

LOW-COST SYSTEM FOR LEAK DETECTION IN WATER SUPPLY NETWORKS

L. M. C. FAIS*, T. FEITOSA, A. L. S. S. MARTIM, T. S. dos S. XIMENES

Universidade Estadual de Campinas

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8612-5415>*laura@ft.unicamp.br*

Submitted June 5, 2023 - Accepted November 27, 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.16353

ABSTRACT

With the advancement of technology, sensors have been developed for various applications, including detecting leaks in water distribution networks. This work aims to propose a low-cost system for detecting leaks in water networks. The tests were carried out in a simulated network at the Hydraulics and Fluid Mechanics Laboratory of the Faculty of Civil Engineering and Urbanism at UNICAMP, where sensors were installed to measure flow, water level, noise, turbidity, temperature

and an extensometer. Real-time readings were received and processed by a microcontroller board (Arduino UNO), and sent to a web page (PHP language) via a Wi-Fi module (ESP8266). An application was also developed, in Java language, to visualize the readings obtained. In laboratory tests, the sensors proved suitable for detecting leaks and triggering audible and visual alarms in the event of leaks.

KEYWORDS: water supply systems, monitoring, sensors, leak, strain gauge

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DE VAZAMENTO EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, sensores vem sendo desenvolvidos para diversas aplicações, dentre elas a detecção de vazamentos nas redes de distribuição de água. Este trabalho tem como objetivo propor um sistema de baixo custo para detecção de vazamentos em redes de água. Os testes foram realizados em uma rede simulada do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia Civil e Urbanismo da UNICAMP, onde foram instalados sensores para medição de vazão, nível d'água, ruído, turbidez, temperatura e um

extensômetro. As leituras em tempo real foram recebidas e processadas por uma placa microcontroladora (Arduino UNO), e enviadas para uma página da Web (linguagem PHP) por meio de um módulo Wi-Fi (ESP8266). Foi desenvolvido também um aplicativo, em linguagem Java, para visualização das leituras obtidas. Em testes de laboratório, os sensores se mostraram adequados para detectar vazamentos e disparar alarmes sonoros e visuais em caso de vazamentos.

Palavras chave: sistemas de abastecimento de água, monitoramento, sensores, vazamento, *strain gauge*

1 INTRODUÇÃO

O intenso processo de urbanização e crescimento populacional ao longo dos anos tornou necessário um desenvolvimento rápido de infraestrutura, especialmente de sistemas de abastecimento de água potável, já que a população foi se instalando cada vez mais distante dos cursos d'água. (Silva, Varanis, Mereles, Oliveira, Balthazar, 2019)

As aplicações dos sistemas de tubulações abrangem o transporte de água, petróleo, gás, além de efluentes. Assim, é necessário a avaliação do material mais adequado para cada tipo de sistema, em função de sua extensão, diâmetro, fluido transportado, dentre outras variáveis. Além disso, essas tubulações estão sujeitas a forças externas, provocando deformação e, conseqüentemente vazamentos, que resultam em problemas ambientais e prejuízos financeiros. (Martim, 2011; Kousiopoulos, Papastavrou, Karagiorgos, Nikolaidis, Porlidas, 2019; Gnatowski, Kijo-Kleczkowska, Chyra, Kwiatkowski, 2021).

Além das questões de custo-benefício do material, é importante considerar que, para a realização de medições em sistemas mecânicos, é necessário entender como um objeto reage a diferentes estímulos ou forças. Quando esse objeto sofre alterações físicas como reação à essas forças, ocorre o processo de deformação, definida como a relação entre a variação de comprimento de um material e o seu comprimento original.

O avanço tecnológico tornou possível a medição de deformações utilizando sensores. Segundo Santos (2010), estes são dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Dentre os sensores existentes, pode-se citar o *strain gauge*, que é um dos mais eficientes, e se mostrou adequado para medir diversos tipos de deformações. O *strain gauge* fornece, em resposta à deformação, um sinal elétrico que pode ter como base a resistividade, capacitância, indutância, ou ainda princípio óptico, mecânico ou fotoelétrico.

Ainda segundo Martim (2011), com um *strain gauge* baseado na forma resistiva, combinado com uma ponte de Wheatstone, é possível medir a diferença nas suas resistências, quando submetidos a diferentes tipos níveis de deformação, obtendo um resultado com precisão adequada, que apresenta a combinação de esforços longitudinais e circunferenciais a que a tubulação está submetida. A partir destas medições, é possível o desenvolvimento de modelos de previsão de ruptura confiáveis.

Gnatowski et al. (2021) realizaram análises numéricas e investigações experimentais da deformação de tubos de polietileno para diferentes valores de carga externa aplicada. Foram medidas as deformações da superfície inferior e superior do tubo durante o carregamento, a partir da deformação de *strain gauges* localizados na tubulação em distâncias iguais e os resultados obtidos a partir da análise numérica foram comparáveis aos obtidos a partir do estudo experimental. A medição das tensões foi baseada diretamente na relação entre a resistência elétrica e o comprimento do fio do sensor, a partir da Equação (1):

$$R = \delta \frac{Ld}{A} \quad (1)$$

Onde:

R = resistência elétrica do sensor (Ω);

δ = resistência específica do sensor (Ω);

L_d comprimento do sensor (mm);

A = área da seção transversal (mm^2).

Ainda segundo os autores, o incremento relativo de resistência (ΔR) é proporcional a deformação do material (ΔL), e pode ser determinado a partir da relação expressa pela equação (2):

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \delta}{\delta} + \frac{\Delta L_d}{L_d} - \frac{\Delta A}{A} \quad (2)$$

Onde:

$\frac{\Delta \delta}{\delta}$ = incremento relativo da resistência específica;

$\frac{\Delta L_d}{L_d}$ = deformação relativa do sensor;

$\frac{\Delta A}{A}$ = deformação relativa da seção transversal do sensor.

As deformações que ocorrem nas tubulações podem dar origem a rompimentos circunferenciais e, neste caso, pode ser utilizado um microfone de eletreto para verificação acústica de ruído de fuga de água. Sabzevari e Javadpour (2023) propuseram uma nova técnica para localizar vazamento artificial em dutos de gás, enterrados e não enterrados, enterrado, implementando dois microfones de eletreto simples, em apenas um lado do vazamento, e análise de atenuação de sinais gravados. O experimento foi realizado em um tubo de aço carbono pressurizado para validar o método proposto, e os resultados experimentais mostraram a eficácia da técnica proposta em dados de baixa taxa de amostragem.

Kousiopoulos et al. (2019) apresentaram um método de Emissão Acústica para a detecção e localização de um vazamento em uma tubulação, empregando sensores acústicos montados na superfície externa da tubulação, que recebem sinais acústicos gerados pela existência de um vazamento. A localização do vazamento pode ser obtida determinando a diferença de tempo entre os momentos em que tal sinal acústico chega a dois sensores adjacentes. Com base nos resultados, foram obtidos diversos resultados, relativos à localização de fissuras nas condutas, bem como, os conteúdos espectrais do ruído.

O uso de sensores e microcontroladores tem aplicações não só na Hidráulica, mas em diversas áreas. Medeiros, André, Valcacer e Barbosa (2020) utilizaram um microcontrolador para a realização de um projeto de placa de sombreamento baseado na plataforma Arduino. Com

este sistema, os autores tiveram um ganho na conversão da energia solar em energia elétrica, comparando com um sistema fixo.

Assim, este projeto de pesquisa teve como objetivo avaliar e monitorar dados em tubulações de água utilizando sensores de vazão e temperatura da água, associando-as à detecção de vazamentos e à prevenção de ruptura com o microfone de eletreto, sensor de deformação e componentes eletrônicos. Foi avaliada também a viabilidade do monitoramento a partir de uma página da web, além de um sistema de alarme sonoro em caso de detecção de vazamento. Considerando que o projeto foi realizado em laboratório, o sistema mostrou-se viável para utilização. Em uma próxima etapa, serão realizados teste em redes reais, com diâmetros maiores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste projeto foi aplicado um sistema funcional com 6 diferentes tipos de sensores, que juntos coletam dados do escoamento, neste caso, a água. Um protótipo operante coletou dados que eram recebidos por uma placa microcontroladora e enviados para uma página Web via módulo Wi-Fi. Na Figura 1 mostra-se o esquema do projeto.



Figura 1: Esquema do sistema desenvolvido.

O sistema desenvolvido conta com duas placas microcontroladoras, programadas em linguagem C++ que fazem o controle das leituras dos sensores e envio dos dados para uma página Web, criada com linguagem HTML (Linguagem de Marcação de Hipertexto).

Além da placa microcontroladora, são utilizados sensores para detecção de possíveis vazamentos em tubulações, sendo eles o microfone de eletreto, sensor de turbidez e *strain gauge*, além de monitoramento da vazão e temperatura da água.

Desenvolveu-se uma página Web para visualização dos valores lidos pelos sensores em tempo real, além de um alarme sonoro (*buzzer*) caso fosse detectado um possível vazamento ou ruptura. Para esse monitoramento foi utilizado um módulo Wi-Fi para transmissão dos dados.

Antes da definição da utilização deste módulo, foram realizados testes de sinal com resultados satisfatórios e, com isso, descartou-se a necessidade/possibilidade de utilizar um módulo GSM.

As conexões ocorrem no microcontrolador ATmega328 (contido na placa Arduino UNO) e o módulo Wi-Fi ESP8266 que é capaz tanto de hospedar uma aplicação, quanto descarregar todas as funções de redes Wi-Fi a partir de outro processador de aplicação.

Primeiramente, foram testados todos os sensores separadamente para validação dos seus funcionamentos para implementação no protótipo. Em seguida, foram todos testados em conjunto e verificações das leituras de todos os sensores pelo microcontrolador. Depois dos testes dos sensores em dispositivos caseiros e menores, foi criada uma página Web para visualização destes valores. Portanto, os resultados foram apresentados em tempo real na página Web criada.

A partir daí, foram realizados testes do sistema completo no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FECFAU/UNICAMP). Foram necessárias algumas alterações, pois a placa utilizada para realizar a transmissão dos dados foi a ESP8266, e esta possui somente uma porta analógica. Assim, foi feita uma multiplexação desta, para que mais de um sensor enviasse os dados ao mesmo tempo.

Na sequência, análises e testes constantes de aperfeiçoamentos do sistema e programação da página Web estão sendo estudados para uma melhor apresentação dos dados. Com o sistema eletrônico implementado na tubulação, resultados da incidência de deformação já são objeto de análise para um melhor entendimento de rupturas e vazamento nestes. Na Figura 2 mostra-se o sistema completo do protótipo desenvolvido.

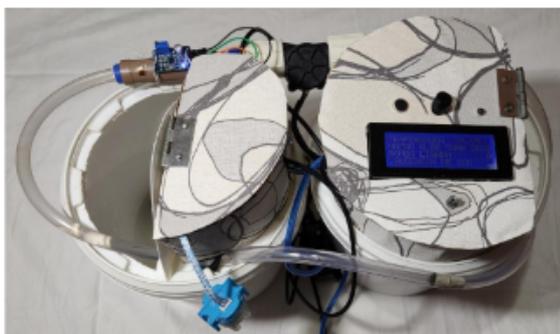


Figura 2: Protótipo para testes de funcionamento do sistema completo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um primeiro resultado deste projeto é a criação da página Web. A linguagem utilizada para a construção da página foi o HTML. Na Figura 3 mostram-se as telas da página desenvolvida, com os dados coletados pelos sensores, em tempo real.

Para a construção do protótipo foram utilizados dois recipientes de plástico que juntos simularam o ambiente real do escoamento de água de um recipiente a outro. Nas Figuras 4, 5, e 6

mostram-se as localizações dos sensores e suas discriminações, conforme legenda, acoplados ao protótipo desenvolvido.

O ciclo desenvolvido possibilita que a água passe por cada sensor e colete a ação e o impacto que este desenvolve no ambiente e/ou material, gerando um dado que é disposto de forma remota em uma página Web por meio de transmissão com o módulo Wi-Fi (internet).

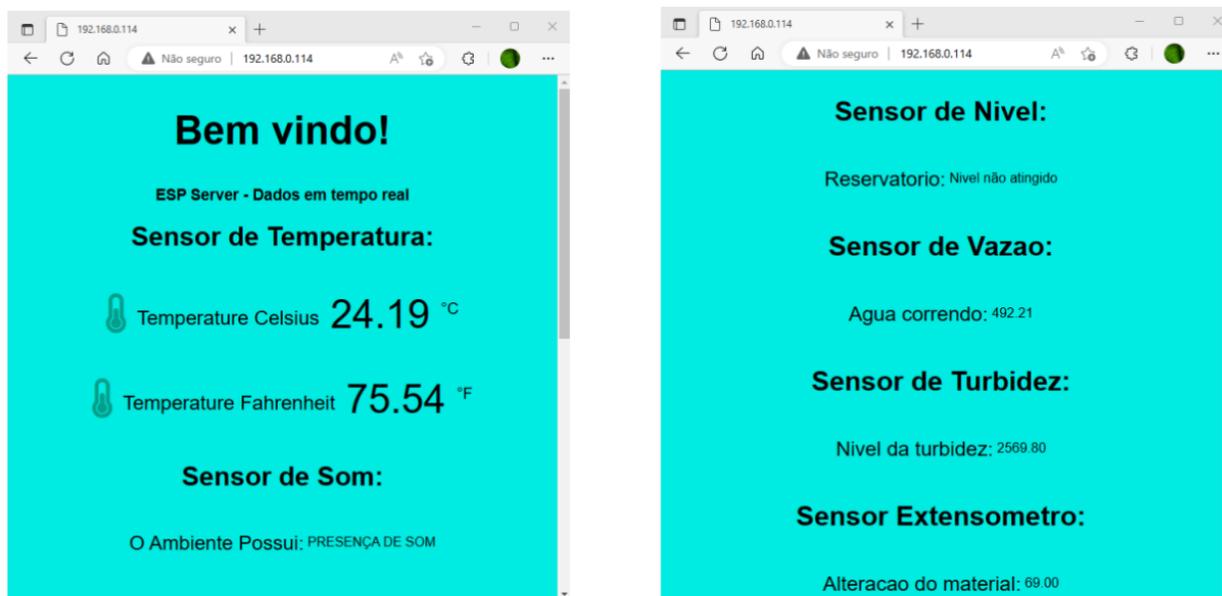


Figura 3: Telas da página Web com as leituras dos sensores em tempo real.

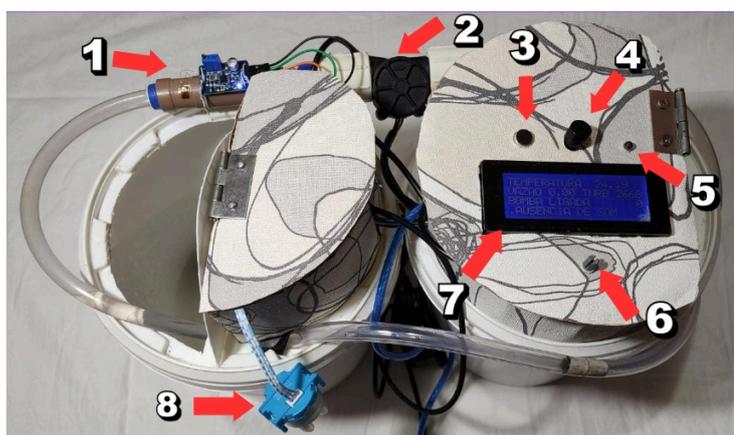


Figura 4: Componentes acoplados no protótipo: 1- *strain gauge*; 2- sensor de vazão; 3- sensor de som; 4- *buzzer*; 5- led; 6- potenciômetro; 7- *display LCD*; 8- sensor de turbidez.

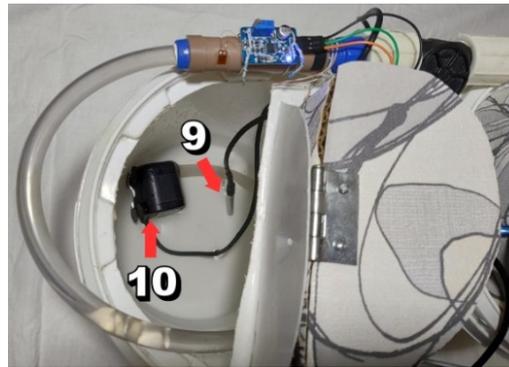


Figura 5: Componentes internos acoplados no protótipo: 9- sensor de temperatura; 10- bomba d'água.

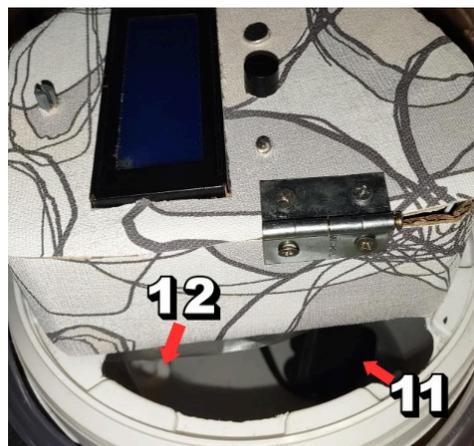


Figura 6: Demais componentes internos acoplados no protótipo: 11- bomba d'água; 12- sensor de nível.

É importante demonstrar e averiguar que temos à disposição um display LCD, que disponibiliza em tempo real dados da temperatura, vazão, turbidez; se a primeira bomba d'água está ligada ou desligada e presença de som no ambiente, pois pode ocorrer perda de sinal em algum momento. Inclusive, isso aconteceu durante alguns testes no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Unicamp. A Figura 7 mostra a tela do LCD com estes dados citados.



Figura 7: Tela do display LCD durante os testes no laboratório.

Durante a realização dos testes foi possível confirmar que os sensores funcionaram corretamente devido aos valores lidos e às condições da água, reservatório e tubulações do local. Com isso, o protótipo desenvolvido pode ser validado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de um sistema para monitoramento de redes de abastecimento de água para detecção de possíveis vazamentos em tubulações. Para a construção do protótipo foram utilizados sensores de vazão, de temperatura de água, de nível de líquido, de som, *strain gauge*, uma placa microcontroladora para processamento dos resultados dos sensores e das bombas d'água e um módulo Wi-Fi para comunicação e visualização dos resultados em tempo real por uma página Web criada. Caso alguma leitura dos sensores atingisse nível diferente do considerado normal, um *buzzer* é acionado como alerta sonora.

Destaca-se o baixo custo do sistema, aproximadamente R\$ 180,00 (U\$ 37, sendo em 03/08/2023 U\$1 = R\$ 4,92), quando comparado ao custo de um corante para detecção de infiltração, ou de equipamentos como geofones, utilizados por técnicos para a detecção de vazamentos em redes de abastecimento.

Em uma próxima etapa, os sensores serão testados em ambiente real, e os resultados serão utilizados para a proposta de um modelo de previsão de ruptura. Além disso, será testada a viabilidade da instalação de um motor para atuar no fechamento de um registro em caso de detecção de vazamento e a implementação em um ambiente real.

5 AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- Gnatowski, A.; Kijo-Kleczkowska, A. ; Chyra, M.; Kwiatkowski, D. (2021) Numerical Experimental Analysis of Polyethylene Pipe Deformation at Different Load Values. *Materials*, 14, 160. <https://doi.org/10.3390/ma14010160>
- Kousiopoulos, G-P; Papastavrou, G-N.; Karagiorgos, N.; Nikolaidis, S.; Porlidas, D. (2019). Pipeline Leak Detection in Noisy Environment, *In: 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, Thessaloniki, Greece, pp. 1-5, doi: 10.1109/MOCAST.2019.8741673
- Martim, A. L. S. S. (2011) *Reverse Analysis of a Maintenance Prediction Model in Water Supply Networks*. Doctoral Thesis, Universidade Estadual de Campinas. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2011.803687>

Sabzevari, S.A. H. and Javadpour, S. M. (2023) Leakage localization in an underground pressurized pipeline in steady-state. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 205, <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2023.104979>.

Santos, F. de A. M dos. (2010) Projeto de Irrigação Inteligente. *Holos*, 5(36). <https://doi.org/10.15628/holos.2010.553>

Silva, A. L.- Varanis, M.; Mereles, A. G.; Oliveira, C.; Balthazar, J. M.; 2019. A study of strain and deformation measurement using the Arduino microcontroller and strain gauges devices. *Brazilian Journal of Physics Education*, 41(3).

Medeiros, I.P.M.; André, T.S.; Valcacer, M.; Barbosa, C.R.F (2020). Avaliação da Eficiência de protótipo solar de baixo custo com movimento baseado em sensor de luminosidade. *Holos*, 2(36).

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Canno Ferreira Fais, L. M., Feitosa, T., Sotero Salustiano Martim, A. L., & Simões dos Santos Ximenes, T. (2023). LOW-COST SYSTEM FOR LEAK DETECTION IN WATER SUPPLY NETWORKS. *HOLOS*, 5(39). <https://doi.org/10.15628/holos.2023.16353>

ABOUT THE AUTHORS

L. M. C. F. FAIS

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2007); Professor Doutor MS 3.2 na Faculdade de Tecnologia da Unicamp (FT/UNICAMP). É docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, na FT/UNICAMP. Seus principais interesses de pesquisa são Obras Hidráulicas e Segurança de Barragens.

E-mail: laura@ft.unicamp.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8612-5415>

T. FEITOSA

Aluno do quinto ano de Engenharia de Telecomunicações na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP). Seus principais interesses de pesquisa são automação e controle.

E-mail: t224830@dac.unicamp.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8450-5765>

A. L. S. S. MARTIM

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2011); Professor Doutor MS 3.2 na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp (FECFAU/UNICAMP). Docente no Departamento de Recursos Hídricos da FECFAU/UNICAMP. Seus principais interesses de pesquisa são redes de abastecimento de água e transporte de sedimentos.

E-mail: sotero@fec.unicamp.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3578-0719>

T. S. dos S. XIMENES

Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2012); Professor Doutor MS 3.2 na Faculdade de Tecnologia da Unicamp (FT/UNICAMP). É docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, na FT/UNICAMP. Seus principais interesses de pesquisa são automação e controle, controle de sistemas com folga, modelagem de sistemas, microcontroladores, mecatrônica e bioengenharia.

E-mail: talia@ft.unicamp.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1425-3001>



Editor: Francinaide de Lima Silva Nascimento
Ad Hoc Reviewer: Maurício Andrades Paixão e Tiago De Vargas



Submitted June 5, 2023
Accepted November 27, 2023
Published December 19, 2023