

XI-138 - MEDIÇÃO INTELIGENTE EM SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Érico Soares Ascenção⁽¹⁾

Engenheiro Mecatrônico e mestrando em Engenharia Elétrica, ambos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP). Engenheiro na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp).

Fernando Melo Marinangelo⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP) e mestrando em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 380, Travessa 4 - C. Universitária - Butantã, São Paulo/SP, CEP 05508-020, Brasil. E-mail: erico.ascencao@usp.br.

RESUMO

Questões como mudanças climáticas, escassez hídrica, crescimento populacional e perdas de água na distribuição têm estimulado a implementação de novas tecnologias para gerenciamento de recursos hídricos. O conceito de gerenciamento de água inteligente emergiu como uma subcategoria do conceito de cidades inteligentes e tendo a medição inteligente como sua base. Este trabalho teve o objetivo de identificar, neste contexto, tecnologias de medição inteligente reportadas em literatura acadêmica. Uma revisão sistemática de literatura foi realizada, na qual 100 menções a aplicações de gerenciamento de água inteligente foram identificadas em 62 artigos selecionados, aplicações estas divididas em 10 categorias, dentre as quais se destacou a de medição inteligente. Tecnologias de medição inteligente relacionadas a protocolos de comunicação para transmissão de dados, reconhecimento de imagem e medição acústica e por tomografia foram elencadas. Uma forte correlação entre as categorias de aplicações medição inteligente e gestão de perdas foi percebida. A análise das 9 categorias de aplicações de gerenciamento de água inteligente restantes foi apontada como uma oportunidade de estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: rede de água inteligente, medidor inteligente, IoT, gestão de perdas.

INTRODUÇÃO

A água tem papel fundamental na vida das pessoas, desde o simples fato de compor mais da metade do corpo humano até a sua aplicação em diversos setores como saúde, produção de alimentos, agricultura e indústria ([40]). O gerenciamento de recursos hídricos; ou seja, “a atividade de planejar, desenvolver, distribuir e gerenciar o uso otimizado dos recursos hídricos” ([37], p. 4); vem enfrentando diferentes desafios nos últimos anos: mudanças climáticas, secas, escassez hídrica, perdas na distribuição, crescimento populacional, problemas de infraestrutura e falta de consciência dos usuários ([45]).

Dado este cenário, a discussão acerca da sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água ganhou força ([4]). Cada vez mais o mundo vem buscando soluções para o enfrentamento de problemas relacionados ao gerenciamento de recursos hídricos como monitoramento e controle de perdas na distribuição ([3]) e previsão de demanda dos usuários ([25]). Neste sentido, a adoção de novas tecnologias ganha espaço, o que é denotado pelo surgimento do conceito Water 4.0 cunhado pela German Water Partnership, tendo como significado a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saneamento ([1]).

OBJETIVO

Um levantamento realizado entre 2013 e 2014 sobre aplicações de tecnologias de medição inteligente em sistemas de abastecimento de água na Austrália e Nova Zelândia ([5]) mostrou que 250.000 medidores inteligentes já estavam instalados ou em fase de planejamento e 66% dos prestadores de serviços de água entrevistados consideravam tal aspecto em seus planos para os 12 meses seguintes. Este contexto levou à seguinte questão de pesquisa: quais são as tecnologias de medição inteligente em sistemas de gerenciamento de água apresentadas na literatura acadêmica? O

objetivo deste trabalho foi identificar tais tecnologias relatadas em artigos acadêmicos como aplicações em desenvolvimento, já implementadas ou caracterizadas como tendências futuras.

REVISÃO DA LITERATURA

Redes de água inteligentes são sistemas de abastecimento de água que misturam elementos físicos e virtuais de forma a possibilitar uma melhor desempenho e resiliência do sistema, assim como um maior engajamento dos usuários ([19]). [6] corroboraram o conceito anterior de forma mais tangível, caracterizando-as como aquelas que possuem um grande número de dispositivos para medição de variáveis como pressão, vazão e vazão totalizada de forma automática e contínua (elementos físicos); e por fim mencionando como os dados destes medidores (elementos virtuais) poderiam ser utilizados para, por exemplo, detecção de perdas e previsão de demanda.

O gerenciamento de água inteligente vem sendo tratado na literatura como um dos domínios de aplicação de cidades inteligentes; juntamente com redes elétricas inteligentes, mobilidade urbana, coleta de lixo, serviços ao cidadão, saúde e segurança ([7] e [39]). [44] correlacionaram a “inteligência” em questão com a busca por maior eficiência nos serviços em uma cidade inteligente. Neste mesmo sentido, [39] e [41] definiram o gerenciamento de água inteligente como a utilização de tecnologias de internet das coisas (IoT) com os seguintes objetivos: garantir a qualidade e disponibilidade da água; evitar perdas; manter preventivamente a infraestrutura (redes, equipamentos, etc.); e engajar os usuários para economia de água. Portanto, pode-se inferir que o gerenciamento de água inteligente consiste em como utilizar as redes de água inteligentes para entregar um serviço sustentável, eficiente e de qualidade para o usuário final. Neste contexto, a base da pirâmide que constitui este sistema é composta pelos dispositivos de medição das redes de água inteligentes.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho ilustrada na Figura 1 foi uma revisão sistemática de literatura buscando artigos científicos que tratavam sobre sistemas de gerenciamento de água inteligente e suas aplicações. A pesquisa inicial por artigos foi realizada na base de dados Web of Science em 22 de março de 2022, utilizando a seguinte expressão de busca:

- $(TI=("smart\ water\ management"))\ OR\ (TI=("smart\ water\ network"))\ OR\ (TI=("smart\ water\ grid"))\ OR\ (TI=("smart\ water\ meter"))\ OR\ (TI=("smart\ water\ sensor"))\ OR\ (AB=("smart\ water\ management"))\ OR\ (AB=("smart\ water\ network"))\ OR\ (AB=("smart\ water\ grid"))\ OR\ (AB=("smart\ water\ meter"))\ OR\ (AB=("smart\ water\ sensor"))\ OR\ (AK=("smart\ water\ management"))\ OR\ (AK=("smart\ water\ network"))\ OR\ (AK=("smart\ water\ grid"))\ OR\ (AK=("smart\ water\ meter"))\ OR\ (AK=("smart\ water\ sensor"))$

A expressão de busca citada resultou em um conjunto de 212 artigos. Em seguida; foram filtrados somente artigos publicados em revistas científicas e anais de congressos e conferências (incluindo os *early access*); excluindo então artigos de revisão, resumos e materiais editoriais. Com isso, o conjunto de artigos filtrados se restringiu a 194.

Foram definidos três critérios para seleção dos artigos a serem revisados: a) mínimo de dez citações; b) publicação a partir de 2019 com no mínimo uma citação; e c) média mínima de uma citação anual. Os critérios se mostraram regressivamente restritivos (37, 58 e 73 artigos selecionados respectivamente). Por fim, optou-se por selecionar os artigos que atendessem a pelo menos um dos três critérios, resultando numa amostra total de 98 artigos.

Os resumos dos artigos selecionados foram analisados com o objetivo de identificar aplicações de sistemas de gerenciamento de água inteligente. Durante a etapa de análise, 36 artigos foram excluídos por terem foco em outras áreas de pesquisa (agricultura, energia, drenagem pluvial e setorização de redes de abastecimento) ou não tratarem de aplicações relacionadas a sistemas de gerenciamento de água inteligente; restando, portanto, 62 artigos. Um total de 100 menções a aplicações foram identificadas, agrupadas em 10 categorias por similaridade, sendo uma delas a categoria de medição inteligente cujos 42 artigos apresentaram diferentes tecnologias detalhadas a seguir.

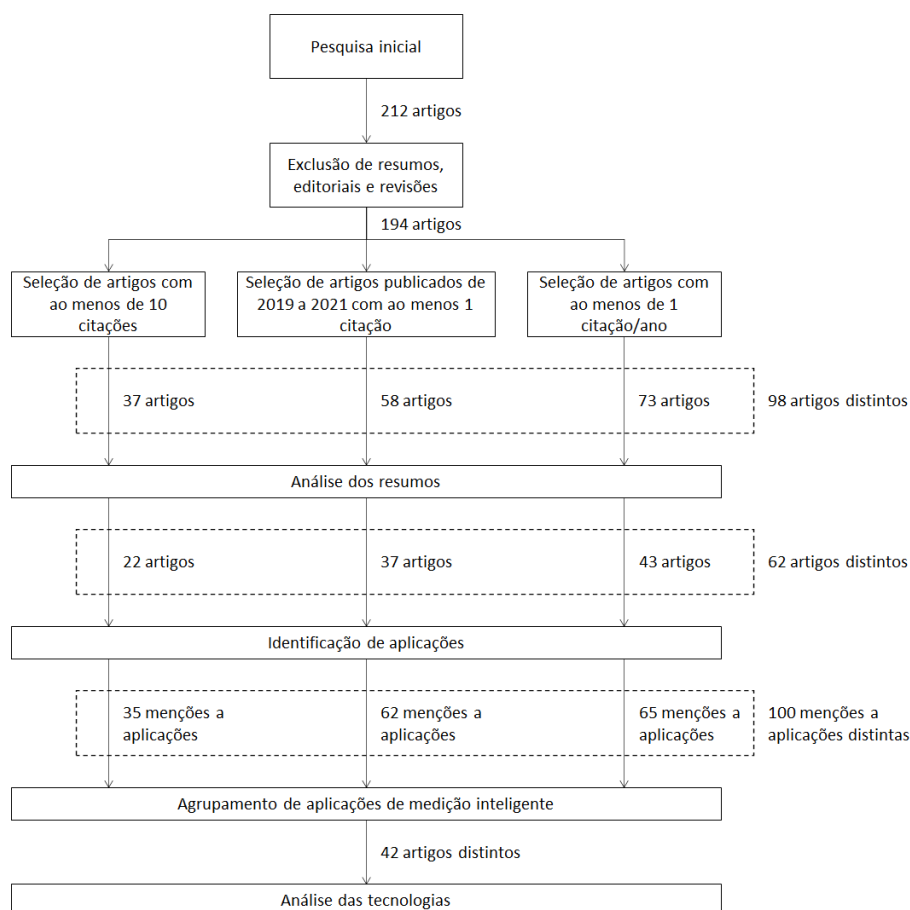


Figura 1: Fluxograma representativo das etapas da metodologia (Autores).

TECNOLOGIAS DE MEDIÇÃO INTELIGENTE EM SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ÁGUA

A revisão de literatura sobre medição inteligente em sistemas de gerenciamento de água resultou na identificação de 42 artigos sobre o tema listados na Tabela 1. Constatou-se um crescimento significativo de publicações sobre medição inteligente nos últimos cinco anos - vide Figura 2.

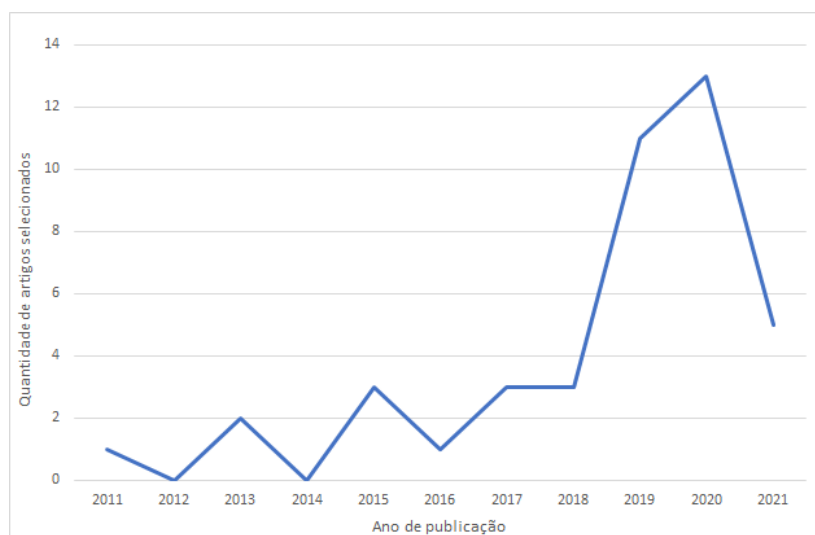


Figura 2: Evolução das publicações sobre medição inteligente em sistemas de gerenciamento de água ao longo dos anos (Autores).

Tabela 1: Aplicações de medidores inteligentes identificadas (Autores).

Aplicações	Referências
Medidores inteligentes em geral	[2], [3]*, [5], [6], [8]*, [9], [12], [13], [17], [18], [20], [29], [30], [32], [33], [35], [36], [40], [44], [46], [47], [49] e [50]
Arduino e WiFi	[15]*
IEEE 802.15.4 e ContikiOS LibCoAP	[31]
IoT (LoRa/LoRaWAN, SigFox e NB-IoT)	[21], [22], [24], [38] e [41]*
Leitura de medidores de vazão mecânicos	[26] e [34]*
LinkIt One e Mediatek Cloud Sandbox	[10]
Medidores autoalimentados	[11] e [27]
Medidor de vazão de esgoto por tomografia	[48]
Medidores de vibração e acústicos	[14]*, [16]*, [43]* e [49]*
Raspberry PI e 6LoWPAN	[23]
Raspberry PI e ZR16S08	[28]*
Wireless M-Bus (WM-Bus)	[42]

Medição inteligente foi a principal categoria de aplicações de sistemas de gerenciamento de água inteligente identificada. Apesar de não ter sido encontrada uma definição formal do conceito de medidores inteligentes, pôde-se concluir dos artigos analisados que a “inteligência” dos mesmos deriva da capacidade registrar e transmitir informações sobre a grandeza física medida através de um meio de comunicação. Soluções como o protocolo WM-Bus ([42]), medidores em rede LoRa e LoRaWAN com baixo consumo de energia e maior distância de transmissão ([21], [22], [23] e [41]) e baseados em IEEE 802.15.4 e ContikiOS LibCoAP ([31]) exemplificaram a implementação de diferentes meios de comunicação para a transmissão de dados. Em contraponto a estas tecnologias, que pressupõem a existência de um medidor eletrônico que gere um sinal elétrico proporcional à variável medida, [26] e [34] propuseram métodos de reconhecimento de imagem para leitura de medidores de vazão de água mecânicos, tecnologia interessante para cidades cuja base instalada de medidores mecânicos ainda predomina em relação aos eletrônicos.

No campo das soluções para transmissão de dados, destacaram-se [24], que estudaram comparativamente três tecnologias de baixo consumo de energia (LPWAN) utilizadas em sistemas de gerenciamento de água inteligentes baseados em IoT: LoRaWAN, SigFox e NB-IoT. Os resultados demonstraram que a NB-IoT possuía uma melhor escalabilidade, ou seja, era capaz de agregar mais medidores inteligentes com uma menor taxa de erro na transmissão de pacotes de dados.

Os relatos de desenvolvimento de medidores inteligentes passaram pelo enfrentamento do consumo de energia e da vida útil da bateria. Por este motivo, o consumo de energia foi uma restrição considerada em soluções apresentadas por [21] e [42]. Duas vertentes de trabalhos foram encontradas objetivando a otimização do consumo de energia: arquitetura em *edge computing* e medidores inteligentes autoalimentados. [44] demonstraram soluções de arquitetura para medidores inteligentes baseada em *edge computing*; nas quais os medidores inteligentes processavam localmente algoritmos de compressão dos dados para envio a servidores, de forma a estender a vida útil da bateria. Por outro lado, [27] propuseram um projeto de medidor de vazão de água autoalimentado baseado em um turbogerador, de forma a gerar um sinal de tensão proporcional à vazão no medidor e também gerar a energia necessária para recarregar a bateria do mesmo, juntamente com um transmissor de sinal sem fio e um aplicativo para dispositivos móveis para possibilitar o monitoramento do consumo pelos usuários.

Ao longo do tempo e com o desenvolvimento de tecnologias de medidores inteligentes, os mesmos deixaram de servir apenas como ferramenta para medição de consumo e cobrança dos clientes para passarem a compor uma série de aplicações em toda a cadeia do gerenciamento de água. Corroboraram tal argumento [14], [16], [43] e [49]; que propuseram a aplicação de medidores de vibração e acústicos para antever eventos de rompimento de tubulações e vazamentos; bem como [15], que relataram a utilização de medidores inteligentes para coletar dados de níveis de reservatórios residenciais; e [18], que trataram sobre uma nova abordagem para modelagem de sistemas de

esgotamento sanitário utilizando dados de medidores inteligentes residenciais e da localização geográfica dos mesmos para a identificação das contribuições residenciais e vazões na rede de esgoto.

A indicação de interesse das autoridades de Daca (Bangladesh) ([38]) e da Austrália e Nova Zelândia ([5]) na implementação de medidores inteligentes e os bons resultados na redução do consumo de água a partir da implementação dos mesmos na Cidade do Cabo (África do Sul) ([47]) foram evidências encontradas sobre o interesse e os benefícios de tal tecnologia. Esta percepção de benefício foi corroborada pelo volume de produção científica sobre o tema. Deste conjunto de artigos, 15 contextualizaram medidores inteligentes com outras aplicações e, dentre estes, 10 se destacaram pela menção simultânea de aplicações de medidores inteligentes e gestão de perdas (vide asteriscos na Tabela 1).

CONCLUSÃO

A recorrência do assunto dentro do contexto de sistemas de gerenciamento de água inteligente se justificou pelo fato de eles constituírem a base da arquitetura dos mesmos, dada a sua capacidade de transmitir dados sobre as grandezas físicas medidas que servem de fonte para as demais aplicações. A forte correlação entre esta categoria de aplicação e a de gestão de perdas indicou os primeiros passos rumo à implantação de um sistema de gerenciamento de água inteligente e pode ser detalhada em um estudo futuro sobre *roadmap* tecnológico.

A partir de uma revisão sistemática da literatura, este artigo identificou diferentes tecnologias de medição inteligente em sistemas de gerenciamento de água, divididas nos seguintes grupos principais: protocolos de comunicação para transmissão de dados, reconhecimento de imagem, medidores por tomografia, medidores acústicos e medidores autoalimentados. Por fim, este artigo focou na base da pirâmide que representa uma arquitetura de sistema de gerenciamento de água inteligente. Uma análise mais detalhada das nove categorias de aplicações restantes identificadas representa uma oportunidade de estudo futuro para uma melhor compreensão deste conceito e de como tais aplicações podem se integrar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALABI, M. O.; TELUKDARIE, A.; VAN RENSBERG, N. J. Water 4.0: An Integrated Business Model from an Industry 4.0 Approach. In: **2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**, 2019. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978859>.
- [2] AL-MAKTOUMI, A.; ZEKRI, S.; EL-RAWY, M.; ABDALLA, O.; AL-ABRI, R.; TRIKI, C.; BAZARGAN-LARI, M. R. Aquifer storage and recovery, and managed aquifer recharge of reclaimed water for management of coastal aquifers. **Desalination and Water Treatment**, v. 176, p. 67-77, 2020. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25499>.
- [3] ARMON, A.; GUTNER, S.; ROSENBERG, A.; SCOLNICOV, H. Algorithmic network monitoring for a modern water utility: a case study in Jerusalem. **Water Science & Technology**, v. 63, n. 2, p. 233-239, 2011. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.041>.
- [4] ATHANASIOU, S.; STAAKE, T.; STIEFMEIER, T.; SARTORIUS, C.; TOMPKINS, J.; LYTRAS, E. DAIAD: Open Water Monitoring. **Procedia Engineering**, 89, p. 1044-1049, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.223>.
- [5] BEAL, C. D.; FLYNN, J. Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs. **Utilities Policy**, v. 32, p. 29-37, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2014.12.006>.
- [6] BENITEZ, R.; ORTIZ-CARABALLO, C.; PRECIADO, J.; CONEJERO, J. M. M.; SÁNCHEZ-FIGUEROA, F.; RUBIO-LARGO, A. A Short-Term Data Based Water Consumption Prediction Approach. **Energies**, v. 12, n. 12, 2359, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12122359>.
- [7] BOGATINOSKA, D. C.; MALEKIAN, R.; TRENGOSKA, J.; NYAKO, W. A. Advanced Sensing and Internet of Things in Smart Cities. **2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)**, p. 632-637, 2016. <https://doi.org/10.1109/MIPRO.2016.7522218>.
- [8] BOOYSEN, M. J.; RIPUNDA, C.; VISSER, M. Results from a water-saving maintenance campaign at Cape Town schools in the run-up to Day Zero. **Sustainable Cities and Society**, v. 50, 101639, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101639>.
- [9] CARDELL-OLIVER. Discovering Water Use Activities for Smart Metering. **2013 IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing**, p. 171-176, 2013. <https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2013.6529784>.

- [10] CHERUKUTOTA, N.; JADHAV, S. Architectural Framework of Smart Water Meter Reading System In IoT Environment. **2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)**, p. 791-794, 2016. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754253>.
- [11] CHO, J. Y.; CHOI, J. Y.; JEONG, S. W.; AHN, J. H.; HWANG, W. S.; YOO, H. H.; SUNG, T. H. Design of hydro electromagnetic and piezoelectric energy harvesters for a smart water meter system. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 261, p. 261-267, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.05.018>.
- [12] DI MAURO, A.; DI NARDO, A.; SANTONASTASO, G. F.; VENTICINQUE, S. An IoT system for monitoring and data collection of residential water end-use consumption. **2019 28th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)**, p. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.1109/ICCCN.2019.8847120>.
- [13] DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; DI MAURO, A.; SANTONASTASO, G. F.; PALOMBA, A.; LOCORATOLO, S. Calibration of a Water Distribution Network with Limited Field Measures: The Case Study of Castellammare di Stabia (Naples, Italy). In: BATTITI, R.; BRUNATO, M.; KOTSIREAS, I.; PARDALOS, P. (eds) **Learning and Intelligent Optimization. LION 12 2018. Lecture Notes in Computer Science**, v. 11353, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05348-2_36.
- [14] FABBIANO, L.; VACCA, G.; DINARDO, G. Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. **Measurement**, v. 151, 107260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107260>.
- [15] GAUTAM, J.; CHAKRABARTI, A.; AGARWAL, S.; SINGH, A.; GUPTA, S.; SINGH, J. Monitoring and forecasting water consumption and detecting leakage using an IoT system. **Water Supply**, v. 20, n. 3, p. 1103-1113, 2020. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.035>.
- [16] GONG, J.; LAMBERT, M. F.; STEPHENS, M. L.; CAZZOLATO, B. S.; ZHANG, C. Detection of Emerging through-Wall Cracks for Pipe Break Early Warning in Water Distribution Systems Using Permanent Acoustic Monitoring and Acoustic Wave Analysis. **Water Resources Management**, v. 34, p. 2419-2432, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02560-1>.
- [17] HARTLEY, K.; LIM, N. S. W.; TORTAJADA, C. Policy Note: Digital Feedback-Based Interventions for Water Conservation. **Water Economics and Policy**, v. 7, n. 1, 2071004, 2021. <https://doi.org/10.1142/S2382624X20710046>.
- [18] JIA, Y.; ZHENG, F.; ZHANG, Q.; DUAN, H.; SAVIC, D.; KAPELAN, Z. Foul sewer model development using geotagged information and smart water meter data. **Water Research**, v. 204, 117594, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117594>.
- [19] KARTAKIS, S.; ABRAHAM, E.; MCCANN, J. A. WaterBox: A Testbed for Monitoring and Controlling Smart Water Networks. **CySWater**, Seattle, n. 15, p. 13-16, abr. 2015. <https://doi.org/10.1145/2738935.2738939>.
- [20] KARTAKIS, S.; FU, A.; MAZO, M.; MCCANN, J. A. Communication Schemes for Centralized and Decentralized Event-Triggered Control Systems. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, v. 26, n. 6, p. 2035-2048, 2018. <https://doi.org/10.1109/TCST.2017.2753166>.
- [21] KHUTSOANE, O.; ISONG, B.; ABU-MAHFOUZ, A. M. IoT Devices and Applications based on LoRa/LoRaWAN. **IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**, p. 6107-6112, 2017. <https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8217061>.
- [22] KHUTSOANE, O.; ISONG, B.; GASELA, N.; ABU-MAHFOUZ, A. M. WaterGrid-Sense: A LoRa-Based Sensor Node for Industrial IoT Applications. **IEEE Sensors Journal**, v. 20, n. 5, p. 2722-2729, 2020. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2951345>.
- [23] KRUGER, C. P.; ABU-MAHFOUZ, A. M.; HANCKE, G. P. Rapid Prototyping of a Wireless Sensor Network Gateway for the Internet of Things Using off-the-shelf Components. **2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)**, p. 1926-1931, 2015. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125378>.
- [24] LALLE, Y.; FOURATI, L. C.; FOURATI, M.; BARRACA, J. P. A Comparative Study of LoRaWAN, SigFox, and NB-IoT for Smart Water Grid. **2019 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)**, p. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.1109/GIIS48668.2019.9044961>.
- [25] LEE, S. W.; SARP, S.; JEON, D. J.; KIM, J. H. Smart water grid: the future water management platform. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, n. 2, p. 339-346, 2015. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.917887>.
- [26] LI, C.; SU, Y.; YUAN, R.; CHU, D.; ZHU, J. Light-Weight Spliced Convolution Network-Based Automatic Water Meter Reading in Smart City. **IEEE Access**, v. 7, p. 174359-174367, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2956556>.
- [27] LI, X. J.; CHONG, P. H. J. Design and Implementation of a Self-Powered Smart Water Meter. **Sensors**, v. 19, n. 19, 4177, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19194177>.
- [28] MACHADO, M. R.; JÚNIOR, T. R.; SILVA, M. R.; MARTINS, J. B. Smart Water Management System using the Microcontroller ZR16S08 as IoT Solution. **2019 IEEE 10th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS)**, p. 169-172, 2019. <https://doi.org/10.1109/LASCAS.2019.8667571>.
- [29] MAHMOUD, H. H. M.; WU, W.; WANG, Y. Secure Data Aggregation Mechanism for Water Distribution System using Blockchain. **2019 25th International Conference on Automation and Computing (ICAC)**, p. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.23919/IConAC.2019.8895146>.

- [30] MEYER, B. E.; JACOBS, H. E.; ILEMOBADE, A. Extracting household water use event characteristics from rudimentary data. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 69, n. 4, p. 387-397, 2020. <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.153>.
- [31] MUDUMBE, M. J.; ABU-MAHFOUZ, A. M. Smart Water Meter System for User-Centric Consumption Measurement. **2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**, p. 993-998, 2015. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2015.7281870>.
- [32] PADULANO, R.; DEL GIUDICE, G. A Mixed Strategy Based on Self-Organizing Map for Water Demand Pattern Profiling of Large-Size Smart Water Grid Data. **Water Resources Management**, v. 32, p. 3671-3685, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2012-7>.
- [33] PADULANO, R.; DEL GIUDICE, G. A nonparametric framework for water consumption data cleansing: an application to a smart water network in Naples (Italy). **Journal of Hydroinformatics**, v. 22, n. 4, p. 666-680, 2020. <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.133>.
- [34] PIETROSANTO, A.; CARRATÙ, M.; LIGUORI, C. Sensitivity of water meters to small leakage. **Measurement**, v. 168, 108479, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108479>.
- [35] PRITCHARD, S. W.; HANCKE, G. P.; ABU-MAHFOUZ, A. M. Security in Software-Defined Wireless Sensor Networks: Threats, Challenges and Potential Solutions. **2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**, p. 168-173, 2017. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104765>.
- [36] RAMSEY, E.; PESANTEZ, J.; FASAE, M. A. K.; DICARLO, M.; MONROE, J.; BERGLUND, E. Z. A Smart Water Grid for Micro-Trading Rainwater: Hydraulic Feasibility Analysis. **Water**, v. 12, n. 11, 3075, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12113075>.
- [37] ROBLES, T.; ALCARRIA, R.; MARTÍN, D.; NAVARRO, M.; CALERO, R.; IGLESIAS, S.; LÓPEZ, M. An IoT based reference architecture for smart water management processes. **Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications**, volume 6, n. 1, p. 4-23, 2015. <https://doi.org/10.22667/JOWUA.2015.03.31.004>.
- [38] SIDDIQUEE, M. S. H.; AHAMED, R. Exploring Water Consumption in Dhaka City Using Instrumental Variables Regression Approaches. **Environmental Processes**, v. 7, p. 1255-1275, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00462-3>.
- [39] SIMMHAN, Y.; RAVINDRA, P.; CHATURVEDI, S.; HEGDE, M.; BALLAMAJALU, R. Towards a data-driven IoT software architecture for smart city utilities. **Software: Practice and Experience**, v. 48, p. 1390-1416, 2018. <https://doi.org/10.1002/spe.2580>.
- [40] SINGH, M.; AHMED, S. IoT based smart water management systems: A systematic review. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, n. 11, p. 5211-5218, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>.
- [41] SLANÝ, V.; LUČANSKÝ, A.; KOUDELKA, P.; MAREČEK, J.; KRČÁLOVÁ, E.; MARTÍNEK, R. An Integrated IoT Architecture for Smart Metering Using Next Generation Sensor for Water Management Based on LoRaWAN Technology: A Pilot Study. **Sensors**, v. 20, n. 17, 4712, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20174712>.
- [42] SQUARTINI, S.; GABRIELLI, L.; MENCARELLI, M.; PIZZICHINI, M.; SPINSANTE, S.; PIAZZA, F. Wireless M-Bus Sensor Nodes in Smart Water Grids: the Energy Issue. **2013 Fourth International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)**, p. 614-619, 2013. <https://doi.org/10.1109/ICICIP.2013.6568148>.
- [43] STEPHENS, M.; GONG, J.; ZHANG, C.; MARCHI, A.; DIX, L.; LAMBERT, M. F. Leak-Before-Break Main Failure Prevention for Water Distribution Pipes Using Acoustic Smart Water Technologies: Case Study in Adelaide. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 146, n. 10, 05020020, 2020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001266](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001266).
- [44] TZAGKARAKIS, G.; CHARALAMPIDIS, P.; ROUBAKIS, S.; MAKROGIANNAKIS, A.; TSAKALIDES, P. Quantifying the Computational Efficiency of Compressive Sensing in Smart Water Network Infrastructures. **Sensors**, v. 20, n. 11, 3299, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20113299>.
- [45] VIJAI, P.; SIVAKUMAR, P. B. Design of IoT Systems and Analytics in the context of Smart City initiatives in India. **Procedia Computer Science**, v. 92, p. 583-588, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.386>.
- [46] VIJAI, P.; SIVAKUMAR, P. B. Performance comparison of techniques for water demand forecasting. **Procedia Computer Science**, v. 143, p. 258-266, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.394>.
- [47] VISSER, M.; BOOYSEN, M. J.; BRÜHL, J. M.; BERGER, K. J. Saving water at Cape Town schools by using smart metering and behavioral change. **Water Resources and Economics**, v. 34, 100175, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2020.100175>.
- [48] WU, C.; HUTTON, M.; SOLEIMANI, M. Smart Water Meter Using Electrical Resistance Tomography. **Sensors**, v. 19, n. 14, 3043, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19143043>.
- [49] ZHANG, C.; LAMBERT, M. F.; STEPHENS, M. L.; GONG, J.; CAZZOLATO, B. S. Pipe crack early warning for burst prevention by permanent acoustic noise level monitoring in smart water networks. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 9, p. 827-837, 2020. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1828501>.



- [50] ZHU, X.; YIN, Z.; LIU, Y.; FENG, B.; WANG, Y. Study on Framework Design of Smart Water Management System in Shenzhen. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 330, n. 3, 032008, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/330/3/032008>.