

## Desenvolvimento de um protótipo inteligente utilizando sensor turbina para detecção de vazamentos em edificações

Os cenários de escassez hídrica recorrentes e a disponibilidade limitada trazem à tona a necessidade de monitoramento e gestão de água mais eficientes. Um dispositivo inteligente com energia renovável para monitoramento do consumo de água e detecção de vazamentos é uma ferramenta importante que pode auxiliar a redução de perdas e desperdícios em edificações. O procedimento metodológico foi composto pela identificação dos componentes para o desenvolvimento do protótipo inteligente de detecção de vazamentos, elaboração da programação do microcontrolador e posterior instalação para uso. A pesquisa foi realizada no Campus central da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O protótipo foi desenvolvido utilizando linguagem de programação própria do Arduino, microcontrolador tipo NodeMCU com Wi-Fi integrado, sensor de fluxo do tipo turbina com contagem de pulsos, bateria recarregável e alimentação por energia solar via painel fotovoltaico, além dos acessórios necessários ao funcionamento, com custo total de R\$ 159,98, valor viável diante dos ganhos econômicos e ambientais advindos com a detecção de padrões de consumos em horários no qual não há atividades no local. O protótipo inteligente funcionou satisfatoriamente e automação detectou perdas de até 1,96% na edificação estudada, o equivalente a 12,81 litros no dia 30 de outubro de 2021. Como conclusão, é possível validar o uso do protótipo para monitoramento de consumo de água e detecção de vazamentos em edificações, sendo uma ferramenta aplicável e de baixo custo para auxiliar na gestão de água em edificações.

**Palavras-chave:** Automação; Gestão de água; Micromedição inteligente.

## Development of an intelligent prototype using turbine sensor for detection of leaks in buildings

The recurrent water scarcity scenarios and limited availability raise the need for more efficient water monitoring and management. An intelligent device with renewable energy for monitoring water consumption and leak detection is an essential tool that can help reduce losses and waste in buildings. The methodological procedure was composed of identifying components for the development of the intelligent leak detection prototype, elaboration of the microcontroller programming, and subsequent installation for use. The research was carried out at the Federal University of Campina Grande (UFCG). The prototype was developed using Arduino's programming language, NodeMCU-type microcontroller with integrated Wi-Fi, turbine-type flow sensor with pulse counting, rechargeable battery, and solar energy supply via a photovoltaic panel, in addition to the necessary accessories for operation, with a total cost of BRL 159.98, a realizable value given the economic and environmental gains arising from the detection of consumption patterns at times when there are no activities in the place. The intelligent prototype worked satisfactorily, and automation detected up to 1.96% losses in the studied building, equivalent to 12.81 liters on October 30, 2021. In conclusion, it is possible to validate the use of the prototype for monitoring water consumption and leak detection in buildings, being an appropriate and low-cost tool to assist in water management in buildings.


**Keywords:** Automation; Water management; Smart micrometering.


Topic: Engenharia de Recursos Hídricos


Received: 09/11/2021


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Approved: 30/11/2021

**Luísa Eduarda Lucena de Medeiros**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7932530323230086>  
<https://orcid.org/0000-0002-9792-1273>  
[lu.mdeiros@gmail.com](mailto:lu.mdeiros@gmail.com)

**Dayse Luna Barbosa**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7376198442355112>  
<https://orcid.org/0000-0002-3209-270X>  
[dayse.luna@professor.ufcg.edu.br](mailto:dayse.luna@professor.ufcg.edu.br)

**Andrea Carla Lima Rodrigues**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2045007192282761>  
<https://orcid.org/0000-0002-4764-0430>  
[andreaufcg@gmail.com](mailto:andreaufcg@gmail.com)

**Igor Antônio de Paiva Brandão**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0917850140413106>  
<https://orcid.org/0000-0003-1562-4361>  
[igorantonio.eng@gmail.com](mailto:igorantonio.eng@gmail.com)

**Antônio Leomar Ferreira Soares**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6308383587937336>  
<https://orcid.org/0000-0002-2441-9178>  
[antoniroleomar@msn.com](mailto:antoniroleomar@msn.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.011.0012

### Referencing this:

MEDEIROS, L. E. L.; BARBOSA, D. L.; BRANDÃO, I. A. P.; SOARES, A. L. F.. Desenvolvimento de um protótipo inteligente utilizando sensor turbina para detecção de vazamentos em edificações. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.11, p.126-134, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.011.0012>

## INTRODUÇÃO

O monitoramento e controle de perdas tornou-se um tema de interesse mundial, tendo em vista a tendência internacional para a sustentabilidade dos recursos naturais e eficiência econômica dos serviços de abastecimento de água. As ferramentas tecnológicas aliadas ao monitoramento de sistemas são fundamentais para auxiliar neste processo de gestão (FONTANA et al., 2019; ANDRADE et al., 2016; TROJAN et al., 2015).

Gerir recursos hídricos já escassos de forma eficiente, efetiva e sustentável é um desafio para o serviço público de cidades. As cidades são vulneráveis à escassez de água devido à incompatibilidade espacial existente entre a disposição de recursos hídricos e a concentração da população em pontos localizados (STAVENHAGEN, et al., 2018).

As perdas de água que ocorrem após os medidores individuais são custeadas pelo proprietário e a detecção é fundamental para gestão de água em edificações, minimizando os custos e identificando inclusive pequenos vazamentos não detectáveis visualmente.

Os sistemas de distribuição de água brasileiro possuem uma medição de consumo deficiente quando comparada a outros países, sendo a leitura de consumo realizada uma única vez ao mês. Nos municípios de pequeno porte, a situação é ainda mais preocupante, pois a medição é realizada de forma intermitente e muitas vezes uma quantidade considerável de água é perdida ou desperdiçada dentro das edificações, por exemplo, com transbordamentos de tanques privados, problemas em torneiras de boia, vazamentos em pontos de utilização, entre outros, o que compromete a disponibilidade hídrica local.

O desenvolvimento e aplicação de dispositivos automatizados de monitoramento e controle de vazamentos de água auxiliam no processo de gestão e possibilitam às empresas e aos usuários um acompanhamento em tempo real de consumo. Além disso, é possível a identificação de mudanças nos perfis de consumo que possam indicar a presença de perdas físicas nas unidades consumidoras.

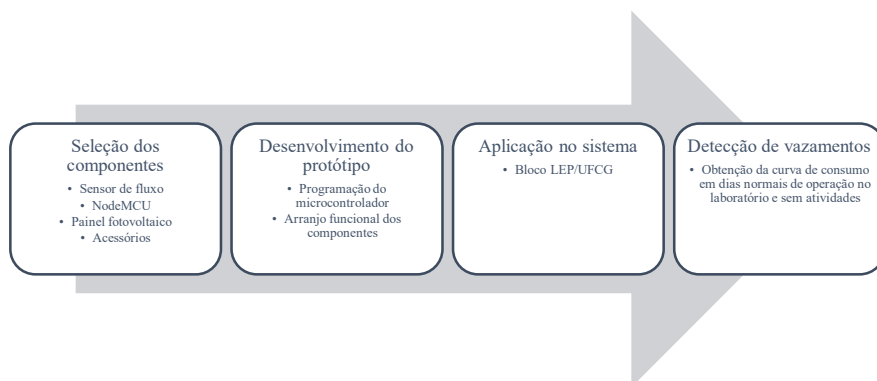
Os sistemas inteligentes dispensam monitoramento presencial, permitindo uma maior agilidade na tomada de decisão pelo gestor, menor complexidade das ações propostas e baixo custo de implantação. As oportunidades para promover a conservação e a eficiência no uso da água continuam atraentes na redução direta da demanda de água. A medição inteligente da água e o fornecimento de informações detalhadas sobre o uso da água aos consumidores apresentam oportunidades interessantes para a melhoria da gestão da água urbana (LIU et al., 2017).

A medição inteligente tem sido utilizada nos diferentes setores, como água, energia e gás. Porém, não existe uma única definição ou consenso sobre como um medidor ou um sistema de medição pode ser classificado como “inteligente”. O princípio de funcionamento do medidor é simples, no qual este realiza a medição, armazena e transmite os dados para um sistema em intervalos predefinidos, sendo importante tanto para a detecção de vazamentos quanto para o controle do consumo em economias de água (BRAGALLI et al., 2019; GURUNG et al., 2016; KULKARNI et al., 2016; COMINOLA et al., 2015; BRITTON et al., 2013). O objetivo deste artigo foi desenvolver um dispositivo inteligente com energia renovável para monitoramento

de consumo e detecção de vazamentos em edificações.

## METODOLOGIA

O processo metodológico foi dividido em quatro etapas: a) seleção dos componentes, b) desenvolvimento do protótipo inteligente, c) aplicação do sistema e d) detecção de vazamentos, conforme esquematizado na Figura 1.



**Figura 1:** Etapas metodológicas da pesquisa

### Etapa 1: Seleção dos componentes

O protótipo inteligente partiu da seleção prévia dos componentes para compor hardware e software de modo que o sistema funcionasse de acordo com o que foi proposto na pesquisa. Os componentes selecionados são descritos na Tabela 1. Após a seleção dos componentes, foi realizado o desenvolvimento do protótipo inteligente para monitoração do consumo e detecção de vazamentos em edificações.

### Etapa 2: Desenvolvimento do protótipo inteligente

O protótipo foi estruturado a partir de dois componentes básicos: hardware e software (Figura 2). O hardware é constituído essencialmente pelo sensor de fluxo e o controlador lógico programável (NodeMCU), além dos acessórios necessários para montagem, como cabos, placa de fixação, entre outros. O software consiste na programação para automação do protótipo, que foi realizada na linguagem Arduino em Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE).








Com relação ao hardware, o medidor de fluxo coleta os dados de água que passam pela tubulação e envia como pulso elétrico para o microcontrolador, este transforma os pulsos em valores de volume, por meio da programação utilizada e envia esses dados para uma planilha Google previamente adicionada à programação. O usuário pode visualizar os valores obtidos do consumo de água virtualmente na edificação instalada. A programação realizada segue a sequência operacional ilustrada na Figura 3. O programa possui ainda funções integradas na programação para autorreparação e autocorreção de problemas que possam aparecer, como falta de internet ou desconexão com o servidor.

### Etapa 3: Aplicação do sistema

Após a programação do microcontrolador e arranjo dos componentes, o protótipo foi instalado no

Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O envio dos dados obtidos pelo sensor turbina foi feito para uma planilha do Google, que permite o acesso remoto do usuário em tempo real. O protótipo foi programado para enviar dados a cada 2 minutos. Na planilha são geradas curvas da medição de vazão, que permite o monitoramento diário ou horário, sendo possível trocar estes intervalos de análise caso o gestor prefira.

**Tabela 1:** Componentes selecionados para o protótipo inteligente

COMPONENTE	IMAGEM	DESCRIÇÃO
Sensor de fluxo		O sensor de fluxo é conectado na linha de uma tubulação de ½", capaz de medir o fluxo do líquido que circula. Ele envia pulsos elétricos para o controlador, que converte para vazão com a programação apropriada. Consegue medir uma vazão de 1 até 30 litros/minuto.
NodeMCU		NodeMCU é um microcontrolador, dispositivo eletrônico programável, que permite a obtenção, tratamento e disponibilização de dados ou ações de acordo com a programação desenvolvida e sensores utilizados. Pode ser comparado com um mais conhecido, o Arduino, a diferença é que o NodeMCU possui já associado uma placa da família ESP 8266, possibilitando a conexão com a internet via WiFi, mas os sensores usados, a linguagem e o ambiente de programação (IDE) são os mesmos do Arduino.
Display Oled		Display Oled LCD 0.96 polegadas I2C 4 pinos é um visor que utiliza a tecnologia OLED, com tamanho de tela de 0,96 polegadas, e se conecta com o microcontrolador por meio do protocolo I2C. Seu objetivo é apresentar o que está acontecendo instantaneamente dentro do NodeMCU, colaborando para a instalação e manutenção dos medidores.
Bateria de lítio		Bateria de lítio com tensão de 3,7 volts, utilizada para alimentar o sistema e recarregada com energia solar.
Mini painel solar fotovoltaico		Mini painel solar que consegue gerar uma tensão de 6 volts. Pode ser exposto à chuva e umidade sem ser danificado. Seu objetivo é recarregar as baterias de lítio que alimentam alguns dispositivos.
Módulo carregador de bateria de lítio 1A – TP 4056		Equipamento necessário para regular a tensão gerada na placa solar e assim recarregar a bateria e alimentar o sistema.
Caixa para proteção dos componentes		Caixa utilizada para envelopar e proteger o sistema de qualquer interferência externa, além de proteger os usuários por não deixar nenhuma tomada de alta tensão exposta.

#### Etapa 4: Detecção de vazamentos

Os dados coletados pelo protótipo inteligente foram analisados durante o mês de outubro de 2021 para observar o comportamento normal do sistema em dia com atividades presenciais no laboratório e nos dias sem a realização de atividades, permitindo a obtenção da curva de consumo médio da edificação, bem

como a curva com consumo não previsto que pode ser resultante de vazamentos que precisam ser melhor avaliados *in loco*.

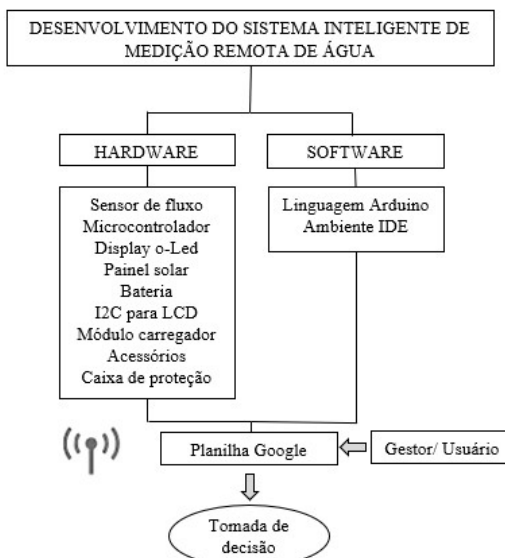


Figura 2: Esquema para desenvolvimento do sistema inteligente

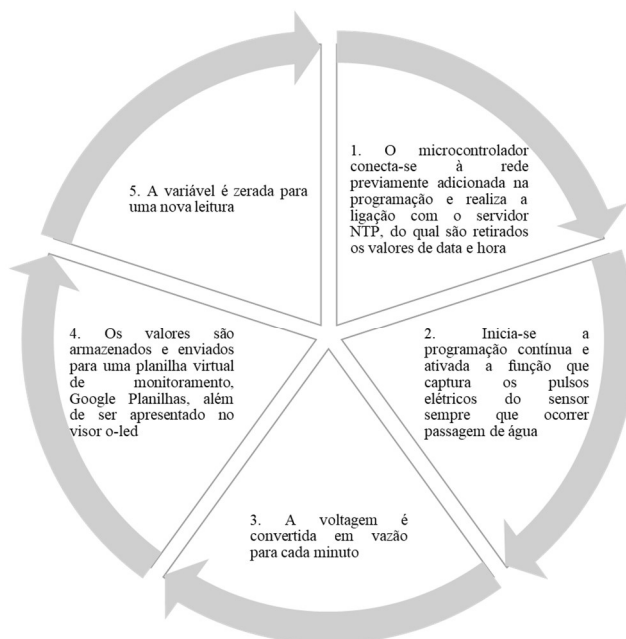


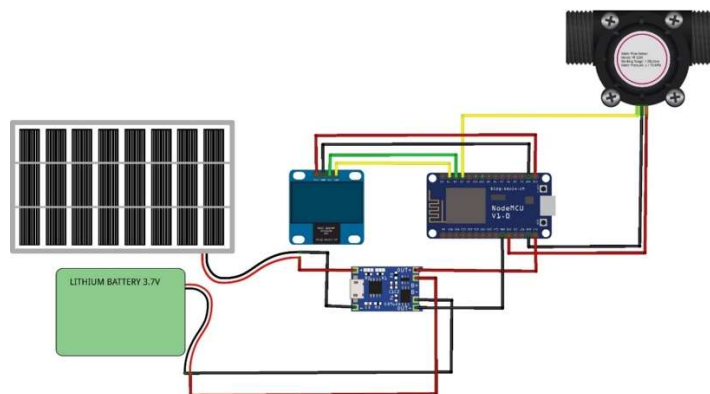
Figura 3: Sequência de programação do controlador

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados e discutidos em duas seções: os referentes ao desenvolvimento do protótipo e aqueles ligados à coleta de dados e detecção de vazamentos na edificação estudada.

### Desenvolvimento/Montagem do protótipo inteligente de vazão

O circuito desenvolvido para o funcionamento adequado do protótipo de medição inteligente está ilustrado na Figura 4.



**Figura 4:** Arranjo dos componentes do sensor turbina

Conforme apresentado na Figura 4, o circuito é alimentado por energia solar fotovoltaica. Esta é armazenada em uma bateria de lítio para independência do sistema nos horários que não há exposição solar, com independência de 12 horas neste circuito. O sensor é conectado ao microcontrolador Node MCU que faz a transformação dos pulsos em vazão a partir da programação. Há também um display oLed conectado ao sistema que permite a conferência dos dados in loco em casos que sejam necessário verificações.

Após a montagem foi realizada a instalação do sistema (Figura 5) na edificação. Fez-se o fluido escoar a partir da abertura do registro de gaveta localizado à montante do dispositivo, permitindo a passagem do fluido que gira a turbina interna. Para cada giro efetuado o sensor emite um pulso que é contado durante um tempo pré-estabelecido na programação. Esse dado é enviado para o sistema supervisorio em planilha google para acompanhamento em tempo real do consumo na edificação.



**Figura 5:** Protótipo inteligente instalado no LEP

Os custos associados ao seu desenvolvimento estão descritos na Tabela 2, sendo possível e viável a sua aplicação para a finalidade proposta, principalmente em localidades onde o monitoramento presencial é deficiente e ocorrem períodos longos de intermitência ou interrupção do abastecimento de água. Os valores obtidos para o protótipo proposto estão ilustrados na Tabela 2 e foram obtidos a partir de uma pesquisa de preço em lojas virtuais de componentes eletrônicos.

**Tabela 2:** Componentes e preços médios utilizados no protótipo inteligente.

COMPONENTE	PREÇO
NodeMCU ESP 8266	R\$ 34,99
Sensor de fluxo	R\$ 28,19
Display Oled	R\$ 29,00
Mini Painel solar	R\$ 26,00
Módulo carregador de bateria	R\$ 6,90
Bateria de Lítio	R\$ 13,00
Caixa Protetora	R\$ 21,90
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 159,98</b>

Conforme observado, o valor final do protótipo foi de R\$159,98, sendo este um valor acessível para instalação e finalidade proposta de detecção de vazamentos, trazendo ganhos econômicos e ambientais substanciais à sociedade.

### Detecção de vazamentos

Os valores de consumo obtidos pelo protótipo inteligente foram acessados a partir do sistema supervisor virtual em uma Planilha Google. A partir da avaliação destes dados, foi possível obter a curva de consumo médio da edificação durante o mês de outubro de 2021, apresentada na Figura 6. Esta curva corresponde aos dias de atividade normal na edificação, de segunda-feira à sexta-feira.

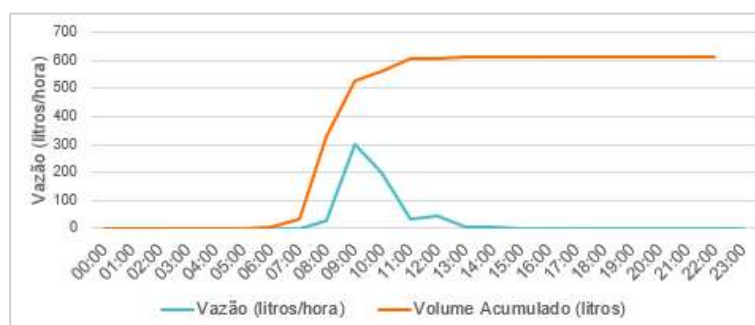


Figura 6: Curva de consumo médio no LEP com atividades presenciais

É possível perceber que o perfil de consumo da edificação segue o padrão normal para prédios de laboratório em instituições de ensino, com o consumo ocorrendo predominantemente entre 08:00h e 17:00h. O consumo médio diário foi de 612,81 litros, sendo o pico de consumo às 09:00h, com 298,47 litros.

Para a detecção de vazamentos, foi observado e comparado leituras do protótipo durante os dias 29 de outubro e 02 de novembro de 2021 (Figura 7). A escolha por este período de análise deve-se ao menor fluxo de pessoas no LEP em razão do feriado do dia 02 de novembro, o que permitiu observar melhor a presença de vazamentos, uma vez que o consumo na grande maioria do tempo era inexistente.

A partir da análise da Figura 7, verifica-se durante o período de 30 de outubro e 02 de novembro de 2021 consumos baixos, conforme era esperado, uma vez que não houve atividade administrativa ou experimental na edificação. O volume detectado no sensor foi de 12,81 litros, 3,03 litros, 14,12 litros e 8,83 litros, respectivamente para os dias 30 e 31 de outubro e 01 e 02 de novembro de 2021. Estes consumos corroboram para a presença de pequenos vazamentos na edificação, uma vez que o reservatório de água que abastece o LEP encontrava-se cheio após as atividades realizadas no dia 29 de outubro. O volume consumido no dia 30 de outubro foi o maior no período estudado, o que equivale a 1,96% do consumo diário médio da edificação (612,81 litros/dia), os demais apresentaram consumo inferior a este. Em razão deste valor ser baixo, é possível que ele seja referente às perdas reais inevitáveis na edificação, porém nada impede que sejam realizadas verificações no local para observar se ocorre vazamentos, como por exemplo na torneira de boia, torneira de uso comum, bacias sanitárias, entre outros.

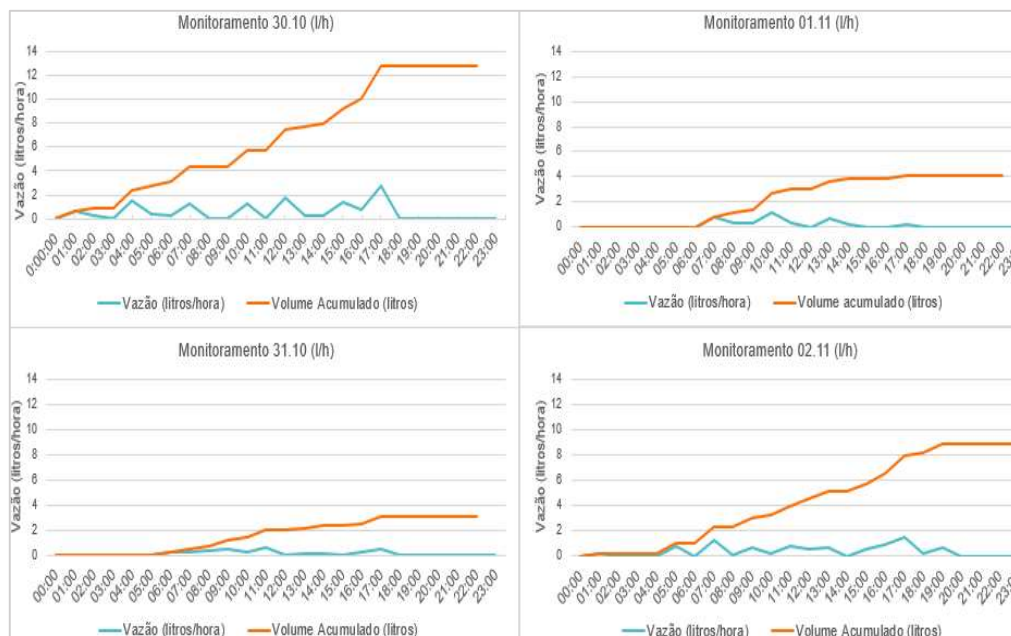


Figura 7: Gráficos do consumo de água nos dias 30 e 31 de outubro e 01 e 02 de novembro de 2021.

## CONCLUSÃO

O desenvolvimento e aplicação de dispositivos automatizados para monitoramento de consumo e detecção de vazamentos são fundamentais para tornar as edificações mais eficientes e contribuir positivamente para gestão de água nestes locais. O protótipo inteligente mostrou-se viável para a detecção de vazamentos e medição de consumo, obtendo valores compatíveis com os esperados para consumo na edificação estudada e identificando perdas de água em dias sem atividades presenciais de até 1,96%, o equivalente a 12,81 litros/dia.

O custo total para a construção do protótipo inteligente foi de R\$ 159,98, valor acessível quando comparado aos hidrômetros volumétricos utilizados em edificações, que possuem um custo médio de R\$ 136,52 e não apresentam tecnologia que permita o monitoramento remoto em tempo real como o aqui desenvolvido. Assim, é possível a adoção do sistema desenvolvido que possibilita benefícios sociais, econômicos e ambientais à sociedade com vista a sustentabilidade dos recursos hídricos em edificações.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R.; BORJA, P.. Management of water and energy losses in Embasa water supply systems: a study of factors involved in RMS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.21, n.4, p.783-795, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016116037>
- BRAGALLI, C; NERI, M; TOH, E.. Effectiveness of smart meter-based urban water loss assessment in a real network with synchronous and incomplete readings. **Environmental Modelling & Software**, v.112, p.128-142, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.10.010>
- BRITTON, T. C.; STEWART, R. A.; HALLORAN, K. R.. Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. **Journal of Cleaner Production**, v.54, p.166-176, 2013.

- CHRISTODOULOU, S.; DELIGIANNI, A.. A neurofuzzy decision framework for the management os water distribuiton networks. **Water Resour Manage**, v.24, p.139-156, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9441-2>
- COMINOLA, A.; GIULIANI, M.; PIGA, D.; CASTELLETTI, A.; RIZZOLI, A. E.. Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review. **Environmental Modelling & Software**, v.72, p.198-214, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.07.012>
- FONTANA, N.; GIUGNI, M.; GLIELMO, L.; MARINI, G.; ZOLLO, R.. Operation of a prototype for real time control of pressure and hydropower generation in water distribution networks. **Water resources management**, v.33, n.2, p.697-712, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2131-1>



GURUNG, T. R.; STEWART, R. A.; BEAL, C. D.; SHARMA, A. K.. Smart meter enabled informatics for economically efficient diversified water supply infrastructure planning. **Journal of Cleaner Production**, v.135, p.1023-1033, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.017>

KULKARNI, P.; FARNHAM, T.. Smart city wireless connectivity considerations and cost analysis: Lessons learnt from smart water case studies. **IEEE Access**, v.4, p.660-672, 2016. DOI:

<https://doi.org.br/10.1109/ACCESS.2016.2525041>

LIU, A.; GIURCO, D.; MUKHEIBIR, P.. Advancing household water-use feedback to inform customer behaviour for sustainable urban water. **Water Science and Technology**:

**Water Supply**, v.17, n.1, p.198-205, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.2166/ws.2016.119>

STAVENHAGEN, M.; BUURMAN, J.; TORTAJADA, C.. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. **Cities**, v.79, p.187-195, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.03.008>

TROJAN, F.; MORAIS, D. C.. Maintenance management decision model for reduction of losses in water distribution networks. **Water Resources Management**, v.29, n.10, p.3459-3479, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11269-015-0966-2>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.