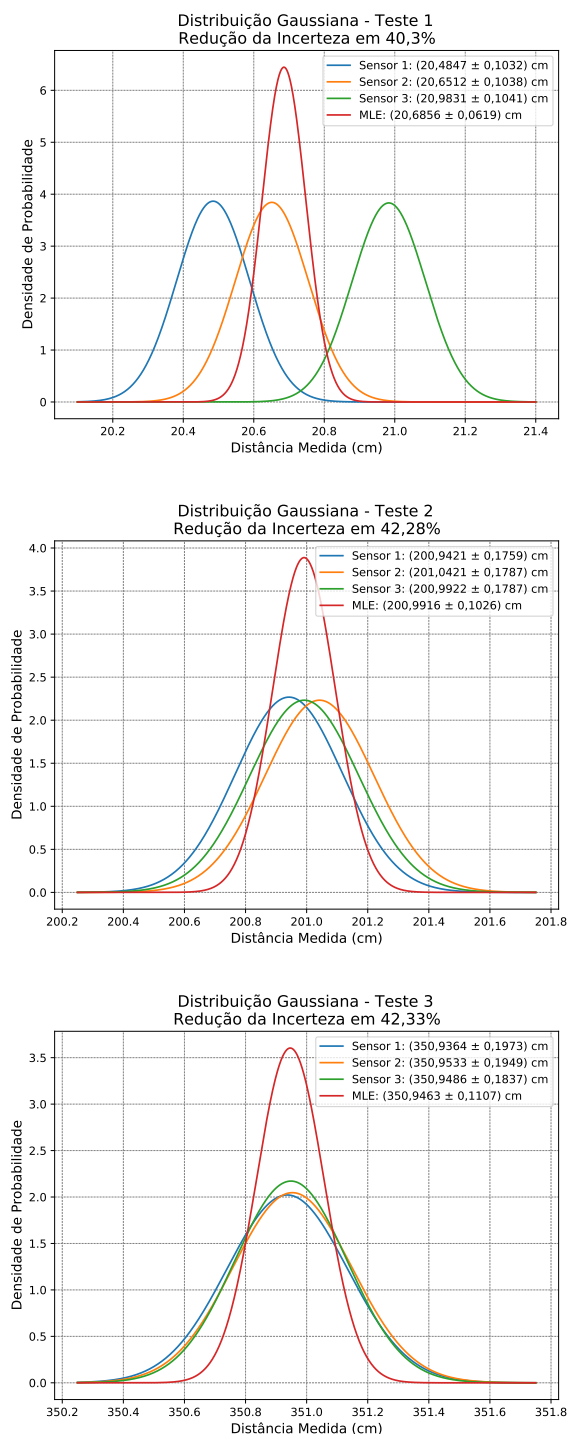


Figura 7. Efeito do Algoritmo MLE.

Pode-se perceber que a incerteza provida pelo algoritmo de estimação é consideravelmente menor que qualquer incerteza individual daquele teste. Como foi observado anteriormente, os sensores ultrassônicos HC-SR04 apresentam melhores resultados para menores distâncias, porém percebeu-se, após a aplicação do algoritmo, que independentemente da distância entre sensores e superfície refletora, o desvio padrão foi reduzido em cerca de 40% quando comparado às medições individuais de cada sensor, o que demonstra a eficácia do algoritmo desenvolvido.

### 5.2 Instalação Física

A Figura 8 representa a instalação definitiva do sistema no reservatório.



Figura 8. Instalação Final.

Como visto, sua implementação partiu de dois pontos principais:

- Central de processamento de dados (Host): quadro de disjuntores adaptado para receber o microcontrolador ESP32, o display LCD 16x2, botão e um disjuntor utilizado para energizar o sistema (Fig. 9).
- Barra de Sensores: haste de alumínio de comprimento igual ao diâmetro do reservatório, onde foram fixados os sensores ultrassônicos e de temperatura, que foi fixada no topo do reservatório (Fig. 10).

### 5.3 Integração ao Supervisório

Com o uso a plataforma ScadaBR conectada a ESP32 por meio do protocolo ModBus TCP/IP, um painel de monitoramento foi desenvolvido tendo em vista os dados processados pelos sensores e os procedimentos de detecção de erros adotados. As variáveis escolhidas para serem demonstradas foram o nível do tanque (cm), seu volume ( $L$ ) e a temperatura ambiente ( $C$ ). Sendo assim, a Figura 11 ilustra a interface criada.

### 5.4 Análise de Custos

A fim de analisar a viabilidade financeira desse sistema, um levantamento de custos foi feito, como consta na Tabela 2. Assim, pode-se perceber que o custo de instalação foi de em média 200 reais (retirando os custos de prototipagem), o que corrobora mais uma vantagem, dessa vez em termos

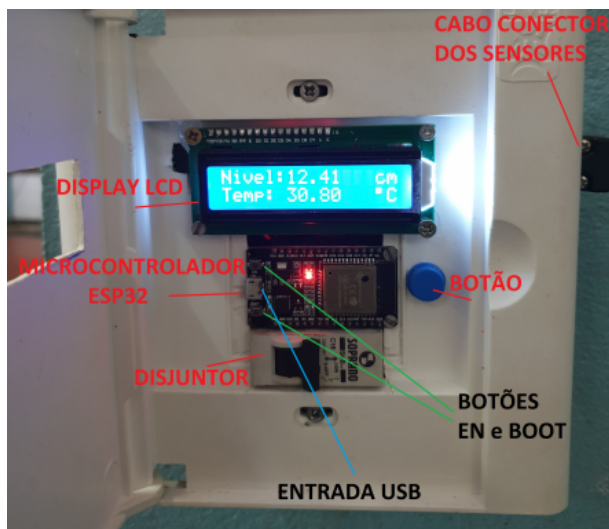


Figura 9. Central de processamento de dados.

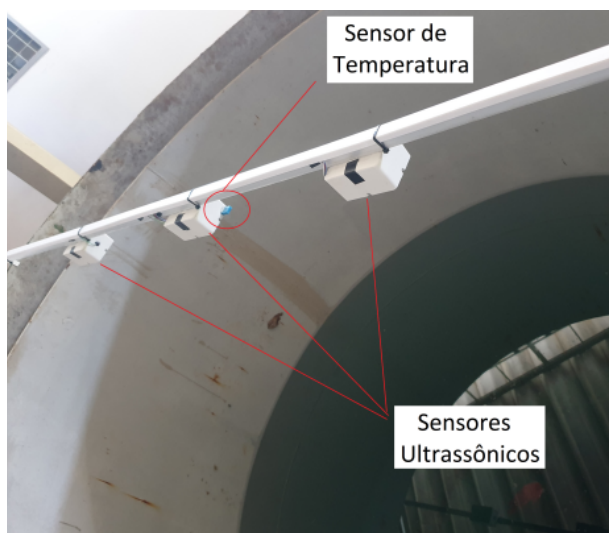


Figura 10. Barra de Sensores.

financeiros, do projeto, à medida que as demais soluções existentes no mercado se iniciam a partir de 300 a 350 reais.

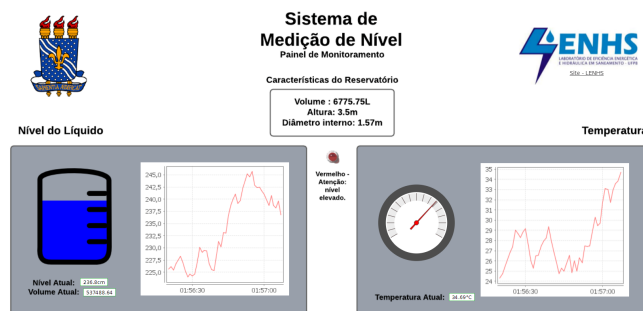


Figura 11. Painel de Monitoramento.

Tabela 2. Custos de Implementação

Componentes	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Sensor Ultrassônico HC-SR04	3	R\$12,50	R\$37,50
Sensor de Temperatura DHT11	1	R\$13,90	R\$13,90
Microcontrolador ESP32	1	R\$50,00	R\$50,00
Quadro de Disjuntores	1	R\$24,00	R\$24,00
Display LCD 16x2	1	R\$20,00	R\$20,00
Cabos	-	R\$50,00	R\$50,00
Elaboração de Placa de Circuito Impresso	1	R\$10,00	R\$10,00
Demais custos de prototipagem	-	R\$25,00	R\$25,00
<b>Despesas Totais</b>			<b>R\$230,40</b>

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma aplicação de técnicas de fusão de dados e ferramentas de IoT através de um sistema de medição de nível, implementado em um tanque de 350 cm de altura e 157 cm de diâmetro interno. O objetivo permaneceu concentrado em utilizar das técnicas e ferramentas citadas para demonstrar sua efetividade, assim como prover um sistema que auxiliará a imersão do laboratório no patamar tecnológico da indústria 4.0, através da utilização de sistemas inteligentes e aplicação do campo da internet das coisas.

Diante do que foi proposto, foram utilizados algoritmos de estimação através da fusão de dados de sensores redundantes, o que possibilitou e otimizou a detecção de falhas, técnica de extrema importância para evitar medições errôneas ou dependência do bom funcionamento de um único sensor na planta. Além da detecção de falhas realizada com sucesso, as técnicas implementadas apresentaram melhorias em torno de 40% no desvio padrão da estimação quando comparado às medições individuais dos sensores. Portanto conclui-se que um resultado excelente foi obtido, justificando a aplicação destas técnicas e comprovando a eficácia desta abordagem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), pertencente ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio fornecido para o desenvolvimento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Antunes, P., Dias, J., Paixao, T., Mesquita, E., Varum, H., and Andre, P. (2015). Liquid level gauge based in plastic optical fiber. *Measurement*, 66, 238–243.
- Bai, Q., Jin, B., Wang, D., Wang, Y., and Liu, X. (2018). Compact modbus tcp/ip protocol for data acquisition systems based on limited hardware resources. *Journal of Instrumentation*, 13(04), T04004.
- Dunn, W. (2005). *Introduction to instrumentation, sensors, and process control*. Artech.
- Haghighat, M., Abdel-Mottaleb, M., and Alhalabi, W. (2016). Discriminant correlation analysis: Real-time feature level fusion for multimodal biometric recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 11(9), 1984–1996.
- Hall, D.L. and Llinas, J. (1997). An introduction to multisensor data fusion. *Proceedings of the IEEE*, 85(1), 6–23.
- Kaimal, J. and Businger, J. (1963). A continuous wave sonic anemometer-thermometer. *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, 156–164.
- Kousar, F., Abid, M., and Khan, A.Q. (2012). Sensor fault detection in coupled liquid tanks system. In *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 318–324. IEEE.
- Nikolov, G. and Nikolova, B. (2008). Virtual techniques for liquid level monitoring using differential pressure sensors. *Recent*, 9(2), 49.
- Pozo, A.M., Pérez-Ocón, F., and Rabaza, O. (2016). A continuous liquid-level sensor for fuel tanks based on surface plasmon resonance. *Sensors*, 16(5), 724.
- Shim, J. (2013). Liquid level measurement system using capacitive sensor and optical sensor. *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, 37(7), 778–783.
- Villanueva, J.M.M., Catunda, S.Y.C., and Tanscheit, R. (2009). Maximum-likelihood data fusion of phase-difference and threshold-detection techniques for wind-speed measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(7), 2189–2195.
- Zhang, B., Wei, Y.J., Liu, W.Y., Zhang, Y.J., Yao, Z., Zhao, L.H., and Xiong, J.J. (2017). A liquid level measurement technique outside a sealed metal container based on ultrasonic impedance and echo energy. *Sensors*, 17(1), 185.

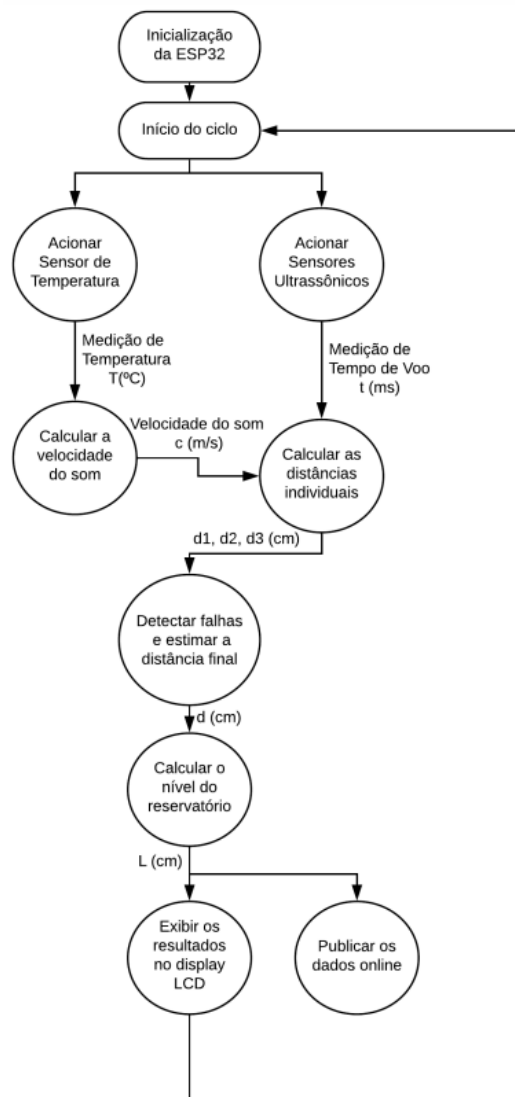


Figura A.1. Lógica Geral de Funcionamento.

## Apêndice B. SUPERVISÓRIO SCADABR

Os sistemas supervisórios são programas que são responsáveis por monitorar dados importantes de um sistema de forma autônoma, como por exemplo no processo produtivo dentro de uma instalação fabril. Sendo assim, por extenso, o termo SCADA significa supervisão e aquisição de dados e o BR representa a origem de seus desenvolvedores. Endereço para obtenção:

<https://www.scadabr.com.br>

## Apêndice A. PROGRAMAÇÃO E LÓGICA GERAL DE FUNCIONAMENTO

A princípio, antes de trabalhar na codificação do sistema, foi idealizado o fluxograma de operações (Fig. A.1). Além disso, o código completo utilizado no sistema consta em:

<https://github.com/lucasddoliveira/Sistema-de-Medicao-de-Nivel-por-Ultrassom-baseado-na-Maxima-Verossimilhanca-e-Ferramentas-de-IoT.git>