INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e Gestão

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Comunicação, Administração e Turismo

Implementação de Ciclo Urbano da Água na Telemetria Residencial – Gestão e Otimização de Processo

Cristina Maria Pires Ferreira

Relatório de Trabalho de Projeto/Estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Gestão Aplicada

Orientado por

Professora Doutora Ana Sofia Cardim Barata

Professor Doutor Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira

Macedo de Cavaleiros, maio, 2025.

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e Gestão

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Comunicação, Administração e Turismo

Implementação de Ciclo Urbano da Água na Telemetria Residencial – Gestão e Otimização de Processo

Cristina Maria Pires Ferreira

Relatório de Trabalho de Projeto/Estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Gestão Aplicada

Orientado por

Professora Doutora Ana Sofia Cardim Barata

Professor Doutor Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira

Macedo de Cavaleiros, maio, 2025.

Resumo

Contexto e relevância: Os desafios globais exigem ações consistentes por parte das instituições, traduzidas em medidas inovadoras e, muitas vezes, urgentes. As novas tecnologias, são ferramentas importantes na transformação. A inovação deve constituir uma capacidade transversal da Administração Pública, fundamental para melhorar os seus processos e os serviços que presta[1]. Adicionalmente, destaca-se que a redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento é uma preocupação à escala mundial.

Questão de investigação: Encontrar medidas mitigadoras da redução das perdas é um desafio das entidades gestoras de água. A Autarquia de Macedo de Cavaleiros identifica como medida prioritária o combate às fugas de água, sendo que uma das formas de executar esta ação é através da substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes.

Objetivo: O presente projeto tem como objetivo geral reduzir perdas de água como principal pilar da sustentabilidade de uma entidade gestora, com recurso à telemetria residencial, optando pela substituição de medidores de caudal (contadores), tendo os seguintes objetivos específicos: OE_1: Aumentar a faturação em 25% nas zonas abastecidas e com contadores ultrassónicos e OE_2: Diminuir as perdas de água no sistema em pelo menos 5%, após a substituição dos contadores.

Metodologia: O presente projeto insere-se na tipologia de estudo de caso único, aplicado na Autarquia de Macedo de Cavaleiros. Para atingir o objetivo proposto foi realizado um estudo quantitativo descritivo, baseado na recolha de dados inerentes ao parque de contadores, que permitirá aferir a redução das perdas de água, decorrente da substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes. Os dados irão ser registados através do *Microsoft Excel*, em folha de cálculo desenvolvida para o efeito, que permitirá a construção de um mapa de consumos por zona, antes e apos a substituição dos contadores.

Resultados: Os resultados obtidos foram de um aumento da faturação em cerca de 25%, na Zona 6 de abastecimento de água e uma diminuição de 5% das perdas de água.

Conclusões e recomendações: O objetivo primordial foi obter ganhos reais a nível económico e de sustentabilidade do sistema, o que ficou demonstrado ser conseguido com as medidas adotadas. Recomenda-se manter e modernizar a rede de distribuição de água, substituindo tubagens antigas e propensas a fugas por materiais mais duráveis e eficientes; a implementação de programas de sensibilização e de educação para o uso consciente da água junto dos consumidores, incentivando a adoção de práticas de poupança em residências e empresas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, inovação, transparência, eficiência do sistema, gestão.

[1] Resolução do Conselho de Ministros n.º 55/2020, de 31 de julho.

Abstract

Context and relevance: Global challenges demand consistent actions from institutions, translated into innovative and often urgent measures. New technologies are important tools in this transformation. Innovation should be a transversal capability of Public Administration, fundamental for both improving its processes as well as the services it provides[2]. Additionally, it should be emphasised that the reduction of water losses in supply systems is a worldwide concern.

Research question: Identifying mitigating measures for the reduction of losses is a challenge for water management entities. The Municipality of *Macedo de Cavaleiros* recognises combating water leaks as a priority measure, and one way to implement this action is through the replacement of volumetric water meters with smart meters.

Objective: The present project has the overall objective of reducing water losses as the main pillar of the sustainability of a management entity, using residential telemetry, opting for the replacement of flow meters (water meters), with the following specific objectives: SO_1: To increase billing by 25% in the supplied areas with ultrasonic meters and SO_2: To decrease water losses in the system by at least 5% after the replacement of the water meters.

Methodology: The present project follows the single case study typology, applied in the Municipality of *Macedo de Cavaleiros*. To achieve the proposed objective, a descriptive quantitative study will be conducted, based on the collection of data inherent to the meter inventory. This grants the assessment of the reduction in water loss resulting from the replacement of volumetric meters with smart meters. The data will be recorded using Microsoft Excel, in a spreadsheet developed for this purpose, which will then permit the construction of a consumption map divided into zones, before and after the meter replacement.

Results: The results obtained were an increase in invoices of around 25% in Water Supply Zone 6, and a decrease in water losses of 5%.

Conclusions and recommendations: The primary objective was to achieve real gains at an economic and system sustainability level, which has been achieved with the measures adopted. It is fundamental to maintain and modernise the water distribution network, replacing old and leak-prone pipes with more durable and efficient materials. The implementation of awareness and education programs for the conscious use of water among consumers is recommended, encouraging the adoption of water-saving practices in homes and businesses.

Keywords: Sustainability, innovation, transparency, system efficiency, management.

[2] Resolução do Conselho de Ministros n.º 55/2020, de 31 de julho.

Agradecimentos

Agradeço a todos as pessoas que de forma, direta ou indireta, contribuíram para que fosse possível, a realização deste trabalho, que concluo com enorme satisfação

Á Professora Doutora Ana Sofia Cardim Barata, e ao Professor Doutor Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira, agradeço por todos os seus ensinamentos, pela motivação e incentivo, assim como por toda a disponibilidade manifestada ao longo deste percurso.

Aos meus filhos, Cláudia Silva e André Silva, pelo apoio e motivação manifestados, que sempre acreditaram em mim, e me incentivaram em todo o caminho percorrido, mesmo nos momentos menos positivos desta etapa, manifestando o seu amor e carinho incondicionais.

À todos os colaboradores da Divisão de Gestão e Planeamento da Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros, nomeadamente aos técnicos superiores e assistentes técnicos e assistentes operacionais, do setor da água, que com afinco e dedicação tornaram possível que a inovação e a tecnologia fosse uma realidade neste território. o meu muito obrigado.

Grata de uma forma geral ao executivo da Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros, por me ter proporcionado a hipótese de implementar um projeto inovador na autarquia, mesmo com os constrangimentos financeiros inerentes a um projeto desta dimensão, e por terem acreditado que seria possível construir algo tecnologicamente capaz de satisfazer as necessidades de todos, tornando possível criar um novo rumo para a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água no concelho.

A todos, o meu muito obrigado.

Abreviaturas e/ou Acrónimos e/ou Siglas

ABB	Fabricante de equipamentos eletrónicos, nomeadamente contadores de água
ABP	*Activation by Personalization* (método de ativação de sensors) *LoRaWAN*
AGU	Aplicação de Gestão da Água da Medidata
API	*Application Programming Interface*
AdN	Águas do Norte
CAPEX	*Capital Expenditure* (Custos de Investimento)
CCP	Código dos Contratos Públicos
CIM-TTM	Comunidade Intermunicipal de Terras de Trás-os-Montes
CMMC	Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros
CSV	*Comma Separated Values* (Formato de ficheiro)
DGP	Divisão de Gestão e Planeamento
DN	Diâmetro Nominal
DRE	Diário da República Eletrónico
EE	Estação Elevatória
EG	Entidade Gestora
EN	Norma Europeia
ERSAR	Entidade Reguladora de Serviços de Água e Resíduos
ETA	Estação de Tratamento de Águas
ETL	*Extract, Transform, Load* (Processo de integração de dados)
EU	*European Union* (União Europeia)
G	Ligação roscada, tipo de conexão hidráulica
GIS	*Geographic Information System*
GISMAT	Aplicação de tecnologia SIG (Sistema de Informação Geográfica)
GSM	*Global System for Mobile Communications*
INCM	Imprensa Nacional Casa da Moeda
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	*Internet Protocol*
IoT	*Internet of Things* (Internet das Coisas)
JOUE	Jornal Oficial da União Europeia
LCD	*Liquid Crystal Display*
LoRa	*Long Range* – Tecnologia de comunicação sem fios de longo alcance
LoRaWAN	*Long Range Wide Area Network*
MBus	*Meter-Bus* (protocolo de comunicação para medidores)
MID	*Measuring Instruments Directive* (Diretiva de Instrumentos de Medição)
ML	*Machine Learning* (Aprendizagem automática)
MQTT	*Message Queuing Telemetry Transport* (Protocolo de comunicação)
m^3	Metro cúbico (Unidade de volume)
NB-IoT	*Narrowband Internet of Things*

NUT	Nomenclatura das Unidades Territoriais
OPEX	*Operational Expenditure* (Custos operacionais)
OTAA	*Over The Air Activation* (Método de ativação de sensores *LoRaWAN*)
PVC	Policloreto de Vinilo
Q	Caudal – utilizado como variável nos contadores de água
R	Razão entre caudal permanente e mínimo (Q_3/Q_1)
RASARP	Relatório Anual de Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
ROSMEC	Regulamento de Organização dos Serviços Municipais, Estrutura e Competências
SA	Sistema de Abastecimento
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition* (Sistema de controlo e aquisição de dados)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMAS	Serviços Municipalizados de Água e Saneamento
UPS	*Uninterruptible Power Supply* (Sistema de alimentação ininterrupta)
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
ZMC	Zona de Medição e Controlo

Índice

Lista de Figuras x

Lista de Tabelas xi

Introdução 1

1. Enquadramento Teórico 3

1.1. Evolução Histórica 3

1.2. Enquadramento Legal e Legislativo 5

1.3. Redes de Abastecimento de Água - Zonas de Medição e Controlo 7

1.4. Tecnologias de Apoio à Gestão do Uso Inteligente da Água 10

1.4.1. Tecnologias Emergentes para a Monitorização e Gestão Inteligente da Água 10

1.4.2. Contadores Digitais para Redes Prediais (Contadores, Comunicações, *Hardware*) 11

1.4.3. Plataformas de Gestão e Análise de Dados (*Software* de Suporte à Decisão) 12

1.5. Gestão e Custos 13

1.5.1. Custos Associados 14

1.5.2. Categorias Gerais de Custos 14

1.5.3. Custos por Consumidor e por Zona Geográfica 15

1.5.4. Vantagens e Desvantagens de Sistemas Integrados em Alta ou em Baixa no Abastecimento de Água 16

1.5.5. Perdas de Água no Abastecimento em Baixa 17

2. Metodologia e Métodos de Investigação 18

2.1. Objetivos e Tipo de Estudo 18

2.2. Recolha e Tratamento de Dados 18

3. Descrição da Organização 20

3.1. O Concelho de Macedo de Cavaleiros 20

3.2. A Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros 21

3.2.1. Missão, Visão e Valores 21

3.2.2. Estrutura Orgânica 21

3.3. Divisão de Gestão e Planeamento da CMMC 22

4. Planeamento, Desenvolvimento e Implementação 25

4.1. Descrição das Redes de Abastecimento de Água da EG 25
4.2. Identificação da Zona de Intervenção 26
4.2.1. Contexto do Parque de Contadores da Zona 6 26
4.2.2. Análise SWOT Antes da Implementação do Sistema 33
4.3. Identificação do Parque de Contadores a Substituir 34
4.4. Características e Especificações Técnicas da Tecnologia 37
4.4.1. Especificações e Requisitos Técnicos da Infraestrutura da Rede *LoRaWAN* 37
4.4.2. Arquitetura do Sistema de Contadores e Comunicações 37
5. Avaliação, Apresentação e Análise dos Resultados 40
5.1. Avaliação de Resultados da Faturação dos Consumidores 40
5.1.1. Volume de Água Registada para Faturação dos Consumidores da Zona 6 40
5.1.2. Evolução da Faturação na Zona 6 no Primeiro Trimestre de 2025 42
5.2. Avaliação de Resultados da Diminuição das Perdas de Água no Sistema em Alguns Aglomerados Rurais 43
5.3. Análise dos Resultados das Perdas do Sistema 44
5.3.1. Evolução das Perdas por Ramal 44
5.3.2. Redução de Perdas pela Substituição de Contadores 45
5.3.3. Redução de Perdas pela Instalação de ZMC 46
5.3.4. Análise Financeira 47
5.4. Análise SWOT Após Implementação do Sistema 48
Conclusões e Recomendações 50
Referências Bibliográficas 54
Anexos 58
Anexo I. Características Técnicas dos Contadores a Substituir 58
Anexo II. Especificações do Módulo de Telemetria 60

Lista de Figuras

Figura 1. Esquemas de redes de abastecimento de água (redes ramificadas, redes emalhadas e redes mistas). 7

Figura 2. Esquema da Água (Tratamento Convencional). 8

Figura 3. Medidores de caudal ou contadores, válvula de corte ou de seccionamento, sistema de telemetria e válvula redutora de pressão. 9

Figura 4. Exemplo de Esquema de ZMC. 9

Figura 5. Bateria de contadores ultrassónicos. 12

Figura 6. Municípios que pagam mais *vs*. Municípios que pagam menos. 15

Figura 7. Mapa de freguesias do município de Macedo de Cavaleiros. 20

Figura 8. Estrutura Orgânica do Município de Macedo de Cavaleiros. 22

Figura 9. Mapa do Sistema de abastecimento de CMMC. 25

Figura 10. Mapa de alargamento a contadores inteligentes. 27

Figura 11. Mapa resultante do estudo de cobertura de rede, com *gateways* necessários. 28

Figura 12. *Dashboard* do *software*. 29

Figura 13. Parque de contadores por idade. 30

Figura 14. Mapa de ZMC e mapa de zonas de consumos. 31

Figura 15. Zona de intervenção do projeto. 35

Figura 16. Mapa de cobertura de rede. 36

Figura 17. Torre ou *gateway*. 36

Figura 18. Esquema global dos sensores. 38

Figura 19. Arquitetura do sistema. 39

Figura 20. Mapa comparativo de volume de água faturado, 2023 e 2024. 41

Figura 21. Comparação do diferencial no consumo de água (faturação) entre o primeiro trimestre de 2023, 2024 e 2025. 43

Figura 22. Gráfico de consumos em Corujas, 2024 43

Figura 23. Gráfico de consumos em Vale da Porca, 2024. 44

Figura 24. Mapa de perdas de água no sistema, 2017 a 2024. 45

Figura 25. Mapa de ZMC da estação com informação sobre perdas reais diárias. 46

Figura 26. Evolução dos custos anuais, 2017 a 2026. 48

Lista de Tabelas

Tabela 1. Legislação portuguesa sobre a água. 6

Tabela 2. Estudos sobre a gestão inteligente da água e tecnologias que lhes estão associadas. . 11

Tabela 3. Categorias de custos gerais do ciclo urbano da água. 14

Tabela 4. Comparação de perdas de água entre EG Públicas e Privadas. 17

Tabela 5. Objetivos Específicos, instrumentos de recolha e fontes de dados. 19

Tabela 6. Número de contadores a substituir na segunda fase, por diâmetro. 28

Tabela 7. Número de contadores por zona de leitura. 32

Tabela 8. Características dos contadores a substituir na Zona 6. 32

Tabela 9. Características dos contadores substituídos na Zona 6. 33

Tabela 10. Análise SWOT anterior à implementação do sistema. 33

Tabela 11. Contadores a substituir por diâmetro. 34

Tabela 12. Características do sistema centralizado de *gateways*. 38

Tabela 13. Mapa de consumos mensais e diferencial de consumo da Zona 6, em 2023 e 2024, m^3 e %. 41

Tabela 14. Consumos totais mensais, em m^3, 2023, 2024 e 1º trimestre de 2025. 42

Tabela 15. Exemplo de perdas de água residenciais na Zona 6. 46

Tabela 16. Mapa de fugas de água da ZMC da Estação. 47

Tabela 17. Mapa de volumes e valores de água anuais aduzidos no sistema, 2017 a 2024. 47

Tabela 18. Análise SWOT após implementação do sistema. 48

.

Introdução

A gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos representa um desafio crescente para as sociedades modernas. Nesse contexto, a inovação tecnológica emerge como um pilar fundamental para otimizar o abastecimento público de água. Entre as diversas soluções promissoras, os contadores inteligentes destacam-se como uma ferramenta revolucionária, capaz de transformar a forma como a água é distribuída, consumida e monitorizada. Ao integrarem tecnologias de comunicação e sensores, estes dispositivos oferecem uma visão detalhada e em tempo real do consumo, abrindo caminho para uma gestão mais inteligente, económica e ambientalmente responsável da água, influenciando positivamente tanto as entidades gestoras como os consumidores.

Por outro lado, sabemos que as perdas de água nas redes de abastecimento público são um problema de escala global com implicações significativas a nível ambiental, económico e social. Estima-se que biliões de metros cúbicos de água tratada se percam anualmente em todo o mundo devido a fugas, roturas, ligações ilegais e erros de medição. Em Portugal, anualmente, perdem-se cerca de 184 milhões de metros cúbicos de água nas redes de abastecimento, valor que representa quase um terço da água que entra no sistema de distribuição. Em 2022, foram desperdiçados 162 milhões de metros cúbicos de água. A modernização das infraestruturas e a adoção de tecnologias inovadoras, como os contadores inteligentes, desempenham um papel fundamental, para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a eficiência do abastecimento público de água.

A justificação e a relevância de um projeto de redução de fugas de água são multifacetadas e têm uma influência positiva em diversos aspetos da gestão hídrica, da economia e do ambiente, especialmente no contexto atual de crescente escassez de água e de preocupações com a sustentabilidade. Em Macedo de Cavaleiros, como noutras regiões, a implementação de tais projetos é fundamental por várias razões, tais como:

- Redução de custos, pois as perdas de água representam custos significativos para a entidade gestora, e reduzir as fugas traduz-se numa diminuição destes custos operacionais.
- Aumento das receitas, uma vez que a água perdida não é faturada, gerando mais receitas para a entidade gestoras, que podem ser reinvestidas na melhoria das infraestruturas e dos serviços.
- Melhoria da qualidade dos serviços, aumentando a satisfação dos munícipes

Este projeto tem como principal objetivo reduzir as perdas de água, posicionando essa meta como um dos pilares fundamentais para a sustentabilidade da entidade gestora. Passa pela implementação da telemetria residencial, com a substituição medidores de caudal (contadores) volumétricos por dispositivos inteligentes mais precisos e eficientes. Trata-se de uma metodologia de contagem de água inovadora, que se insere numa inovação de serviço, que permite otimizar os recursos hídricos e a mão-de-obra.

Partindo da questão de investigação “Será que a redução das perdas de água, com recurso à telemetria residencial, optando pela substituição de medidores de caudal (contadores) volumétricos por contadores ultrassónicos (inteligentes) contribui substancialmente para a sustentabilidade de uma Entidade Gestora?” definiram-se como objetivos específicos o aumento da faturação em 25% na zona 6 de abastecimento, após a substituição de contadores volumétricos por contadores ultrassónicos; e a diminuição das perdas de água no sistema em pelo menos 5%.

Com observação e participação ativa no projeto, tratando-se de um estudo de caso único (seguindo uma lógica dedutiva e exploratória), a metodologia adotada passou essencialmente pela análise documental, através da recolha de dados e levantamento técnico no terreno, efetuando registos de consumos e de leituras nos pontos de entrega, pela entidade gestora em alta (Águas do Norte), registos e faturas dos contadores utilizando o *software* da empresa MedidataNet, registos de ocorrências na aplicação *Flow Water* - Macedo de Cavaleiros e ainda no Portal da Entidade Reguladora de Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), com os balanços hídricos anuais para a entidade gestora em baixa (CMMC).

Em termos estruturais, este trabalho está dividido em cinco secções principais, como de seguida descritas.

Na primeira secção foi elaborado o enquadramento teórico, no qual se realizou a contextualização do objeto de estudo, da evolução histórica da água e tecnologias subjacentes.

Na segunda secção descreve-se a metodologia e definição de objetivos do estudo. A metodologia segue uma lógica dedutiva e exploratória, permitindo compreender os requisitos técnicos e organizacionais do território, bem como avaliar a viabilidade e o impacto da solução proposta.

A terceira secção diz respeito à caracterização da entidade gestora da água, contendo uma descrição do território do concelho de Macedo de Cavaleiros.

Na quarta secção apresenta-se o planeamento, o desenvolvimento e a implementação, passando pela descrição das redes de abastecimento de água da Entidade Gestora do Parque de Contadores da Zona 6 (que foi selecionada como zona de estudo), bem como a caracterização e especificações técnicas da tecnologia.

Na quinta secção procede-se à avaliação de resultados da faturação dos consumidores e dos resultados da diminuição das perdas de água no sistema.

Finalmente, apresenta-se a conclusão geral do trabalho, a partir da qual se pretende fazer uma reflexão sobre o tema considerado, essencial à vida humana, sendo abordada a questão da importância da gestão da água como uma questão fulcral para as entidades gestoras. São ainda apresentadas algumas considerações finais e apresentadas sugestões para projetos futuros.

1. Enquadramento Teórico

A água é essencial na manutenção dos ecossistemas e fundamental na estabilidade climática do planeta. Processos como a evaporação, a transpiração, a precipitação, a infiltração e o seu uso em harmonia na distribuição da água aos seres humanos constitui como parte no contexto do ciclo da água no planeta, formando um misto de equilíbrio ambiental e de sustentabilidade. Além do seu papel biológico e ecológico, a água é um recurso estratégico para o desenvolvimento humano, estando o seu uso presente na agricultura, na pecuária, na indústria, na produção de energia e no abastecimento público.

1.1. Evolução Histórica

Ainda não há um consenso absoluto sobre a origem da água na Terra. Algumas teorias apontam para a água como proveniente do próprio processo de formação do planeta, através da libertação de moléculas de água e por compostos presentes na terra primitiva, outra teoria sugere que a água chegou à terra através de cometas e asteroides ricos em gelo que colidiram com o planeta (Gleiser, 2024). Não obstante a origem da água, sabemos que as primeiras civilizações se desenvolveram próximas de rios e lagos ou outras fontes de água, por serem essenciais para a agricultura, e para a sobrevivência do ser humano e de outras espécies animais.

Ao longo da história, a gestão da água tem sido um fator fundamental para o desenvolvimento e para a sobrevivência das sociedades. Os primeiros sistemas de distribuição de água surgiram há cerca de 4.500 anos (Duarte, 2014; Ribeiro, 2003).

Na Mesopotâmia (2500 a.C.), as civilizações mesopotâmicas, como a Babilónia, desenvolveram infraestruturas de drenagem e saneamento, incluindo sarjetas e sumidouros para conduzir e armazenar as águas superficiais, para posterior utilização (Ribeiro, 2003).

A Índia também possui registos de sistemas de distribuição de água e coletores de esgoto que datam de aproximadamente 4000 anos (Ross, 2010).

Na China, já desde os tempos do Rio Amarelo, que os chineses construíram represas e diques para controlar as águas e fornecer sistemas de irrigação para a agricultura, sendo o sistema de irrigação *Dujiangyan*, construído no século III a.C., um exemplo notável (Tessmer, 2002).

Os romanos eram mestres na engenharia hidráulica, construindo aquedutos que transportavam água por longas distâncias para abastecer cidades, deixando um legado impressionante que ainda hoje nos maravilha. A sua capacidade de dominar a água foi fundamental para o desenvolvimento do Império Romano, permitindo-lhes construir cidades prósperas e garantir o bem-estar da sua população. Um dos principais feitos da engenharia hidráulica romana são os aquedutos romanos que são talvez a sua obra mais icónica. Estas estruturas monumentais transportavam água de fontes distantes até às cidades, utilizando a gravidade. A sua construção envolvia um profundo conhecimento de topografia, materiais e hidráulica. A rede de aquedutos de Roma era extensa,

fornecendo água para fontes públicas, termas, casas particulares e sistemas de esgoto. Os romanos construíram barragens e represas para armazenar água para irrigação e abastecimento urbano (Campos, 2013).

Os engenheiros romanos adquiriram um profundo conhecimento prático através da observação e experimentação. Eles desenvolveram materiais de construção duradouros e consistentes como o betão romano, que eram ideais para obras hidráulicas. Sendo que a construção de grandes obras hidráulicas exigia uma organização e muito planeamento, pelo que se tornaram rigorosos, na procura de novas formas de melhorar os seus sistemas hidráulicos.

Durante séculos, muitas construções emblemáticas eram edificadas junto a rios e outras fontes de água, como mosteiros, abadias, aldeias, entre outras, permitindo captação deste recurso para uso dos utilizadores, para agricultura e pecuária de subsistência.

Em Lisboa, Portugal, existe o Aqueduto das Águas Livres, obra notável de engenharia hidráulica construída entre 1731 e 1799, que tinha como objetivo trazer água até à cidade, totalizando o sistema de captação e transporte num total de 58km de distância, garantindo a condução da mesma por gravidade, e acabando por resistir ao violento terramoto de 1755 (da Silva, 2015). Assim, o legado da engenharia hidráulica romana é inegável, e as suas obras continuam a inspirar e a influenciar a engenharia moderna.

Os sistemas de água atuais, impulsionados pela engenharia moderna, representam um salto gigantesco em relação às técnicas antigas de tratamento e distribuição de água. Como principais avanços identificam-se os sistemas de desinfeção e tratamento, constituídos pelas Estações de Tratamento de Água (ETA), que utilizam filtragem e desinfeção. As barragens modernas são projetadas para armazenar grandes volumes de água, controlar inundações e gerar energia elétrica. As estações elevatórias com grupos de bombas de alta eficiência energética impulsionam a água através das tubagens, garantindo a pressão adequada em todos os pontos da rede. As redes de distribuição de água, constituídas com materiais duráveis e resistentes à corrosão, como o polietileno de alta densidade (PEAD) e o policloreto de vinilo (PVC), garantem uma maior eficiência na distribuição da água. Mais recentemente, os sistemas de monitorização e controlo remotos permitem a deteção de fugas, a otimização da pressão, o controlo do fluxo de água e até o controlo de qualidade da mesma.

No seculo XXI, a água doce é já considerada um recurso escasso e a sua valorização e importância são objeto de estudo e preocupação por parte da população mundial. A escassez de água potável afeta milhões de pessoas globalmente, sendo que a sua disponibilidade e qualidade são determinantes para a sobrevivência das espécies e do bem-estar humano. Diante dos desafios ambientais e da crescente procura de melhoria dos sistemas, a preservação dos recursos hídricos deve ser uma preocupação constante.

Sobretudo nos países mais desenvolvidos, prevalece um foco na qualidade da água, existindo para o efeito regulamentação europeia e nacional (Lei da Água, 2005), que estabelece critérios e regras a serem cumpridas, no tratamento e no abastecimento de água. Salienta-se que o consumo de água

no planeta triplicou no século XX, não só no consumo humano, mas também na agricultura, na pecuária, na indústria, e noutros setores de atividade, sendo atribuído a fatores como o crescimento populacional contínuo, mas também associado à má gestão de instalações e infraestruturas desatualizadas ou inadequadas, contribuindo para uma crise mundial da água, decorrente da sua má gestão.

1.2. Enquadramento Legal e Legislativo

A Diretiva 80/778/CEE do Conselho, de 15 de Julho de 1980, relativa à qualidade das águas destinadas ao consumo humano, veio criar um programa de medidas a utilização de instrumentos económicos por parte dos Estados-Membros, determinando que devem ser considerados segundo o princípio do poluidor-pagador. Para esse efeito, será necessária uma análise económica dos serviços hídricos baseada em previsões a longo prazo relativas à oferta e à procura de água na região hidrográfica.

Em 1993 surge em Portugal um novo modelo de gestão da água, com a criação das Águas de Portugal (ADP). Trata-se de um instrumento empresarial do Estado para reformar a gestão dos serviços de abastecimento de água e de saneamento do país, iniciando uma trajetória de mudança, sendo um grupo empresarial, de capitais exclusivamente públicos, cuja principal atividade é a gestão integrada do ciclo urbano da água.

Em 18 de Dezembro de 1995, o Conselho da União Europeia adotou resoluções que exigem, nomeadamente, a elaboração de uma nova diretiva-quadro (DQA) que estabeleça os princípios básicos de uma política sustentável da água na União Europeia, convidando a Comissão a apresentar uma proposta.

Assim, a 23 de Outubro de 2000, foi publicada a Diretiva Quadro da água (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho), sendo o principal instrumento da Política da União Europeia da água, que veio a ser transposta para o direito nacional através da Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro, que ficou conhecida como a Lei da Água, tendo já sido publicada a nona versão através da Lei nº 82/2023. Esta lei estabelece o enquadramento para a gestão das águas superficiais, designadamente águas subterrâneas, de forma a evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres no que respeita às necessidades de água. Com este diploma, pretende-se promover uma utilização sustentável de água, baseada numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis e de medidas específicas para a redução gradual e a cessação ou eliminação por fases da poluição das águas subterrâneas.

Ao longo dos anos, tem vindo a ser publicados diplomas legislativos, com vista à regulação do consumo da água, bem como garantia da qualidade da mesma.

As atividades de abastecimento público de água às populações constituem serviços públicos de carácter estrutural, sendo essenciais ao bem-estar geral, à saúde pública e à segurança coletiva

das populações, às atividades económicas e à proteção do ambiente. Estes serviços devem pautar-se por princípios de universalidade no acesso, de continuidade e qualidade de serviço. Na Tabela 1, evidencia-se alguma da legislação existente em Portugal, como forma de regular o abastecimento da água.

Tabela 1. Legislação portuguesa sobre a água.

Legislação	Definição	Âmbito de aplicabilidade
Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto.	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.	Tem por objeto os sistemas de distribuição pública e predial de água e de drenagem pública e predial de águas residuais, de forma que seja assegurado o seu bom funcionamento global, preservando a segurança, a saúde pública e o conforto dos utentes.
Decreto Lei n.º 69/2023 de 21 de agosto.	Estabelece o regime jurídico da qualidade da água destinada ao consumo humano.	Aplica-se às águas destinadas ao consumo humano.
Lei n.º 10/2014, de 6 de março.	Aprova os Estatutos da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR).	A ERSAR tem por missão a regulação e a supervisão dos setores dos serviços de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos, abreviadamente designados por serviços de águas e resíduos, incluindo o exercício de funções de autoridade competente para a coordenação e a fiscalização do regime da qualidade da água para consumo humano.
Decreto Lei n.º 103/2010 de 24 de setembro.	Estabelece as normas de qualidade ambiental no domínio da política da água e transpõe a Diretiva n.º 2008/105/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, e parcialmente a diretiva n.º 2009/90/CE, da Comissão, de 31 de julho.	Aplica-se às águas doces superficiais, incluindo todas as massas de água artificiais e todas as massas de água fortemente modificadas com elas relacionadas.
Decreto Lei n.º 194/2009 de 20 de agosto.	Estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos.	Estabelece a gestão dos sistemas municipais de captação, elevação, tratamento, adução, armazenamento e distribuição de água para consumo público, bem como a gestão de fontanários não ligados à rede pública de distribuição de água que sejam origem única de água para consumo humano.
Portaria nº 702/2009 de 06 de julho.	Estabelece os termos da delimitação dos perímetros de proteção das captações destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano, bem como os respetivos condicionamentos.	Define regras de proteção das captações de água para consumo humano.

Fonte: Elaboração própria.

1.3. Redes de Abastecimento de Água - Zonas de Medição e Controlo

Para enfrentar o desafio significativo da eficiência dos sistemas de abastecimento de água, no ciclo urbano da água é fundamental que as redes de distribuição se tornem mais eficientes, sendo urgente reduzir as perdas de água nos sistemas de distribuição. No entanto é importante que os consumidores tomem consciência que também eles desempenham um papel fundamental na redução do consumo de água.

As redes de distribuição de água são sistemas complexos que garantem o abastecimento de água potável às populações, indústrias e outros setores. A sua eficiência e segurança são fundamentais para a saúde pública e o desenvolvimento socioeconómico.

Em engenharia hidráulica, "redes emalhadas" referem-se a sistemas de distribuição de água com múltiplos caminhos interligados, e ao contrário das redes ramificadas, onde a água flui numa única direção, as redes emalhadas permitem que as águas circulem em circuito fechado, aumentando o controlo e a eficiência do sistema. Existem ainda sistemas que utilizam Redes Mistas, Na Figura 1 pode verificar-se os três distintos sistemas de redes, nomeadamente, as redes ramificadas, as redes emalhadas e as redes mistas.

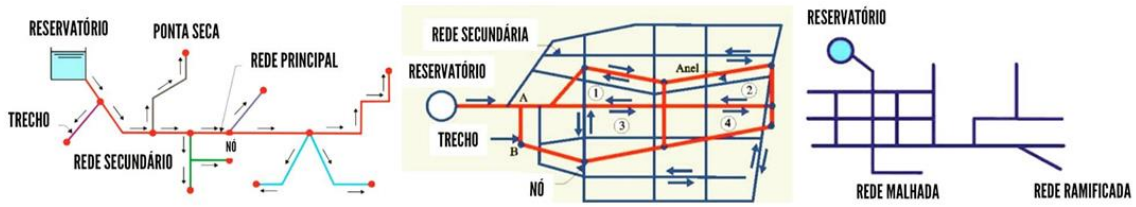

Figura 1. Esquemas de redes de abastecimento de água (redes ramificadas, redes emalhadas e redes mistas).
Fonte: Planet Eng. (2021).

As redes de abastecimento público usam tubagens enterradas que se designam habitualmente por condutas e que são instaladas abaixo da superfície do terreno. As tubagens são utilizadas para transportar água potável desde as estações de tratamento ou captações até aos pontos de consumo (habitações, edifícios comerciais, industriais, etc.). Sendo redes de abastecimento público trata-se de uma componente essencial das infraestruturas de distribuição de água, e que por isso são projetadas e executadas para garantir um fornecimento contínuo, seguro e eficiente de água à população.

Nas tubagens são usados atualmente materiais resistentes e com características adequadas ao transporte de água potável, nomeadamente:

- O Policloreto de Vinilo (PVC), utilizado em vários diâmetros desde 63mm a 200mm e que é fabricado em varas de 6m, e transportado e armazenado de forma adequada ao clima.

- O Polietileno de Alta Densidade (PEAD), também este utilizado em vários diâmetros desde 20mm a 500mm ou mais, sendo em diâmetros mais pequenos o fabrico em rolos de 100m, tornando a sua aplicação mais rápida.
- Ferro Fundido Dúctil também utilizado em redes de abastecimento, normalmente em diâmetros maiores, superiores a 100mm, e possui alta resistência à pressão interna e externa, bem como a cargas de tráfego e outros esforços mecânicos.

Na Figura 2 exemplifica-se o ciclo da água (tratamento convencional) desde a sua origem/captação, passando pelo tratamento com diversas fases até à distribuição nos diversos consumidores, desde os domésticos, comerciais e industriais.

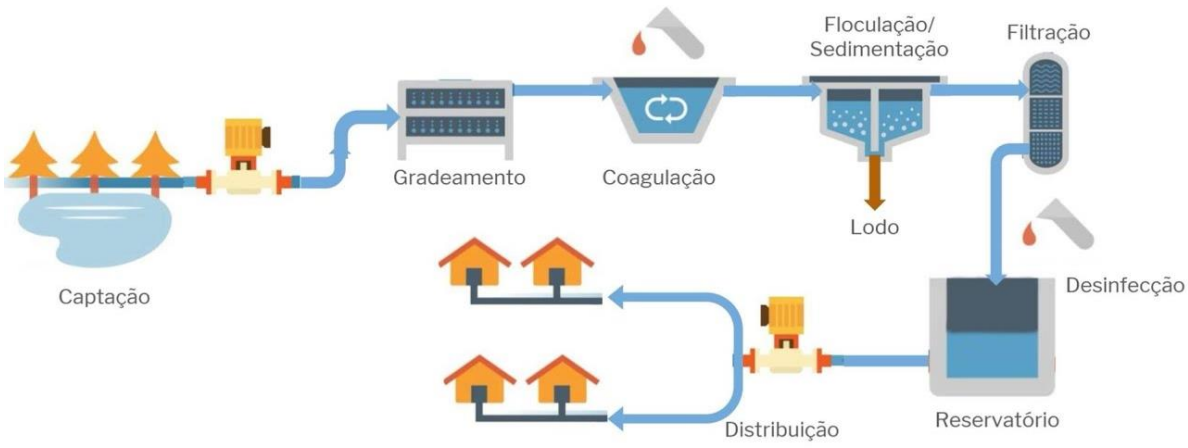

Figura 2. Esquema da Água (Tratamento Convencional).
Fonte: Águas de Portugal (2021).

Nas redes emalhadas criam-se Zonas de Medição e Controlo (ZMC), que são áreas delimitadas dentro de uma rede de distribuição de água, com o objetivo de monitorizar e gerir o fluxo de água de forma mais eficiente. A implementação de ZMC traz diversos benefícios tais como a redução de perdas de água pois, ao monitorizar o fluxo de água em cada zona, é possível identificar e corrigir fugas e outros problemas que levam à perda de água. Fazer a gestão da pressão na rede, permite o controlo da pressão da água em cada zona permitindo assim otimizar o consumo de água e reduzir o risco de roturas na tubagem.

A monitorização do consumo de água em cada zona permite ajustar o abastecimento de acordo com as necessidades de cada área. E a deteção de fraudes possibilita a comparação de caudais entre a água aduzida e água faturada, viabilizando a identificação de consumos anormais que podem indicar consumos ilícitos.

As zonas de medição e controlo são uma ferramenta fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a sua implementação contribui para a redução das perdas de água, a otimização do abastecimento e a melhoria da qualidade dos serviços prestados à população. Nas ZMC podemos encontrar entre outros componentes, os que se encontram nas figuras seguintes.

Assim, na Figura 3 encontra-se um medidor de caudal ou contador, que se trata de um equipamento que mede o volume da água nas redes de abastecimento de água; uma válvula de corte ou de seccionamento, tratando-se de um equipamento que controla o fluxo de água na rede e que possibilita o fecho e abertura da água nos sistemas de abastecimento; um sistema de telemetria, que se trata de um sistema que possibilita a transmissão dos dados dos medidores (*datalloger*), para o centro de controlo (servidor); e uma válvula redutora de pressão, que se trata de um equipamento de controlo de pressão na rede, que permite regular a pressão nas redes de abastecimento de água.

Figura 3. Medidores de caudal ou contadores, válvula de corte ou de seccionamento, sistema de telemetria e válvula redutora de pressão.

Fonte: ÁguaSistemas (n.d.), CGF Janz (n.d.) e Water eSource (n.d.).

A título de exemplo, destaca-se que no caso do Município de Macedo de Cavaleiros, existem na cidade 16 ZMC, e mais 37 nos aglomerados rurais, normalmente associadas aos reservatórios de água. Na Figura 4, é apresentado um esquema exemplificativo de uma ZMC no sistema de abastecimento, devidamente operacionalizado e controlado. Este esquema evidencia uma zona que contém um conjunto de outras zonas associadas, trata-se do Ponto de Entrega (PE) da Serra de Ala, que é em simultâneo um ponto de entrega de água em alta. Apresenta-se como uma das principais ZMC, dado que faz que tem derivação para quatro outras grandes zonas de abastecimento. Esta ZMC, tal como todas as outras tem associada válvulas de seccionamento e *datalloger*.

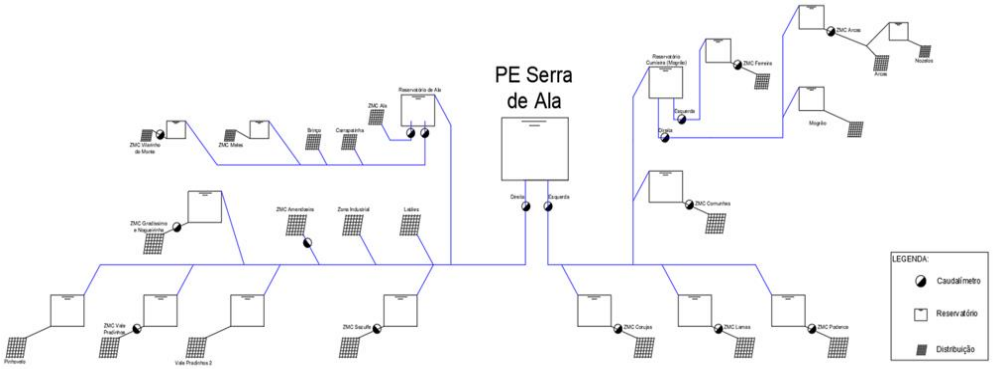

Figura 4. Exemplo de Esquema de ZMC.

Fonte: Elaboração própria.

1.4. Tecnologias de Apoio à Gestão do Uso Inteligente da Água

O aumento do consumo de água conduz à necessidade de recorrer a mecanismos de controlo precisos, apesar do alto custo associado à instalação de vários instrumentos de monitorização e de todos os mecanismos que fazem parte dos sistemas correspondentes.

Os sistemas inteligentes de monitorização de redes de abastecimento de água representam uma evolução fundamental na gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos. Estes sistemas utilizam tecnologias avançadas para otimizar o funcionamento dos sistemas de abastecimento de água, garantindo a qualidade da mesma, a eficiência energética e a redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento. Permitem a recolha de dados em tempo real sobre diversos parâmetros, como caudal, pressão, qualidade da água e níveis de reservatórios. Utilizam tecnologias como redes *Long Range*, designadas por *LoRaWAN*, que permitem a comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia. Processam os dados recolhidos, identificando padrões, anomalias e tendências. Utilizam algoritmos de inteligência artificial para otimizar o funcionamento do sistema, para prever falhas e tomar decisões em tempo real. A recolha e análise de dados sobre o consumo de água permite a identificação de padrões de consumo e a implementação de medidas para reduzir o desperdício e promover o uso eficiente da água. Os sistemas inteligentes de monitorização de sistemas de abastecimento de água são uma ferramenta essencial para garantir a segurança, a eficiência e a sustentabilidade dos recursos hídricos.

1.4.1. Tecnologias Emergentes para a Monitorização e Gestão Inteligente da Água

A gestão inteligente da água representa uma abordagem inovadora e sustentável e contribui para a melhoria da gestão dos recursos hídricos. A utilização de tecnologias avançadas permite otimizar o uso da água, reduzir as perdas, monitorizar e controlar a sua qualidade, com um objetivo estratégico que passa por garantir a disponibilidade da água com qualidade e em quantidade, para as gerações presentes e futuras.

Na Tabela 2 apresentam-se alguns estudos sobre a gestão inteligente da água e as respetivas tecnologias que lhes estão associadas, tais como: sensores inteligentes e Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT), que são sensores instalados em redes de distribuição; contadores Inteligentes (*Smart Meters*), que permitem o monitorização do consumo de água em residências, estabelecimentos de comércio e indústria; plataformas de gestão e análise de dados (*Supervisory Control and Data Acquisition*, SCADA), que permitem o controlo remoto de equipamentos em estações de tratamento e redes de distribuição; redes de comunicação de baixo consumo (*LoRaWAN*, NB-IoT, *Sigfox*); modelos de simulação e geminação digital (*Digital Twins*); e algoritmos de *Artificial Intelligence* (AI) e *Machine Learning* (ML).

Tabela 2. Estudos sobre a gestão inteligente da água e tecnologias que lhes estão associadas.

Tecnologia	Definição e utilização em contexto de gestão inteligente da água	Autor
Sensores inteligentes (*Internet of Things*, IoT).	Os estudos visam realizar uma revisão da literatura sobre os esforços de pesquisas acerca dos sistemas inteligentes de água.	Ferreira et al. (2023). Lima (2015).
Contadores inteligentes (*Smart Meters*).	O objetivo é identificar as tecnologias relatadas em artigos académicos com aplicação e desenvolvimento nas tecnologias já implementadas ou caracterizadas como tendências futuras.	Novais (2019). Santos e Oliveira (2021).
Plataformas de gestão e análise de dados (SCADA, GIS, BI).	O objetivo destes trabalhos passa por propor uma solução de plataforma de *Business Intelligence* (BI) que possa contribuir para amenizar o problema do desperdício de água nos ambientes urbanos	Silva e Souza (2020). Almeida (2020).
Redes de comunicação de baixo consumo (LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox).	O objetivo destes artigos é propor abordagens de monitorização e controle da distribuição mais eficiente para a entidade gestora de água, a fim de reduzir as perdas de água. A IoT pode contribuir para desenvolver sistemas mais adequados no sentido de tornar o consumo de recursos hídricos mais eficiente.	Turcu et al. (2018). Topanotti (2021).
Modelos de simulação e geminação digital (Digital Twins).	Estes artigos descrevem o desenvolvimento de uma plataforma DT de última geração para WDS, introduzindo tecnologias avançadas como a IoT, Inteligência Artificial e modelos de Aprendizagem de Máquinas.	Homaei et al. (2024). Ferreira et al. (2023).
Algoritmos de AI e ML.	Os estudos fornecem uma revisão abrangente das abordagens profundas de última geração usadas na indústria de água para tarefas de geração, previsão, melhoramento e classificação, e servem como um guia sobre como utilizar métodos de disponíveis para futuros desafios de recursos hídricos.	Sit el al. (2020). Bartos et al. (2017).

Fonte: Elaboração própria.

1.4.2. Contadores Digitais para Redes Prediais (Contadores, Comunicações, *Hardware*)

Os contadores inteligentes (*smart meters*) são dispositivos eletrónicos que medem e registam o consumo de água de forma automática e em tempo real. Estes vieram substituir os tradicionais contadores volumétricos, trazendo maior precisão e eficiência para a gestão do consumo de água. Os *smart meters* utilizam sensores e tecnologia de comunicação (como redes *LoRaWAN*, Wi-Fi, ou redes de rádio) para enviar dados diretamente para as Entidades Gestoras (EG) de água. Estes sistemas permitem a eliminação da necessidade de leitura manual, possibilitando uma monitorização contínua do consumo.

O contador de água ultrassónico oferece uma elevada precisão e um erro de medição muito próximo de 0%. Como permanece estável durante toda a vida útil, permite uma medição precisa dos consumos de água, sendo uma ferramenta fundamental para a realização do balanço hídrico da

rede, que pode ser realizado diariamente, facilitando a deteção de fugas no sistema de distribuição de água. Tem como componentes principais: os sensores ultrassónicos, que emitem e recebem as ondas ultrassónicas, convertendo a energia elétrica em ondas ultrassónicas; o corpo do medidor, que é uma estrutura física através da qual a água flui e onde os sensores são colocados; o módulo de medição e cálculo, que com base nos dados da velocidade do fluxo calcula o volume total da água que passou no medidor; e um visor (*display*), normalmente em *Liquid Crystal Display* (LCD), que apresenta as informações de medição. Na Figura 5 apresenta-se uma bateria de contadores ultrassónicos.

Figura 5. Bateria de contadores ultrassónicos.
Fonte: Divisão de Gestão e Planeamento (DGP, 2022)[3].

1.4.3. Plataformas de Gestão e Análise de Dados (*Software* de Suporte à Decisão)

Verificou-se nas últimas duas décadas que as entidades gestoras de água procuraram alternativas aos contadores volumétricos, substituindo-os por contadores inteligentes, que se têm revelado um processo muito moroso e pouco consensual. No entanto, existem casos de implementação desta tecnologia, já desde os primeiros anos do século XXI.

A Empresa Portuguesa de Águas Livres (EPAL), em 2001, desenvolveu um projeto piloto com a implementação de cerca de 400 dispositivos, no entanto sem sucesso, devido às falhas de transmissão de dados (Medeiros et al., 2007). Outros projetos se seguiram, como por exemplo os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Matosinhos com 250 contadores, concentradores e *modems*, com protocolo *MBus*.

Em 2007, em Espanha, foi implementado um sistema baseado na tecnologia *Zigbee* (Štruklec & Novak, 2007), com *gateways* para recolha de dados dos contadores, posteriormente encaminhados para um sistema de faturação através de *Global System for Mobile Communications* (GSM), tendo-se verificado que o alcance era de apenas 220 metros, mostrando-se claramente insuficiente para um sistema de distribuição de água.

Em Portugal, no Município de Amarante, a entidade Águas do Norte – Grupo Águas de Portugal ultimou a instalação de um sistema piloto de telemetria, que contempla a incorporação de tecnologia

[3] Documento Interno da DGP (2022).

inteligente em cerca de 800 contadores de água. O processo de instalação está concluído, permitindo a monitorização futura dos consumos diários que se verificam em duas ZMC, localizadas na rede pública de abastecimento de água existente no referido Município (Águas do Norte, 2019).

A Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros em 2021, fez um projeto piloto com 20 contadores, utilizando *smart meters* e Rede *LoRa*, para a transmissão de dados dos contadores, depois de identificada a necessidade de implementação de um plano de ação resultante de elevadas perdas de água. O projeto foi um sucesso total, iniciando-se então a expansão do mesmo, para a cobertura total da cidade de Macedo, com 4300 contadores. Trata-se de um projeto completo que engloba a substituição de contadores, a rede de comunicação e o *software* (Indústria e Ambiente, 2022). Assim e de acordo com a mesma fonte

> Num investimento de cerca de 1,1 milhões de euros, "trata-se do maior projeto do género em Portugal a usar o protocolo *LoRa* (*Long Range wireless communication*, ou seja, comunicação sem fio de longo alcance), que abarca praticamente a totalidade do centro urbano e que transmite toda a informação da rede de água para um sistema informático centralizado".

Com esta ação pretende-se entre outros aspetos, suprimir erros de medição e aumentar a faturação, detetar remotamente anomalias ou utilização indevida da rede de abastecimento, ter alertas para consumos elevados, para falhas no abastecimento e para contadores mexidos e/ou retirados e diminuição dos custos associados às leituras. Em resumo, pretende-se ter uma monotorização total e em tempo real do parque de contadores.

1.5. Gestão e Custos

Segundo Bilhim et al. (2015), as redes de distribuição de água estão envelhecidas, em alguns casos, sendo preocupantes os volumes de fugas de água, fator que coloca Portugal ainda longe de outros países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico (OCDE). Salienta-se que a água é tão indispensável à vida, como os alimentos, mas ninguém está a pensar nacionalizar todos os alimentos do país.

Assim, a redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento de águas, é uma preocupação à escala mundial, pelo que encontrar medidas mitigadoras da redução das perdas é um desafio das entidades gestoras de água. De acordo com a revista Caderno Pedagógico (2024), a revisão bibliométrica sobre perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento, com foco em indicadores, procura contribuir para uma compreensão mais profunda da produção científica nesse domínio.

1.5.1. Custos Associados

Os custos associados à gestão da água, em baixa ou em alta, apresentam duas grandes categorias, como sendo custos de investimento e custos operacionais. Qualquer uma dessas categorias se subdivide em várias outras, tais como: custos de captação e tratamento, custos ambientais e escassez, custos administrativos e de gestão. Em Portugal, a estrutura de custos e as tarifas são definidas pelas entidades gestoras municipais ou intermunicipais, estando sujeitas à regulação da ERSAR. As tarifas cobradas aos utilizadores finais procuram cobrir estes diversos custos, garantindo a sustentabilidade económica e financeira dos serviços de água em alta e em baixa.

1.5.2. Categorias Gerais de Custos

Na gestão da água, os custos podem ser amplamente categorizados para facilitar a análise, o planeamento e a definição de tarifas. As categorias mais comuns incluem os custos descritos na Tabela 3, que são aplicáveis aos sistemas de abastecimento em alta, em baixa, ou a ambos.

Tabela 3. Categorias de custos gerais do ciclo urbano da água.

Tipologia de custos	Descrição	Aplicabilidade
Custos de Investimento (CAPEX)	Construção de barragens.	SA alta.
	Construção de ETA.	SA alta.
	Construção/remodelação de redes de abastecimento.	SA baixa.
	Redes adutoras, estações elevatórias e reservatórios.	SA alta.
	Construção de reservatórios e EE.	SA baixa.
	Telemetria e equipamentos de monotorização de sistemas.	SA baixa.
Custos de exploração e manutenção (OPEX)	Energia elétrica e combustíveis.	SA alta e SA baixa.
	Produtos químicos para tratamento.	SA alta.
	Serviços de reparação de infraestruturas e equipamentos.	SA alta e SA baixa.
	Serviços de telecomunicações (exemplo, conectividade NB-IoT, *LoRaWAN*).	SA alta e SA baixa.
	Serviços de análises laboratoriais.	SA alta e SA baixa.
	Mão-de-obra.	SA alta e SA baixa.
	Equipamentos – máquinas e viaturas de apoio.	SA alta e SA baixa.
Custos administrativos e de gestão	Recursos humanos administrativos.	SA alta e SA baixa.
	Custos com sistemas de informação e *software*.	SA alta e SA baixa.
	Contabilidade, faturação, apoio ao cliente.	SA baixa.
	Comunicação e campanhas de sensibilização	SA alta e SA baixa.
Custos ambientais e regulatórios	Licenciamento ambiental.	SA alta.
	Taxas ambientais - taxa de recursos hídricos.	SA alta e SA baixa.

Nota: ETA=Estação de Tratamento de Água; EE=Estação Elevatória; SA=Sistema de Abastecimento.

Fonte: elaboração própria.

1.5.3. Custos por Consumidor e por Zona Geográfica

O custo da água por consumidor em Portugal é altamente variável e depende de diversos fatores, tais como localização geográfica, tipologia de abastecimento em alta e tarifários aplicados. Um estudo de 2021 indicava um custo médio nacional da tarifa fixa de 3,23 €/mês por agregado familiar, o custo médio nacional da tarifa variável era de 0,81€ por cada metro cúbico de água consumida. No entanto, estes valores são médias e escondem as grandes disparidades regionais. Pode observar-se, na Figura 6, entre os municípios onde se paga menos e os municípios onde se paga mais por 120m^3/ano de água, que existe uma diferença de 343,74€.

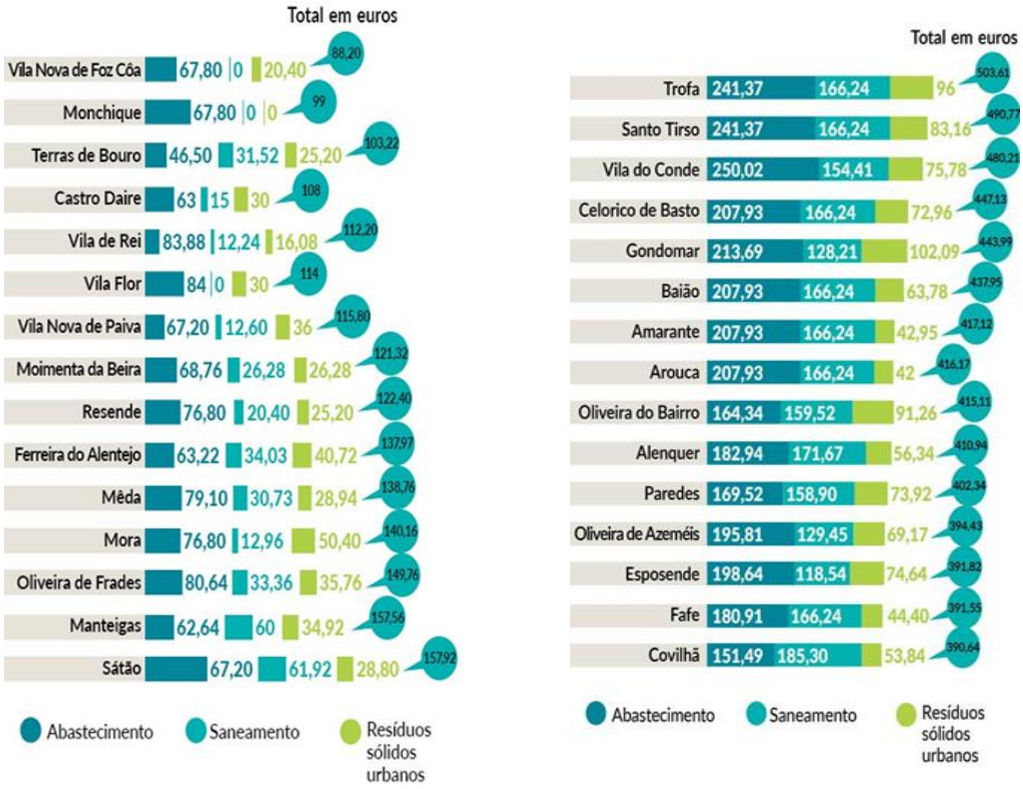

Figura 6. Municípios que pagam mais *vs*. Municípios que pagam menos.

Fonte: Deco Proteste (2021).

Em sistemas onde a mesma entidade gestora é responsável por todo o ciclo, desde a captação até à distribuição, os preços tendem a refletir de forma mais integrada todos estes custos. No entanto, mesmo nestes casos, podem existir variações significativas entre diferentes municípios ou regiões devido a fatores como os tarifários de água em alta, os tarifários de água bruta, o preço da mão-de-obra e o preço da energia. Em 2024, o preço do abastecimento de água bruta foi de 0,2827€/m^3 e o de água tratada de 0,3360€/m^3 (Deco Proteste, 2021).

1.5.4. Vantagens e Desvantagens de Sistemas Integrados em Alta ou em Baixa no Abastecimento de Água

Não existe uma resposta única sobre qual sistema é o mais vantajoso. Um sistema integrado pode ser mais eficiente e económico em certas situações, especialmente em regiões com múltiplos municípios pequenos, ou com problemas de gestão descoordenada. No entanto, um sistema separado pode ser mais adequado em regiões com municípios maiores e com capacidade de gestão autónoma, permitindo uma maior proximidade às necessidades locais e maior controlo por parte dos cidadãos.

A decisão sobre a melhor abordagem deve ser tomada caso a caso, considerando as características específicas de cada região, as necessidades da população e a capacidade de gestão das entidades envolvidas. Em muitos casos, pode ser benéfica uma cooperação e coordenação entre as entidades gestoras em alta e baixa, mesmo que não haja uma integração total.

Assim, as vantagens de um sistema integrado, de acordo com Barreto (2015), passam por:

- Uma maior eficiência na gestão, dado que existe uma única entidade gestora, o que pode otimizar todo o ciclo da água, desde a captação até à distribuição, reduzindo custos operacionais e administrativos.
- Uma melhor coordenação e planeamento de investimentos em infraestruturas, evitando duplicações e garantindo uma abordagem mais coerente.
- A gestão centralizada que pode permitir economias de escala na compra de equipamentos, produtos químicos e na contratação de serviços especializados.
- Uma gestão unificada que pode garantir um controlo mais rigoroso da qualidade da água em todas as fases do processo, desde a captação até ao consumidor final.
- A integração pode levar a uma maior uniformização das tarifas entre diferentes municípios ou regiões.
- Uma maior capacidade para responder eficazmente a emergências, como secas ou contaminações.

No entanto, um sistema integrado apresenta algumas desvantagens, também de acordo com o mesmo autor (Barreto, 2015), tais como:

- Uma gestão centralizada pode ser menos sensível às necessidades e particularidades de cada município ou comunidade local.
- Os municípios podem perder parte da sua autonomia na gestão de um serviço essencial para a população.
- A gestão de um sistema integrado de grande dimensão pode ser mais complexa e burocrática.
- Um sistema integrado pode ter menor flexibilidade para se adaptar a mudanças nas condições locais.

- Aumento de preços dada a dimensão do sistema, na sequência de um aumento dos custos indiretos.

1.5.5. Perdas de Água no Abastecimento em Baixa

Em Portugal Continental, o indicador percentual de água não faturada é monitorizado desde 2011, ano a partir do qual a ERSAR alargou a avaliação da qualidade do serviço a todas as Entidades Gestoras. As perdas de água nas redes públicas são um grave e recorrente problema. Há uma década que as perdas de água em Portugal rondam os 29%, no entanto, as concessões privadas têm em média cerca perdas de aproximadamente 17% e algumas até abaixo de 10%, o que demonstram uma melhor capacidade de resposta ao problema.

As entidades privadas consideram que a melhor solução para melhorar rapidamente a eficiência hídrica (redução de perdas de água) são os concursos públicos de gestão integrada de eficiência hídrica, com duração de cinco anos, em que uma parte significativa da remuneração é função da poupança efetiva e incorporando uma garantia mínima de eficiência (contratos em regime de remuneração por desempenho), que transferem para o prestador de serviços uma parte significativa do risco contratual, e cujo *payback* dos investimentos acontece normalmente no período do projeto. A Tabela 4 reflete a comparação entre a água que entra no sistema, a água não faturada e as perdas reais, para as EG Públicas e EG Privadas.

Tabela 4. Comparação de perdas de água entre EG Públicas e Privadas.

Tipo de Entidade	**Água entrada no sistema**	**Água não faturada**		**Perdas reais**	
Gestora (EG)	**Volume (m^3)**	**Volume (m^3)**	**(%)**	**Volume (m^3)**	**(%)**
EG Públicas	683 057 280	212 061 100	31%	155 577 195	23%
EG Privadas	141 022 324	24 398 391	17%	17 972 589	13%
Total Nacional	**824 079 604**	**236 459 491**	**29%**	**173 549 784**	**21%**

Nota: EG=Entidade Gestora; m^3=metros cúbicos. Fonte: ERSAR (2021).

2. Metodologia e Métodos de Investigação

2.1. Objetivos e Tipo de Estudo

Este estudo adota uma abordagem de investigação aplicada (observação participante, de acordo com Yin (2015)) com foco na implementação tecnológica de um sistema de monitorização inteligente, recorrendo à tecnologia *LoRaWAN* na zona da cidade de Macedo de Cavaleiros. A metodologia segue uma lógica dedutiva e exploratória, permitindo compreender os requisitos técnicos e organizacionais do território, bem como avaliar a viabilidade e o impacto da solução proposta.

O objetivo primordial é contribuir para a redução das perdas de água, como principal pilar da sustentabilidade de uma Entidade Gestora, com recurso à telemetria residencial, optando pela substituição de medidores de caudal (contadores) volumétricos por contadores ultrassónicos (inteligentes).

Como objetivos específicos definiram-se os que de seguida se descrevem:

- OE_1: Aumentar a faturação em 25% na zona 6 abastecidas com contadores ultrassónicos.
- OE_2: Diminuir as perdas de água no sistema em pelo menos 5%.

O estudo assume a forma de um projeto de intervenção tecnológica em contexto real, orientado para a resolução de um problema concreto - a necessidade de monitorizar em tempo real determinados parâmetros críticos associados ao consumo de água no caso concreto da denominada Zona 6. Trata-se de um estudo de caso único (Ruas, 2022).

2.2. Recolha e Tratamento de Dados

A recolha de dados foi realizada, essencialmente, através de levantamento técnico no terreno e análise documental, tais como registos de consumos e de leituras nos pontos de entrega, pela entidade gestora em alta, registos e faturas dos contadores utilizando o *software* da empresa Medidata, registos de ocorrências na aplicação *Flow*-Macedo de Cavaleiros e ainda o Portal da ERSAR com os balanços hídricos anuais para a entidade gestora em baixa (CMMC).

A Tabela 5 sintetiza os OE para o presente projeto, os instrumentos de recolha e fontes de dados e a forma como esses dados irão dar resposta aos objetivos propostos.

Tabela 5. Objetivos Específicos, instrumentos de recolha e fontes de dados.

OE	Instrumento de recolha de dados	Fonte de dados	Forma de resposta ao OE
OE_1	**Tabela 8**. Caraterísticas dos contadores a substituir.	DGP 2022.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nos dados do programa AGU da Medidata.
	Tabela 9. Caraterísticas dos contadores substituídos.	DGP 2024.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nos dados do programa AGU da Medidata.
	Tabela 13.Mapa de consumos mensais e diferencial na Zona 6.	Elaboração própria 2025.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nos dados do programa AGU da Medidata.
	Tabela 14. Consumos totais	Elaboração própria 2025.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nos dados no programa AGU da Medidata.
	Tabela 15. Exemplo de perdas de água.	Elaboração própria 2025.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nos dados do programa AGU da Medidata.
	Figura 25. Mapa da ZMC da Estação.	DGP 2025.	Gráfico extraído da aplicação *Flow*-Macedo de Cavaleiros.
	Tabela 16. Fugas de água na ZMC da Estação.	DGP 2024.	Dados extraídos da aplicação *Flow*-Macedo de Cavaleiros.
OE_2	**Figura 22**. Gráfico de consumos em Corujas 2024.	*Flow*-Macedo de Cavaleiros 2024.	Gráfico extraído da aplicação *Flow*-Macedo de Cavaleiros.
	Figura 23. Gráfico de consumos em Vale da Porca 2024.	*Flow*-Macedo de Cavaleiros 2024.	Gráfico extraído da aplicação *Flow*-Macedo de Cavaleiros.
	Figura 24. Mapa de perdas de água no sistema de 2017 a 2024.	Elaboração própria 2025.	Balanços Hídricos, do Portal do ERSAR.
	Figura 26. Evolução dos custos anuais de 2017 a 2024.	Elaboração própria 2025.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nos dados das faturas e leituras das Águas do Norte.
	Tabela 17. Mapa de volumes e valores de água aduzidos no sistema de 2017 a 2024.	Elaboração própria 2025.	Mapa elaborado em Folha de Excel, com base nas faturas das Águas do Norte.

Fonte: Elaboração própria.

3. Descrição da Organização

3.1. O Concelho de Macedo de Cavaleiros

Macedo de Cavaleiros situa-se no nordeste transmontano, integrando 30 freguesias e 67 localidades. As freguesias que integram este território são: União de Freguesias de Ala e Vilarinho do Monte, Amendoeira, Arcas, União de Freguesias de Talhinhas e Bagueixe, União de Freguesias de Bornes e Burga, Carrapatas, União de Freguesias de Castelãos e Vilar do Monte, Chacim, Cortiços, Corujas, União de Freguesias de Espadanedo, Edroso, Murçós e Soutelo Mourisco, Ferreira, Grijó de Vale Benfeito, Lagoa, Lamalonga, Lamas de Podence, Lombo, Macedo de Cavaleiros, Morais, Olmos, Peredo, União de Freguesias de Podence e Santa Combinha, Salselas, Sesulfe, Talhas, Vale Benfeito, Vale da Porca, Vale de Prados, Vilarinho de Agrochão, Vinhas, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7. Mapa de freguesias do município de Macedo de Cavaleiros.

Fonte: (Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana, n.d.).

Pertencente ao Distrito de Bragança, tem uma área de 699,14 km^2 e 14.251 habitantes, o que corresponde a uma densidade populacional de 20,38 habitantes/km^2 (Instituto Nacional de Estatística [INE], 2021).

3.2. A Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros

3.2.1. Missão, Visão e Valores

O Município de Macedo de Cavaleiros tem por missão planear e implementar políticas, que visem a qualidade de vida dos cidadãos, promovam o desenvolvimento sustentável e garantam a prestação de um serviço público de qualidade.

Tem como visão, promover a qualificação e valorização económica do património, natural e cultural, e melhorar a capacidade de acolhimento empresarial e turístico, como fatores de atração e fixação de pessoas. Assegurar serviços de qualidade na área da educação, apoio social, desenvolvimento económico e qualidade ambiental, visando a melhoria das condições de vida da população.

O Município de Macedo de Cavaleiros estabelece os seguintes valores, pelos quais pauta toda a sua atividade: Qualidade, Transparência, Sustentabilidade, Eficácia e Participação[4].

3.2.2. Estrutura Orgânica

A estrutura orgânica da CMMC é composta pelo executivo, o qual integra sete elementos eleitos, a camara municipal é presidida pelo presidente, e tem três vereadores em regime de tempo inteiro e três vereadores a tempo parcial.

Sob a direção direta do presidente da câmara estão dependentes sete gabinetes de apoio, nomeadamente, o Gabinete de Apoio à Presidência; o Gabinete de Apoio à Vereação; o Gabinete de Comunicação, Protocolo e Imagem; o Gabinete de Apoio às Freguesias; o Gabinete de Juventude; o Gabinete de Fiscalização Sanitária; o Geoparque Terras de Cavaleiros; e dois serviços: o Serviço Municipal de Proteção Civil e a Comissão de Proteção de Crianças e Jovens.

Tem uma estrutura organizacional composta por nove unidades orgânicas flexíveis, a que correspondem as Divisões Municipais, cada uma destas coordenadas por chefes de divisão municipal, e quatro unidades flexíveis de terceiro grau coordenadas por um chefe de unidade.

Possui ainda na sua organização onze subunidades orgânicas, lideradas por coordenadores técnicos, correspondendo a secções, e por fim, os gabinetes, sendo que estes últimos estão sob direção direta do presidente da Câmara Municipal (Regulamento de Organização dos Serviços Municipais, Estrutura e Competências do Município de Macedo de Cavaleiros [ROSMEC], 2024), conforme se pode observar no organograma, que se encontra na Figura 8.

[4] https://www.cm-macedodecavaleiros.pt/.

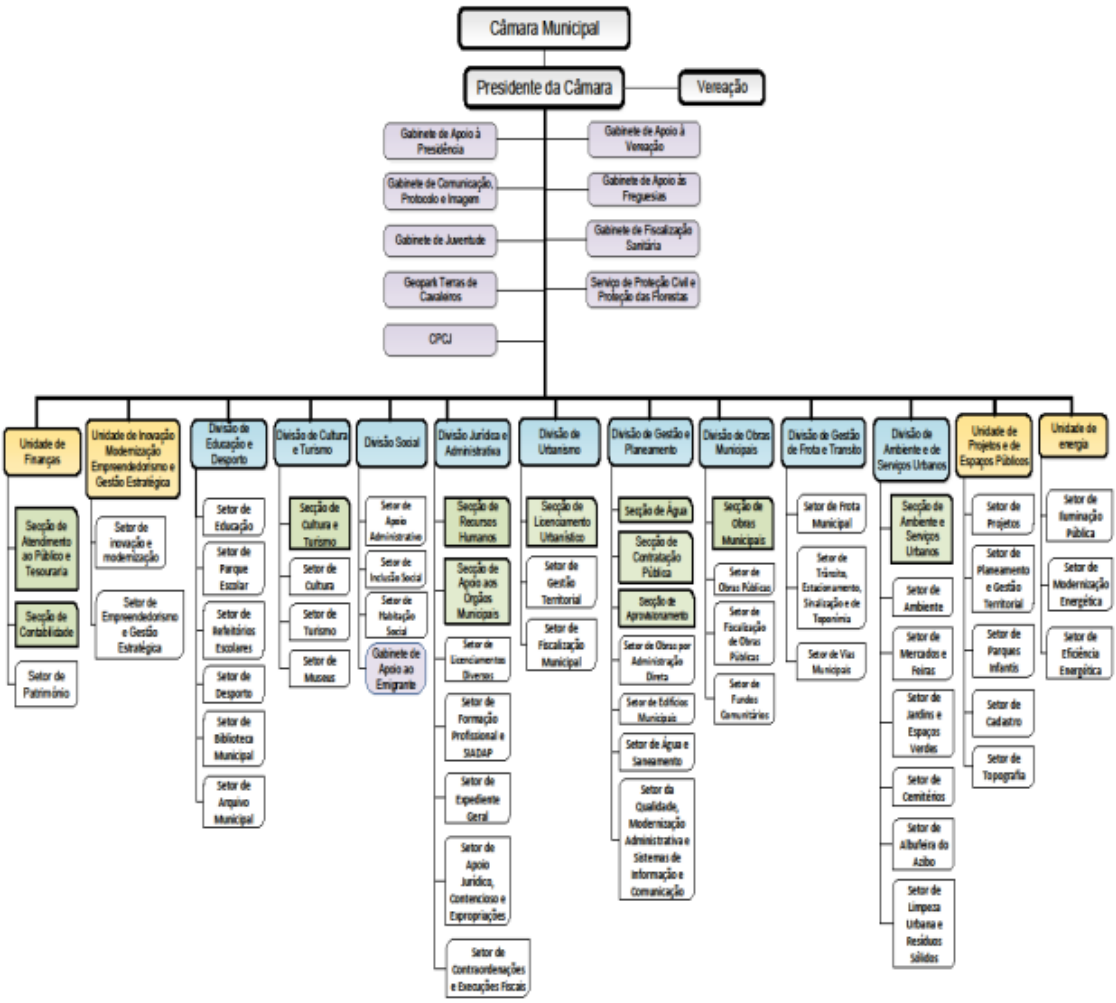

Figura 8. Estrutura Orgânica do Município de Macedo de Cavaleiros.

Fonte: ROSMEC (2024).

A Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros, entidade gestora da água em baixa, é uma instituição pública que está situada no concelho de Macedo de cavaleiros tendo, para esse efeito, uma divisão com essas competências, a Divisão de Gestão e Planeamento.

3.3. Divisão de Gestão e Planeamento da CMMC

A Divisão de Gestão e Planeamento é gerida por um chefe de divisão e tem, entre outras atribuições e competências à sua responsabilidade, a gestão da água que, de acordo com o ROSMEC (2024, p.p.31-32) tem um setor dedicado ao tema da gestão da água e saneamento. Assim, ao denominado Setor de Água e Saneamento compete:

À Divisão de Gestão e Planeamento, a cargo de um chefe de divisão municipal (ROSMEC, 2024), compete:

1 - Coordenar os serviços dependentes e previstos na presente estrutura, nomeadamente: a) Assegurar a prestação dos serviços de telefones, portaria e de vigilância nas instalações municipais;

Centralizar e gerir o atendimento genérico de munícipes, assegurando a coordenação dos espaços, recursos e demais canais afetos a este fim, com exceção do atendimento especificamente atribuído aos outros serviços; Contribuir para a definição fundamentada dos objetivos de desenvolvimento e decisões de planeamento estratégico do concelho; Assegurar as tarefas técnicas relativas ao controlo de poluição hídrica, dos solos, sonora e ambiental; Assegurar a construção, conservação e reabilitação dos edifícios e equipamentos municipais; Assegurar os processos de contratação pública de aquisição de bens e serviços e de empreitadas, respeitando os melhores critérios de gestão económica, financeira e de qualidade.

(…)

6 – Ao Setor de Água e Saneamento compete: Acompanhar a gestão do sistema multimunicipal de águas; Assegurar o planeamento, implementação e gestão dos sistemas de abastecimento de água; Assegurar e zelar pelo cumprimento do regulamento de abastecimento de água, elaborar e apresentar as propostas de atualização e de revisões necessárias; Apoiar as juntas de freguesia no controle da qualidade da água distribuída; Assegurar a cobrança do serviço; Elaborar estudos e projetos e promover ou proceder à construção, remodelação, beneficiação, ampliação ou reparação das infraestruturas municipais de drenagem ou transporte de águas residuais ou pluviais; Promover ou proceder à construção, remodelação, beneficiação, ampliação ou reparação dos ramais de ligação prediais às redes públicas de drenagem de águas pluviais; Providenciar, em colaboração com os demais serviços municipais competentes, pela recolha e organização da informação necessária à elaboração e atualização dos cadastros das redes de drenagem municipais; Coordenar a preparação e organização dos concursos para adjudicação de empreitadas de construção de infraestruturas municipais de drenagem e transporte de águas pluviais e fiscalizar a execução das obras; i) Prestar informações sobre todos os assuntos que estejam inseridos no âmbito das atribuições da área; j) Assegurar a cobrança do serviço.

7 - Ao Setor de Qualidade, Modernização Administrativa e Sistemas de Informação e Comunicação compete:

7.1. No âmbito da qualidade, assegurar o Sistema de gestão da qualidade.

7.2. No âmbito da Modernização Administrativa: Prosseguir a simplificação e desburocratização de processos e procedimentos inerentes aos serviços prestados na autarquia; Contribuir para a definição de políticas municipais de modernização administrativa de apoio aos munícipes e dar-lhes execução.

7.3 No âmbito de Sistemas de Informação e Comunicação: Definir e configurar um ambiente de computação integrado, embora heterogéneo, de modo a possibilitar globalmente acessos comuns e a adequada partilha de recursos de *hardware* e *software*; Administrar e gerir a rede de comunicação de dados da câmara municipal; Criar mecanismos de segurança e definir normas de salvaguarda e de recuperação da informação que assegurem a adequada integridade das aplicações e dos dados; Manter e desenvolver as infraestruturas de computadores e as redes de elevado desempenho e a respetiva disponibilização aos serviços da câmara municipal, competindo-

lhe incentivar a sua utilização através de divulgação adequada; Monitorizar e gerir o desempenho dos sistemas que constituem essas infraestruturas; Manter a documentação sobre as infraestruturas instaladas e os sistemas de suporte; Administrar e gerir o parque de microinformática da câmara municipal, assegurando os ambientes de trabalho adequados e a sua permanente disponibilidade; Administrar e gerir as infraestruturas de computação da câmara municipal; Instalar, configurar e administrar as aplicações, assegurando a sua atualização; Avaliar as necessidades de *software* e propor a sua aquisição, gerindo as respetivas licenças e os contratos de manutenção.

Esta divisão tem como missão a gestão dos sistemas de abastecimento de água, no concelho de Macedo de Cavaleiros.

A gestão da água passa pelo planeamento, pelo desenvolvimento, pela distribuição e pela administração do uso otimizado dos recursos hídricos, considerando as necessidades simultâneas de água e a distribuição da mesma de forma equitativa para satisfazer todos os consumidores.

Dado que o plano de ação proposto pela DGP, prevê a mitigação das fugas também com recurso à substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes, considera-se que esta medida tem um papel fundamental na redução das perdas.

4. Planeamento, Desenvolvimento e Implementação

4.1. Descrição das Redes de Abastecimento de Água da EG

A Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros (CMMC) como EG das redes de distribuição de água baixa de todo o concelho gere uma rede com 416 km, que segundo o Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP, 2023), contempla 12.500 ramais domiciliários, e serve uma população de 14.251 habitantes. O número de clientes servidos é de aproximadamente 10.250, e são aduzidos à rede anualmente, cerca de 2.000.000 m^3 de água.

O sistema de abastecimento de água no concelho de Macedo de Cavaleiros é composto por duas tipologias, nomeadamente, os sistemas em cuja água é aduzida pela entidade gestora em alta, neste caso Águas do Norte e pelos sistemas independentes ou individuais com captações próprias. No primeiro caso existem três sistemas de adução de água pela entidade gestora em alta, que são o Azibo, as Aguieiras, e Camba e/ou Sambade.

A entidade gestora em alta, Águas do Norte, definiu 14 pontos de entrega, com leituras mensais e de acordo com a calendarização acordada entre as partes. Os valores cobrados pelas Águas do Norte são atualizados anualmente e publicados em Diário da República, e a faturação é feita mensalmente conforme o volume aduzido à rede em cada ponto de entrega e de acordo com o plano de leituras acordado. Existem no território também oito sistemas independentes, com captações próprias, além do referidos, assim como 63 reservatórios e 6 estações elevatórias. O mapa do concelho com as cores de acordo com a tipologia dos sistemas de distribuição/adução por freguesia, do concelho de Macedo de Cavaleiros encontra-se na Figura 9.

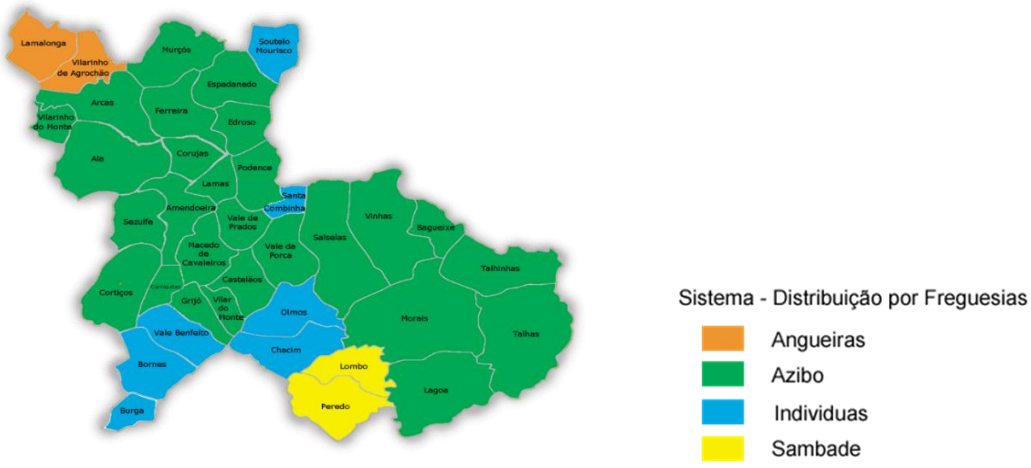

Figura 9. Mapa do Sistema de abastecimento de CMMC.

Fonte: DGP (2025)[5].

[5] Documento interno da DGP (2025).

4.2. Identificação da Zona de Intervenção

4.2.1. Contexto do Parque de Contadores da Zona 6

Sobre o tema de perdas de água nos sistemas de abastecimento de água, o caso específico da autarquia de Macedo de Cavaleiros entendeu como medida prioritária o combate às fugas, apresentando um Plano de Ação de combate às fugas, aprovado em 07/05/2020 e reunião nº 7/2020 (CMMC/12-05-2020/7/20,1,125/20), sendo uma das medidas a implementar a substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes.

Como medida fundamental da redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento de água do concelho, recorreu-se a algumas das metodologias existentes, ainda que, algumas não tenham sido bem sucedidas. Foi iniciado um processo de busca incessante de fugas, no sentido da mitigação rápida do problema existente, pelo que foram utilizados alguns equipamentos e ferramentas, nomeadamente: drones (Veículo Aéreo Não Tripulado, VANT) com câmaras térmicas, multiespectrais e o Georadar (Radar de Penetração de Solo), com algoritmos automáticos e técnicas de segmentação desenvolvidas para identificação expedita/automática das possíveis zonas com roturas. Outra medida utilizada foi a criação da Zona de Medição e Controlo (ZMC), com controlo e monotorização dos sistemas de abastecimento de água, bem como a instalação de contadores inteligentes.

As entidades gestoras têm na sua maioria parques de contadores com idade superior ao estipulado na legislação, aumentando o erro na medição, e no caso de Macedo de Cavaleiros, verificou-se que 16% dos contadores têm mais de 20 anos, e 40% tem mais de 12 anos, sendo que foram encontrados contadores com mais de 50 anos, pelo que a sua substituição é urgente e fundamental. A opção, no caso de Macedo de Cavaleiros, foi a de abandonar os contadores volumétricos, substituindo-os por contadores ultrassónicos, dado que estes têm uma melhor *performance* na medição, diminuindo o erro de leitura.

Assim, foram necessários, para uma cobertura de rede total, 6 *gateways*, que tiveram um custo de aproximadamente 10.000€/*gateway*. O custo do projeto ronda um milhão de euros. Trata-se de um projeto a longo prazo, neste caso concreto, tem a duração de 12 anos.

Encontrada a solução, para a integração dos contadores com as aplicações, e definida arquitetura do sistema, a opção da CMMC, foi a de iniciar um procedimento de concurso público, subordinado ao título “Locação e instalação de equipamentos para o sistema de telemetria de contadores de água em Macedo de Cavaleiros”.

A escolha de procedimento foi definida de acordo com a alínea a) do nº1 do art.º 20 do CCP (Código de Contratos Públicos), dado o valor base ser de um milhão de euros. Procedeu-se então à abertura de um processo concursal com registo do anúncio na Imprensa Nacional – Casa da Moeda. (n.d.). Desse procedimento resultou um contrato com o adjudicatário, e os custos que daí resultaram são associados a uma renda mensal por contador com comunicação, tendo o contrato a validade de 12

anos e com data de início em junho de 2023, altura em que se encerrou o processo de instalação de contadores. O custo mensal para os 4.300 contadores instalados é de aproximadamente 6.200€.

O Município pretende, durante o ano de 2025, concluir o procedimento de alargamento do projeto para os aglomerados rurais e Zona Industrial, estando já identificado o parque de contadores a substituir, que totalizam, cerca de 2.300 unidades de vários diâmetros nominais, sendo que o diâmetro predominante é de 20mm. Pretende-se fazer o alargamento aos aglomerados rurais num raio de aproximadamente 10km da cidade. Na Figura 10 pode visualizar-se os aglomerados a incluir no projeto, cuja opção recaiu sobre: Zona Industrial; Amendoeira; Gradíssimo/Nogueirinha; Latães; Sezulfe; Vale Pradinhos; Pinhovelo; Arrifana; Vale Prados; Lamas; Corujas; Podence; Cortiços; Cernadela; Carrapatas; Castelãos e Vale da Porca, Espadanedo, Edroso, Valongo, Bouzende, Murçós, Grijó e Vilar do Monte.

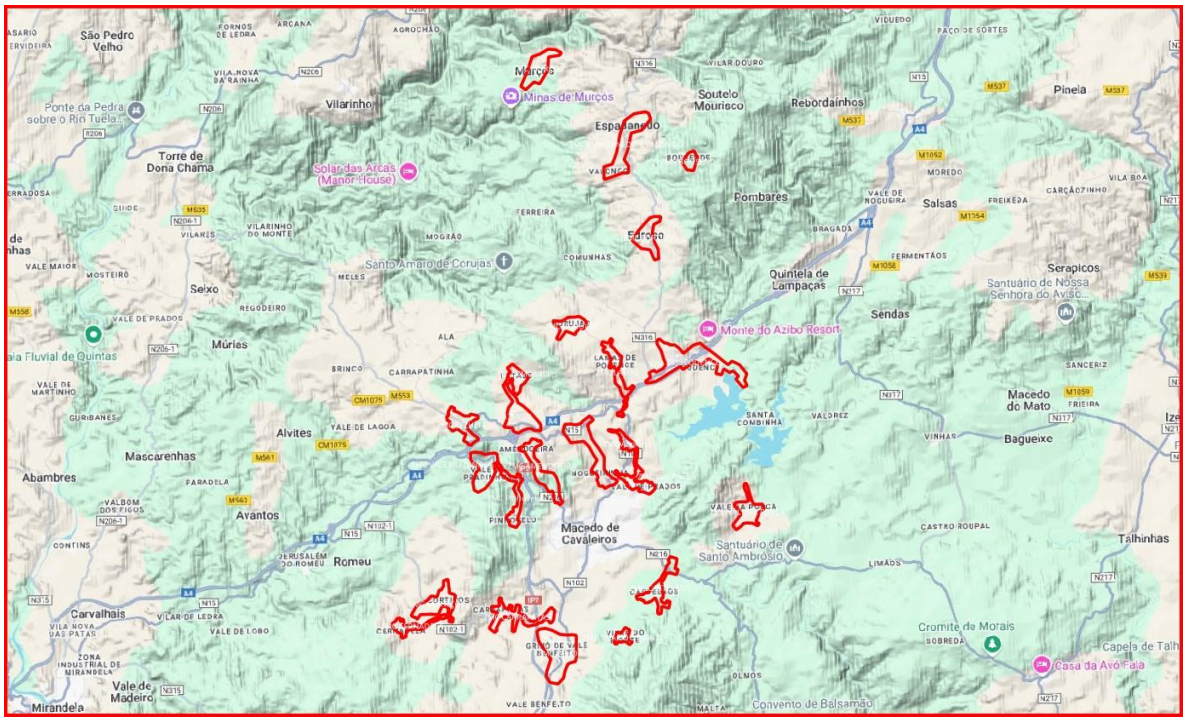

Figura 10. Mapa de alargamento a contadores inteligentes.

Fonte: Elaboração própria (2025).

À semelhança do processo anterior, este será realizado com recurso ao procedimento concursal público, com um prazo de 12 anos e que contemplará, a substituição dos contadores, a instalação de rede *LoRaWan* e o *software* associado. Para este projeto estima-se um custo total de cerca de 650.000€, a que acresce IVA à taxa legal em vigor. Prevê-se que o início da execução física seja no segundo semestre de 2025, e que tenha a duração de um ano. Para o efeito, os serviços técnicos elaboram as peças de procedimento, o estudo de viabilidade, os estudos de cobertura de rede e levantamento do parque de contadores existentes.

Nesta primeira fase já foi realizado o levantamento do parque contadores existentes por aglomerado e por diâmetro, a serem substituídos na segunda fase projeto de substituição de contadores

volumétricos por contadores inteligentes. Mais uma vez, evidencia-se que, predominantemente, o parque de contadores é de pequenos diâmetros, ou seja, de 20mm. Na Tabela 6 encontra-se a quantidade de contadores a serem substituídos na segunda fase, por diâmetro.

Tabela 6. Número de contadores a substituir na segunda fase, por diâmetro.

Contadores a substituir na Fase 2	
Diâmetro (mm)	**Número total (unidades)**
15	321
20	2.302
32	2
40	3
50	3
80	1
Total	**2.632**

Nota: mm=milímetros. Fonte : Elaboração própria.

Também já se encontra concluído o estudo de cobertura de rede que se apresenta na Figura 11, a partir da qual se prevê a colocação de 15 *gateways*.

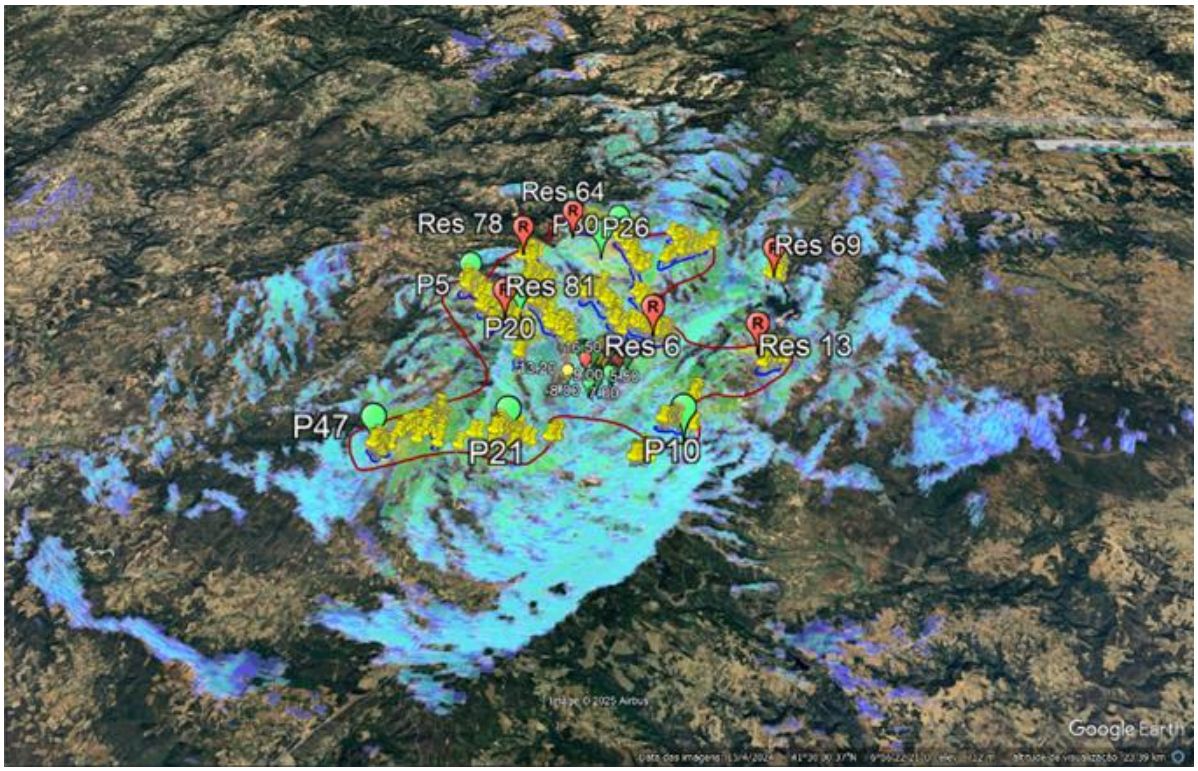

Figura 11. Mapa resultante do estudo de cobertura de rede, com *gateways* necessários.

Fonte: elaboração própria.

Após a elaboração das peças de procedimento, publicação em Diário da República e ainda no Jornal Oficial da União Europeia, o concurso é iniciado cumprindo todas as regras estabelecidas para a

contratação pública. Todo o procedimento estará concluído com a assinatura do contrato, previsivelmente no mês de Junho de 2025.

Para uma gestão integrada do parque de contadores é fundamental na obtenção dos resultados, a utilização de uma ferramenta informática (*software*), capaz de dar informações importantes como consumos, anomalias, pressões na rede e alarmes de caudais. A Figura 12 evidencia o *dashboard* do *software*, permitindo uma gestão dos consumidores em tempo real. É permitido ao utilizador verificar, quais os contadores registados e a comunicar, os contadores que estão em atraso, ou anomalia na comunicação ou falha do contador, pelo que neste caso procede-se à verificação caso a caso. O número apresentado é elevado conhecendo a EG a causa, neste caso o problema deve-se ao facto de existir um *gateway* sem energia elétrica, provocando atrasos nas comunicações, dessa zona. Diariamente são analisadas as fugas médias e pequenas, sendo estas comunicadas aos consumidores.

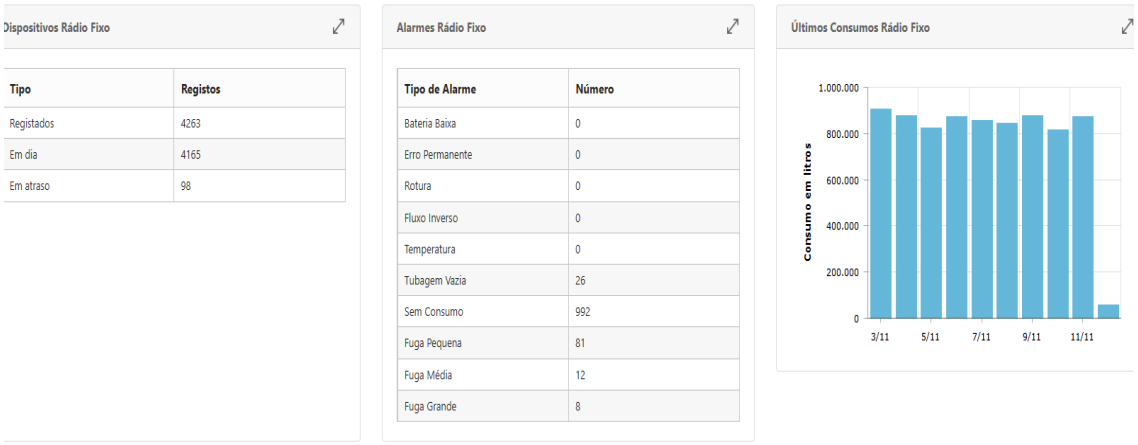

Figura 12. *Dashboard* do *software*.

Fonte: Contaqua (2025a).

A gestão do parque de contadores passa pela monitorização adequada do sistema, para o efeito a EG faz a definição dos alarmes pretendidos para efetuar uma gestão adaptada do sistema e à realidade do território, sendo um contributo fundamental para melhorar a eficiência e a eficácia dos sistemas de abastecimento, contribuindo para a redução das perdas de água. Para o efeito, foram definidas:

i) a tipologia de alarmes pretendidos, tais como fugas médias, pequenas e grandes, sendo diariamente comunicadas aos consumidores, permitindo assim que estes procedam à reparação da fuga de imediato, com benefícios diretos para o consumidor e indiretos para a EG;
ii) os alarmes de fluxos inversos, de erros permanentes, de tubagem vazia, etc.,…

Assim, todos os alarmes contribuem de forma direta para a melhoria do sistema, permitindo uma melhor gestão do parque de contadores.

As leituras dos contadores são imediatas e os dados são guardados no servidor, respeitando o Regime Geral de Proteção de Dados. Os nomes dos consumidores omissos e a cada instalação

corresponde apenas um número, sendo que apenas a EG tem acesso aos nomes e ao número de instalação que lhe está associado. No final de cada mês, é extraído um ficheiro que é exportado para o programa de faturação, que neste caso é a aplicação AGU da Medidata, empresa fornecedora do *software* de Gestão da água. Com esta metodologia, os erros de leitura são muito reduzidos ou quase nulos.

O parque de contadores em 2022, no território de Macedo de Cavaleiros ascende a 9.998, número que é variável, de acordo com as desistências e requisições por parte dos consumidores. Verificou-se após levantamento dos contadores existentes, conforme Figura 13, que quase 60% do parque tinham mais que 12 anos e que a sua substituição era urgente e obrigatória.

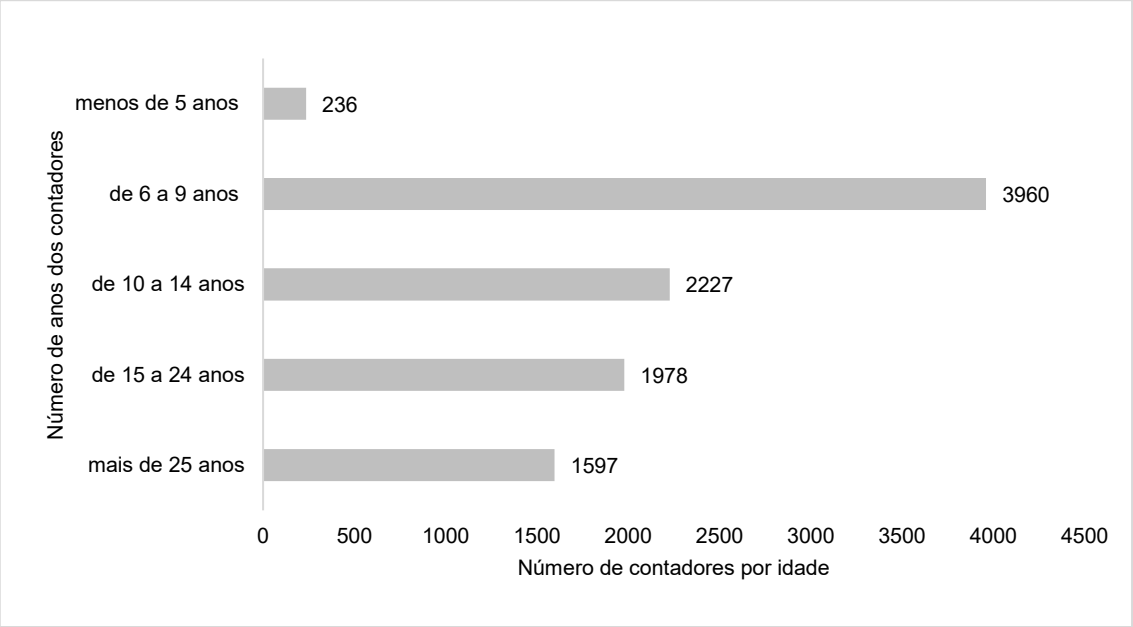

Figura 13. Parque de contadores por idade.

Fonte: Elaboração própria.

O parque de contadores, num total de 9.998, associados a instalações/consumidores, apresenta uma idade superior ao recomendável, que varia entre 10 e 15 anos. No entanto, muitos fornecedores, não garantem mais de 5 anos com a mesma precisão na leitura, o que demonstra a necessidade da substituição de praticamente todo o parque de contadores existentes no território.

Perante este cenário, a EG tomou a decisão de substituir todos os contadores da cidade, num total de 4.300 contadores no ano 2022, e que denominou de Fase 1 do projeto. Para o efeito procedeu-se ao levantamento do parque de contadores instalados, de acordo com os diâmetros e local de instalação. Na Fase 2 optou-se pela substituição dos contadores nas freguesias limítrofes, que irá ser realizada nos anos de 2025 e 2026, sendo que este projeto está em fase de iniciação e contempla um parque de 2.300 contadores.

A cidade está divida por 14 zonas de medição e controle (ZMC) e 16 zonas de leitura. A cada zona de leitura corresponde um número. Na Figura 14 podem ser observadas, quer as ZMC, quer as Zonas de leitura. A gestão de consumos seria mais fácil, caso as ZMC coincidissem totalmente com

as zonas de leitura, o que não se verifica, no entanto pode sempre fazer-se comparação de dados pelo número de instalações e uma vez que a cada uma corresponde a ZMC a que pertence. Na Figura 14 pode verificar-se a distribuição quer das zonas de medição e controle, quer das zonas de leitura.

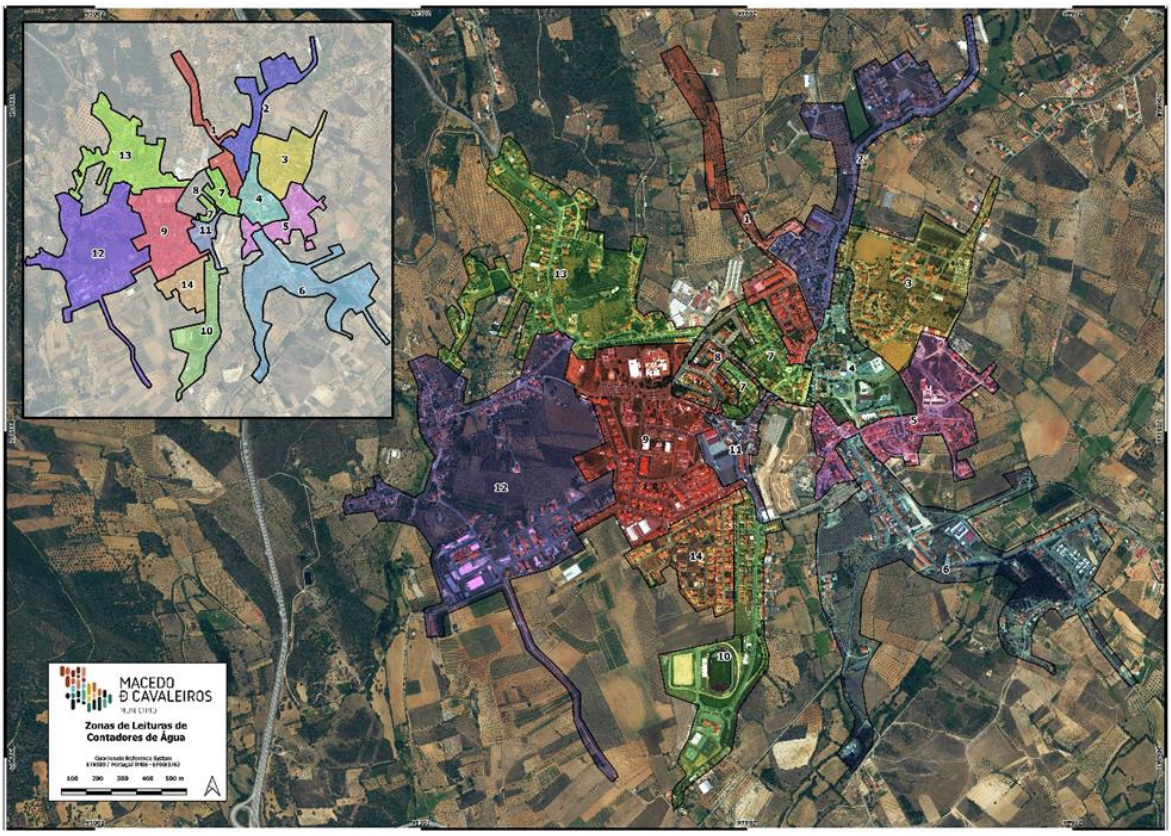

Figura 14. Mapa de ZMC e mapa de zonas de consumos.

Fonte: Elaboração própria (2025).

As zonas de leitura na cidade são 16, e contemplam cerca de 4.300 instalações. Uma vez que o número de consumidores é elevado, verifica-se que a análise de dados para a sua totalidade se tornaria num processo complexo e de difícil compreensão, para o que se pretende, com este caso de estudo. Assim, será mais adequado fazer a análise numa zona de consumo, ao invés de usar a totalidade das zonas. Para o efeito foi elaborada uma tabela com o número de instalações por zona de leitura, com o intuito de fazer opções. Verifica-se que a zona de leitura que apresenta maior número de consumidores é a Zona 6. Também por observação da Figura 14, se verifica que é a zona com a maior área da cidade. Esta zona de leitura, à semelhança de algumas outras, não coincide com a ZMC, sendo que pertence maioritariamente à ZMC da Estação.

De seguida, apresenta-se a Tabela 7, que contém a informação do número de contadores por zona de leitura. Verifica-se que a zona com maior número de instalações (465 instalações), e também com a maior área geográfica, é a Zona 6. Posto isto, o estudo far-se-á apenas na Zona 6, na qual se verifica a existência do maior número de contadores volumétricos, ou seja, 465 instalações, e apresenta uma maior área de distribuição da cidade.

Tabela 7. Número de contadores por zona de leitura.

Zonas de leitura	Número de contadores
Zona 1	362
Zona 2	221
Zona 3	239
Zona 4	331
Zona 5	351
Zona 6	**465**
Zona 7	323
Zona 8	309
Zona 9	430
Zona 10	260
Zona 11	223
Zona 12	234
Zona 13	231
Zona 14	187
Zona 15	59
Zona 16	40
Total	**4.265**

Fonte: Elaboração própria.

Na Zona 6, e à semelhança de todas as outras zonas de leitura, os contadores volumétricos foram substituídos na totalidade, por contadores inteligentes.

A Tabela 7 contempla o registo total do parque existente, na Zona 6, no qual se pode verificar o número da instalação, o diâmetro, a marca, a leitura e fotos, dos contadores volumétricos substituídos, denominado por contador antigo, bem como registo total dos contadores inteligentes substituídos, com marca, diâmetro, leitura e fotos, e ainda coordenadas, denominados por contadores novos. A Tabela 8 mostra as características dos contadores a substituir na Zona 6 (apenas alguns dos 465).

Tabela 8. Características dos contadores a substituir na Zona 6.

Instalação	Zona	Contador antigo					
		Número	Marca	Diâmetro	Última Leitura (m^3)	Leituras	Nº contador campo
9339	6	4367458	ZENNER	20	3.391	21	4367458
9297	6	6,7264	LORENZ	20	1.713	12	6,7264
9294	6	5,690381	LORENZ	20	1.893	15	5,690381
9438	6	7,470962	LORENZ	20	1.064	7	7,470962
11527	6	1556529	ABB	20	2.409	18	1556529
10581	6	19589	B.JANZ	20	2.810	17	19589

Nota: m^3=metros cúbicos. Fonte: DGP (2022).

A Tabela 9 reflete as características dos contadores substituídos na Zona 6.

Tabela 9. Características dos contadores substituídos na Zona 6.

Instalação	Zona	Contador novo					Data substituição contador
		Número	Marca	Diâmetro	Número dígitos	Leitura inicial (m^3)	
9339	6	WT2321667003944	Sagemcom	20	7	1	12/02/2024
9297	6	WT2321667004190	Sagemcom	20	7	1	12/02/2024
9294	6	WT2321667004068	Sagemcom	20	7	1	12/02/2024
9438	6	WT2320067000870	Sagemcom	20	7	1	12/02/2024
11527	6	WT2321667004171	Sagemcom	20	7	1	12/02/2024
10581	6	WT2321667004173	Sagemcom	20	7	1	12/02/2024

Nota: m3=metros cúbicos. Fonte: DGP (2024).

Tal como já mencionado, apresenta-se apenas parte da tabela elaborada, uma vez que esta tem 465 linhas, por existirem 465 instalações. Este registo efetuado é fundamental, para a monotorização e controle do projeto. Permite fazer verificação de todos os dados do parque de contadores antigo e novo. Estes dados foram transferidos para a plataforma de faturação, possibilitando de forma automática que a cada instalação ficasse associado um novo contador com todos os dados associados, sem que se perdessem os dados históricos dos consumidores, bem como as coordenadas e respetiva georreferenciação, facilitando aceder ao local para futuras intervenções. A elaboração desta tabela tem ainda como objetivo a monitorização do contrato estabelecido com a empresa fornecedora do serviço.

4.2.2. Análise SWOT Antes da Implementação do Sistema

A Tabela 10 contém a análise SWOT referente à pré-implementação do sistema de abastecimento de água, com a substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes.

Tabela 10. Análise SWOT anterior à implementação do sistema.

Análise interna	
Forças	**Fraquezas**
• Robustez e durabilidade dos contadores. • Não dependem de energia. • Não necessitam de sistemas de comunicação. • Mão de obra associada às leituras (no sentido de manter a empregabilidade).	• Requer manutenção e calibração. • Sujeito a fraudes. • Dependência dos fornecedores. • Perdas de carga na passagem do fluido. • Erro de leitura, aumentando com a antiguidade.
Análise externa	
Oportunidades	**Ameaças**
• Novos materiais melhorando a *performance* dos contadores. • Possibilidade de integração com sensores. • Robustez. • Custos baixos de investimento inicial.	• Concorrência de outras tecnologias de medição. • Regulamentação mais rigorosa. • Evolução rápida das tecnologias. • Redução dos custos de tecnologias alternativas.

Fonte: Elaboração própria.

Desta análise é possível concluir que, apesar das ameaças e uma vez encontrada uma solução de financiamento, e ainda porque a substituição dos contadores volumétricos é urgente e necessária, a opção pela utilização de contadores ultrassónicos é vantajosa, e os benefícios são efetivamente maiores. A satisfação do consumidor, aliada à eficiência do sistema, demonstram a viabilidade e os potenciais impactos positivos da implementação do sistema.

4.3. Identificação do Parque de Contadores a Substituir

O parque de contadores a substituir, num total de 4.300, dentro do perímetro urbano da cidade de Macedo de Cavaleiros, que é a zona de intervenção, e que compreende os diâmetros nominais, encontra-se identificado na Tabela 11.

Tabela 11. Contadores a substituir por diâmetro.

Diâmetro Nominal (DN) (mm)	Quantidade
DN 15	75
DN 20	4.162
DN 25	15
DN 32	15
DN 40	15
DN 50	10
DN 65	4
DN 80	4
Total	**4.300**

Nota: DN=Diâmetro Nominal; mm=mililitros. Fonte: Elaboração própria.

Após análise do parque de contadores existente na zona de intervenção, verificou-se a existência de contadores volumétricos com idades não recomendadas para um funcionamento adequado às leituras, apresentando erros de leitura não aceitáveis. Verificou-se ainda a existência de diferentes marcas e diferentes diâmetros nominais. Sendo que o diâmetro predominante do parque é de 20mm, por se tratar maioritariamente de consumidores domésticos.

Dado tratar-se de contadores volumétricos, importa analisar as vantagens e desvantagens destes equipamentos. Sendo que uma das vantagens que geralmente é apontada é a precisão na medição do volume de fluidos, independentemente das variações de pressão ou temperatura, no entanto, requer que sejam substituídos periodicamente, pelo que nunca esse período deve ultrapassar os 10 anos, ou a fiabilidade da leitura passa a não aceitável aumentando drasticamente os erros. Esta vantagem também foi considerada quando comparada com os contadores de turbina, e nunca com os contadores inteligentes, dado que de acordo com a maior parte dos fabricantes estes apresentam o erro muito próximo do zero.

Uma das desvantagens dos contadores volumétricos tem a ver com a sua construção interna que pode gerar uma maior perda de carga no fluido, o que aumenta o erro em redes com baixa pressão. Este fenómeno acontece frequentemente em zonas de baixa densidade. Outra desvantagem é o facto de possuírem geralmente um corpo pesado, podendo ser muito facilmente violados,

nomeadamente colocando-os em sentido inverso ao fluxo da água, ou adulterando o seu visor ou mostrador. Já os contadores inteligentes, apresentam pequenas dimensões, são leves e invioláveis.

Analisadas as vantagens e desvantagens dos contadores volumétricos, e constatando que o parque teria de ser substituído quase na sua totalidade, a EG optou pela substituição dos contadores volumétricos, por contadores inteligentes. Assim, o parque de contadores a substituir encontra-se dentro do perímetro urbano da cidade de Macedo de Cavaleiros, e na Figura 15 pode ser verificada a cidade de macedo de Cavaleiros, sendo que o contorno a vermelho indica a zona de intervenção do projeto.

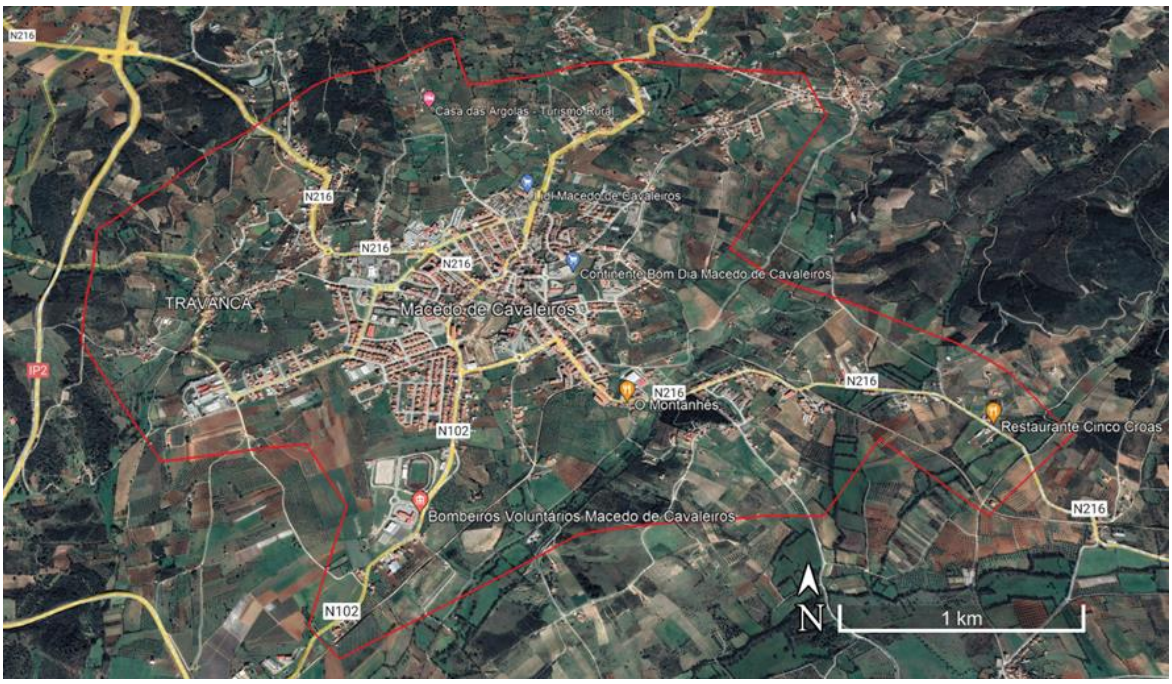

Figura 15. Zona de intervenção do projeto.

Fonte: Gismat (2024).

Identificada a zona de intervenção, o número de contadores a substituir e para que que seja feita a transmissão dos dados dos contadores inteligentes ao *software*, é necessário que exista uma rede de comunicações adequada para o efeito, assim optou-se pela instalação de uma rede *LoRaWAN*, com cobertura total da cidade de Macedo de Cavaleiros. Na Figura 16 pode observar-se o estudo de cobertura de toda a cidade, constatando-se ser necessária a instalação de 6 torres (*gateways*).

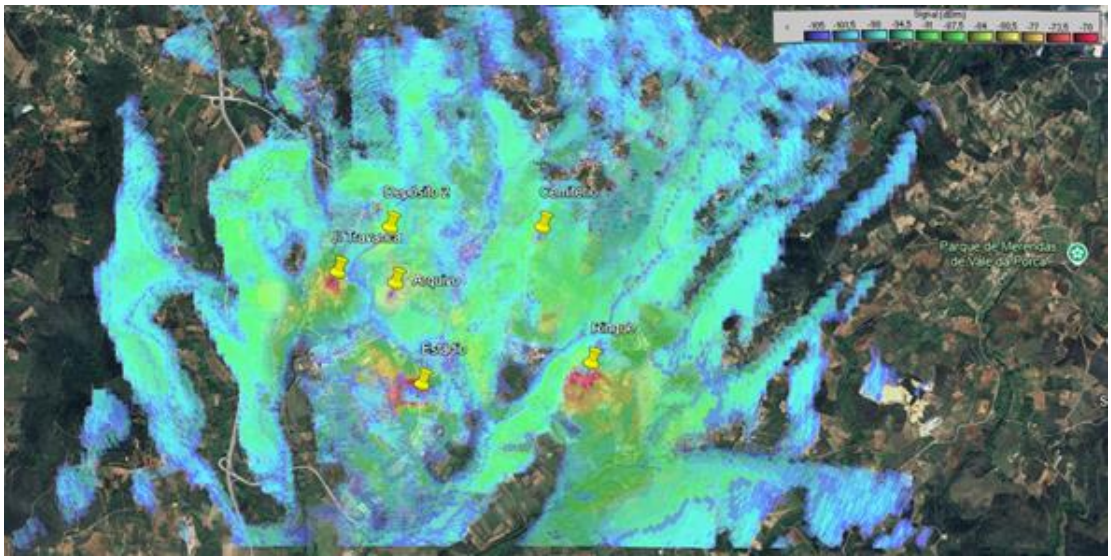

Figura 16. Mapa de cobertura de rede.

Fonte: Wavecom (2022).

Como pode ser verificado, a cidade tem uma cobertura de rede *LoRaWAN* de 100% permitindo que a transmissão de dados seja feita em tempo real e sem erros de leitura, ou de alarmística. Os *gateways* são torres de transmissão de dados, que incluem um cartão GSM que comunica com o servidor, sendo instaladas, preferencialmente, em edifícios públicos, por causa da alimentação de energia elétrica. Na Figura 17 encontra-se o gateway situado nos WC do cemitério municipal.

Figura 17. Torre ou *gateway*.

Fonte: DGP (2022).

4.4. Características e Especificações Técnicas da Tecnologia

4.4.1. Especificações e Requisitos Técnicos da Infraestrutura da Rede *LoRaWAN*

Os gateways devem apresentar características modulares permitindo a conjugação de diferentes interfaces rádio (máximo até 4) no mesmo equipamento, tais como, interface LoRaWAN, celular 3G/4G e 5GHz. Pretende-se que sejam fornecidos, a título de exemplo, gateways que disponibilizam as seguintes combinações de interfaces:

i) Tipo A: 3 interfaces *LoRaWAN*, 1 interface celular 3G/4G.
ii) Tipo B: 2 interfaces *LoRaWAN*, 1 interface celular 3G/4G, 1 interface microondas 5GHz.
iii) Tipo C: 1 interface *LoRaWAN*, 1 interface celular 3G/4G.

Os *gateways* encontram-se conectados ao servidor *LoRaWAN* via IP, funcionando como *bridges*. Estes possuem um *broker Message Quering Telemetry Transport* (MQTT) que permite a disponibilização das mensagens ao servidor. Por sua vez, o servidor, desencripta a mensagem com a chave negociada com o sensor e efetua a descodificação do *payload* ou entrega a uma plataforma IoT dedicada para o efeito.

Os *gateways* devem apresentar características modulares permitindo a conjugação de diferentes interfaces rádio (máximo até 4) no mesmo equipamento, tais como, interface *LoRaWAN*, celular 3G/4G e 5GHz. Pretende-se que sejam fornecidos, a título de exemplo, *gateways* que disponibilizam as seguintes combinações de interfaces *LoRaWAN* e 1 interface celular 3G/4G.

4.4.2. Arquitetura do Sistema de Contadores e Comunicações

A arquitetura de rede *LoRaWAN* é baseada em topologia estrela, bidirecional. Os *gateways* funcionam como estação base de uma topologia ponto-multiponto ligando vários sensores (estação cliente, terminal), trocando mensagens de acordo com o protocolo, sob uma interface física rádio, na banda não licenciada de 868MHz. Os *gateways* encaminham as mensagens para o *LoRaWAN network server*, que por sua vez rege onde os *gateways* transmitem mensagens entre os sensores e plataformas/aplicações.

A Figura 18 apresenta o esquema global do sistema onde os sensores, mediante um aprovisionamento prévio no servidor de gestão (com integração *LoRaWAN*), enviam informação através dos *gateways*. A informação dos sensores (*payload*) é codificada segundo um algoritmo proprietário do fabricante, sendo depois encriptada com uma chave previamente negociada entre o servidor e o sensor.

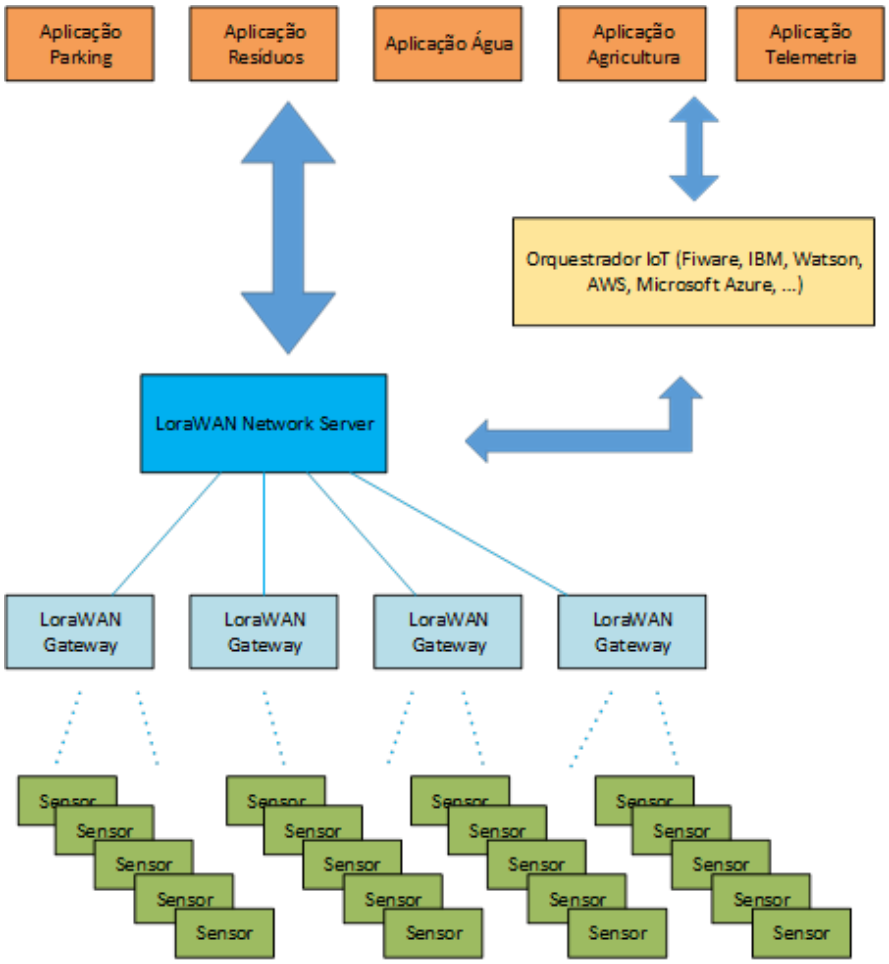

Figura 18. Esquema global dos sensores.
Fonte: DGP (2025).

O sistema permite a gestão centralizada de todos os *gateways* e possui as capacidades integradas de um *LoRaWAN Network Server*. Assim, as características que o sistema centralizado apresenta são as descritas na Tabela 12.

Tabela 12. Características do sistema centralizado de *gateways*.

Tipologia	Descrição/Características
Multi-tenant	*Hosting* de múltiplos tipos de serviços.
Monitorização	Monitorização em tempo real do estado dos *gateways*: • Estado funcional. Monitorização em tempo real de todos os equipamentos. Monitorização da interface *LoRaWAN*: • Estado funcional da interface; • Pacotes transmitidos/recebidos.
Localização da infraestrutura	Disponibilização da visualização em mapa da localização dos *gateways*.
Gestão e inventário	Inventário de todos os *gateways*; Capacidade de configurar todos os *gateways* associados através de um único painel de controlo.
Alojamento	Privado.
Network server incorporado	O *Network Server* é responsável pela:

Tipologia	Descrição/Características
	• Autenticação dos sensores; • Comunicação com os *gateways*; • Comunicação com as aplicações; • Calendarização do envio de pacotes no sentido descendente (*gateway* para os sensores).
Aprovisionamento de sensores	Aprovisionamento feito via interface *Web*, API, através de um CSV.
Integração com outras plataformas	Via API.
Tipos de mensagens suportadas	TCP e MQTT.
Live *frame-logging*	*Logs* por *gateway* e *device*.
Versões MAC suportadas	1.00, 1.01, 1.02, 1.03 e 1.1.0.
Bandas suportadas	EU 863-870.
Suporte ADR (*Automatic Data Rate*)	Otimização de *data rates* com os diversos sensores de acordo com as condições do meio.
Classes suportadas	Classe A, Classe B e Classe C.
Mecanismos de associação	ABP e OTAA.
Suporte a *JavaScript*	Possibilidade de executar scripts para descodificar o *payload* dos sensores.
Conectores	HTTP, *InfluxDB*.

Nota: API=*Application Programming Interface*; CSV=*Comma Separated Values*; TCP=*Transmission Control Protocol*; MQTT=*Message Quering Telemetry Transport*; EU=*European Union*; ADR=*Automatic Data Rate*; *InfluxDB*=Banco de dados aberto. Fonte: DGP (2022).

Os contadores comunicam com o concentrador (*gateway*) e, por sua vez, cada *gateway* envia os dados ao servidor que, através de uma plataforma gestão, faz todo o controlo do sistema. Os *gateways* encontram-se conectados ao servidor *LoRaWAN* via IP, funcionando como *bridges*. Estes possuem um *broker* MQTT que permite a disponibilização das mensagens ao servidor. Por sua vez, o servidor, desencripta a mensagem com a chave negociada com o sensor e efetua a descodificação do *payload* ou entrega a uma plataforma IoT dedicada para o efeito. A Figura 19 sintetiza o esquema de *gateways* utilizado por esta tecnologia.

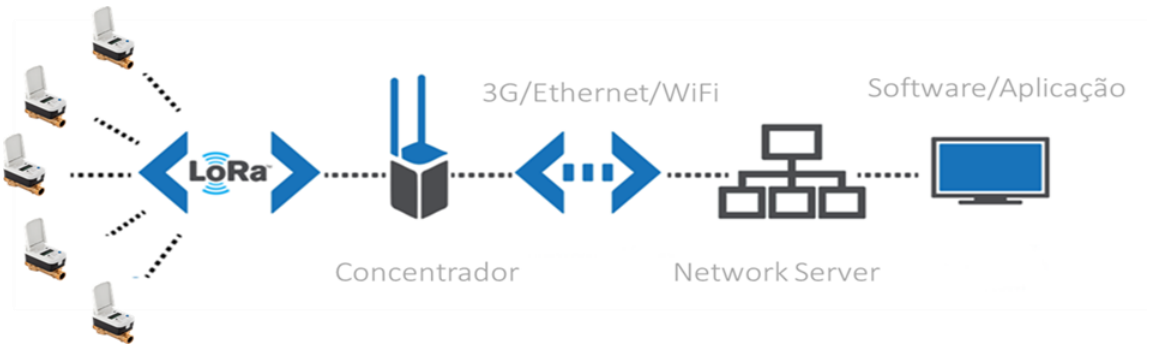

Figura 19. Arquitetura do sistema.
Fonte: Wavecom (2022).

5. Avaliação, Apresentação e Análise dos Resultados

5.1. Avaliação de Resultados da Faturação dos Consumidores

Tal como mencionado, a intervenção dos novos contadores decorreu na Zona 6. Após a sua instalação, as leituras enviadas para o servidor são alojadas numa base de dados e posteriormente analisados e tratados, com a seguinte metodologia:

- Faturação para os clientes, integração com o programa de faturação na aplicação AGU da empresa Medidata, fornecedora do *software*;
- Análise comparativa de períodos iguais por zonas;
- Análise alarmística, verificação dos alarmes com a periodicidade diária.

5.1.1. Volume de Água Registada para Faturação dos Consumidores da Zona 6

A Zona 6 com 465 consumidores registados e que em Fevereiro de 2023 se conclui a substituição dos contadores volumétricos por contadores inteligentes, apresenta uma evolução positiva no volume de água distribuído e lido aos consumidores.

Por forma a poder a analisar os dados dos contadores antes e depois da sua substituição, foi elaborado um mapa de consumos, com dados de leitura nos meses de janeiro a dezembro de 2023 e também de janeiro a dezembro de 2024, com contadores volumétricos e ainda de janeiro a março de 2025, possibilitando assim a comparação por zonas de leitura, antes e depois da substituição dos contadores. Dado que a zona escolhida foi a Zona 6, apenas foram considerados os valores em m^3 de caudais de consumo de água do total dos consumidores dessa zona por mês.

Pode concluir-se que os contadores inteligentes apresentam volumes de consumos geralmente superiores, significando uma melhor *performance*, com um menor erro de leitura, sendo mais expressiva a diferença, nos meses de maior consumo, nos quais se pode verificar um aumento mais significativo. Apuraram-se, assim, como meses de maiores consumos julho, agosto e setembro, observando-se também que nesses meses a diferença dos consumos após a instalação dos contadores inteligentes, é mais expressiva.

Da análise dos dados registados, e considerando o histórico de consumos, pode concluir-se que o aumento da faturação nos meses de verão, se deve também ao facto do aumento de população de alguns aglomerados que, em muitos casos, duplica, e também pelo incremento turístico já considerável, pelo aumento de alojamentos locais e afluência de pessoas às praias fluviais do Azibo.

Procedendo à comparação de dados de consumos, antes e depois da instalação de contadores inteligentes, verifica-se, que em média, há um aumento de 25% dos caudais para a faturação. Para o efeito, foram analisados dois anos completos, 2023 e 2024 Assim, na Tabela 13 apresentam-se

os volumes relativos aos anos de 2023 e 2024 em apreciação, a respetiva diferença e o cálculo do aumento e/ou diminuição percentual. Todos estes valores reportam ao mês.

Tabela 13. Mapa de consumos mensais e diferencial de consumo da Zona 6, em 2023 e 2024, m^3 e %.

Mês	Consumos (m^3)		Diferença (m^3)	Diferença (%)
	2023	2024		
Janeiro	2.735	2.774	39	1%
Fevereiro	3.113	3.425	312	9%
Março	2.271	3.011	740	25%
Abril	2.768	2.905	137	5%
Maio	3.228	3.036	-192	-6%
Junho	2.381	3.105	724	23%
Julho	3.396	9.857	6.461	66%
Agosto	3.147	7.481	4.334	58%
Setembro	3.823	3.351	-472	-14%
Outubro	3.337	3.018	-319	-11%
Novembro	2.911	2.949	38	1%
Dezembro	2.879	2.905	26	1%
Totais	**35.989**	**47.817**	**11.828**	**25%**

Nota: m^3=metros cúbicos. Fonte: Elaboração própria.

Algumas das razões justificativas do aumento de 25%, devem-se um menor erro de leitura dos contadores inteligentes, uma vez que com os contadores inteligentes os consumos são reais e não de consumos estimados como acontecia recorrentemente com contadores volumétricos. Da observação da Figura 20, pode concluir-se que nos meses de junho, julho, agosto e setembro as diferenças, entre o ano de 2023 e ano de 2024, são muito significativas.

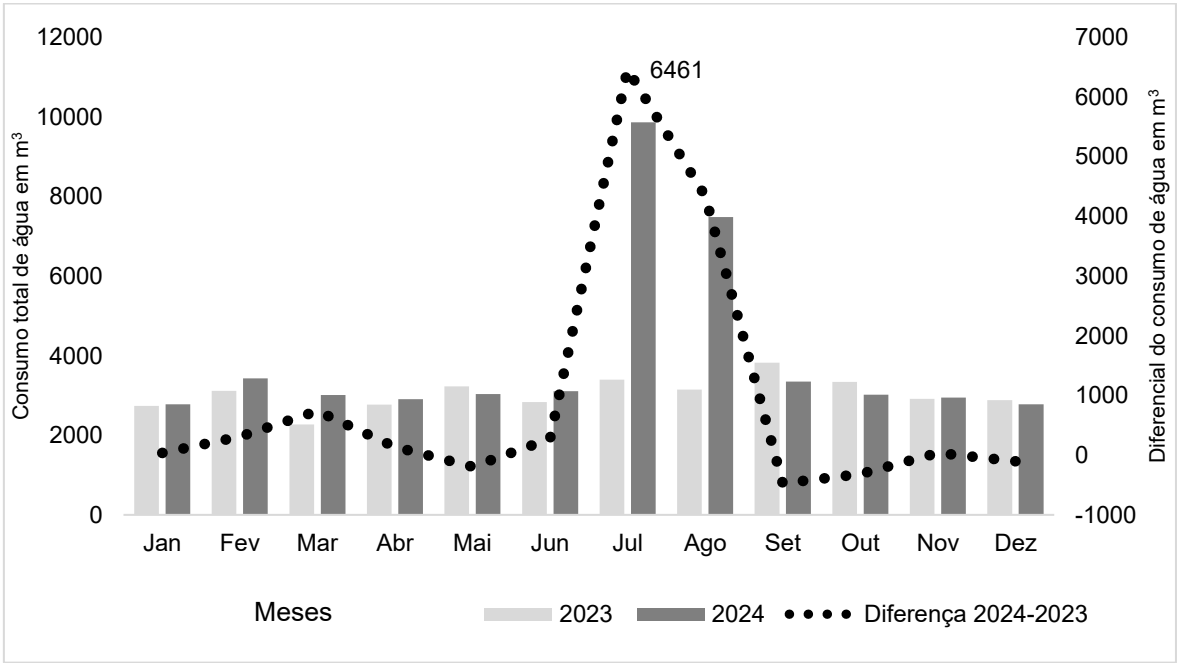

Figura 20. Mapa comparativo de volume de água faturado, 2023 e 2024.
Fonte: Elaboração própria.

Sendo os meses de verão sistematicamente meses de grandes consumos, é de esperar que estes sejam maiores. entanto, no ano de 2024, verificou-se um aumento muito mais expressivo comparativamente a 2023. Verificando-se o mês de julho, com um aumento de 6.461 m^3 de água. Um dos fatores justificativos dessa diferença é a substituição dos contadores volumétricos por contadores inteligentes, dado que as leituras são reais e não estimadas, e apresentam erros de leitura nulos. Conclui-se também, por este facto, que os contadores inteligentes, melhoram consideravelmente o desempenho dos sistemas de abastecimento de água, contribuindo para a diminuição das perdas de água.

5.1.2. Evolução da Faturação na Zona 6 no Primeiro Trimestre de 2025

A EG, após recolha das leituras, exporta os dados mensalmente, relativos aos consumos em m^3 dos consumidores, registados por cada contador inteligente, para um programa de faturação. Este processo é feito de forma automática no final de cada mês, sempre até ao dia 24.Tendo em conta o tarifário aplicado no concelho, aprovado pela CMMC e validado anualmente pela entidade reguladora (ERSAR), é realizado o processamento da faturação para os clientes.

Da análise da faturação da zona em análise (Zona 6), e comparando os valores faturados mensalmente aos consumidores, verificou-se um aumento dos valores totais anuais de aproximadamente 14%, entre os anos de 2023 e 2024. Assim, em 2023 registou-se um valor total anual de 51.025€, com contadores volumétricos, e em 2024, já com contadores inteligentes, o valor foi de cerca de 63.570€, tendo o diferencial (12.545,00€) contribuído substancialmente para a sustentabilidade do sistema.

No ano de 2025 já há disponibilidade de dados para o primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março), tornado possível a comparação com os períodos homólogos de 2023 e 2024, informação que consta da Tabela 14.

Tabela 14. Consumos totais mensais, em m^3, 2023, 2024 e 1º trimestre de 2025.

Anos	Consumos totais			
	Janeiro (m^3)	Fevereiro (m^3)	Março (m^3)	Total (m^3)
2023	2.735	3.113	2.271	8.119
2024	2.774	3.425	3.011	9.210
2025	3.424	3.627	3.345	10.396

Nota: m^3=metros cúbicos. Fonte: Elaboração própria (2025).

Após a substituição dos contadores inteligentes e decorridos dois anos, conclui-se que há um aumento considerável, como um fator positivo para a entidade gestora. Na Figura 21 pode verificar-se a evolução positiva dos consumos, comparando as diferenças de consumos dos anos 2023/2024 e 2024/2025 no primeiro trimestre verificam-se diferenças médias de 363m^3/mês e de 395m^3/mês respetivamente, demonstrando não só uma maior eficiência na leitura como um menor erro quer na leitura quer na submissão dos dados (erro humano).

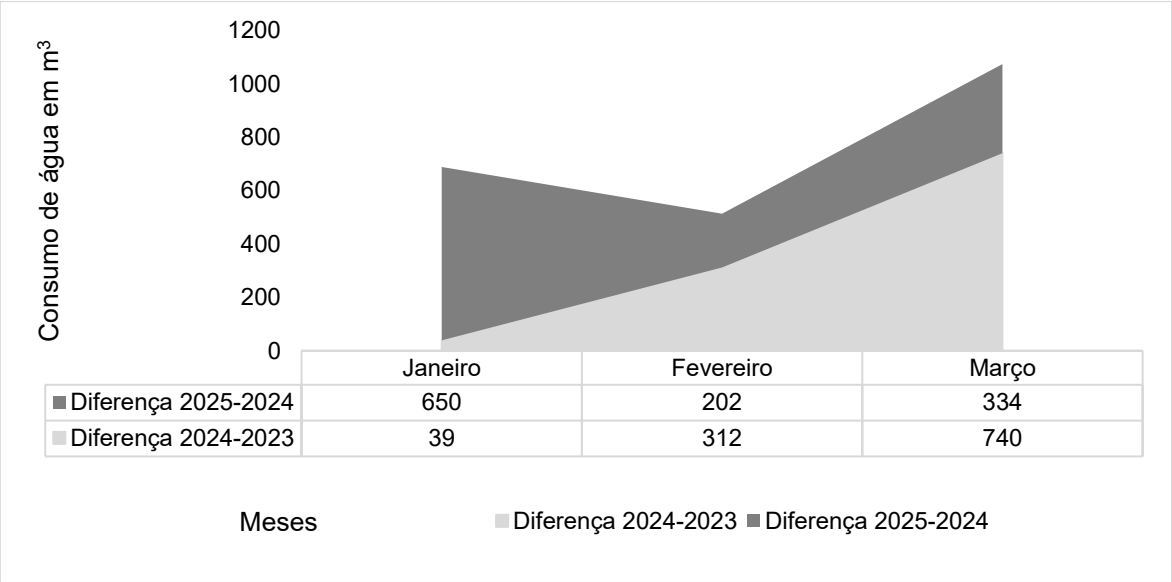

Figura 21. Comparação do diferencial no consumo de água (faturação) entre o primeiro trimestre de 2023, 2024 e 2025.
Fonte: Elaboração própria (2025).

5.2. Avaliação de Resultados da Diminuição das Perdas de Água no Sistema em Alguns Aglomerados Rurais

Entre outras medidas adotadas para a mitigação das fugas, a substituição de condutas nas redes de distribuição dos aglomerados é aquela que apresenta melhores resultados. Durante os anos de 2023 e 2024, procedeu-se à substituição de condutas tendo-se verificado uma grande redução de perdas. Em alguns casos, verificam-se agora perdas reais muito próximas de zero. A título de exemplo, apresentam-se os dados relativos à aldeia de Corujas (Figura 22), na qual as perdas verificadas eram de 6m^3/hora, sendo que após a substituição das condutas, as perdas passaram a 0m^3/hora.

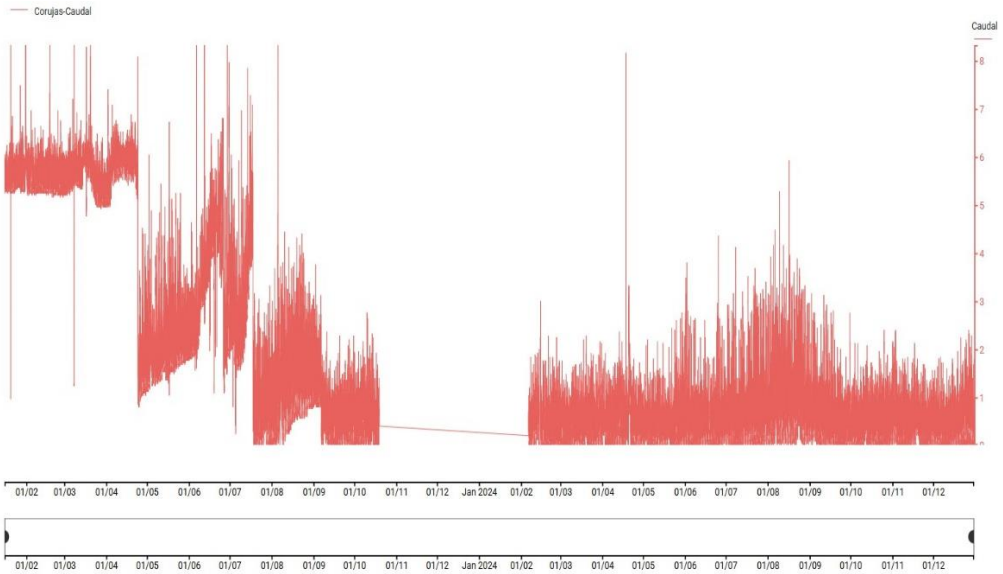

Figura 22. Gráfico de consumos em Corujas, 2024
Fonte: DGP (2025).

Outro caso elucidativo do sucesso na redução de perdas de água, é o caso da aldeia de Vale da Porca, na qual se verificavam perdas entre 10 a 20m^3/hora, passando a verificar-se perdas inferiores a 2m^3/hora. De destacar que, neste caso, a substituição das condutas não foi total, por insuficiência financeira. Na Figura 23 podem ser verificados os caudais de consumo de dezembro de 2023 a dezembro de 2024 para a aldeia de Vale da Porca.

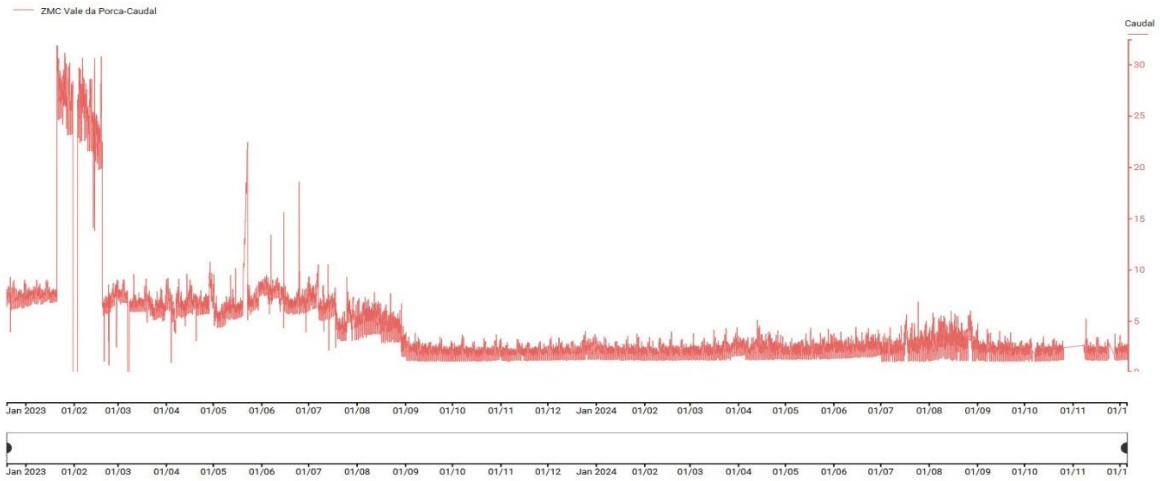

Figura 23. Gráfico de consumos em Vale da Porca, 2024.
Fonte: DGP (2025).

A substituição de condutas ocorreu em quatro aglomerados, dois dos quais apresentados como exemplo anteriormente, ou seja, Corujas e Vale da Porca, e ainda em Castelãos e Amendoeira, nos quais foram ainda substituídas condutas em duas ruas da cidade, dentro do mesmo projeto. O investimento foi de cerca de um milhão de euros, com recurso a fundos europeus, tendo um financiamento de 85%. Dados os resultados, da última intervenção e ainda pela necessidade e oportunidade, a EG está a iniciar um novo projeto de substituição de condutas em cinco aglomerados rurais e mais duas ruas da cidade. Estima-se um investimento de um milhão e trezentos mil euros, também este com financiamento europeu, a ser concretizado até 2026.

5.3. Análise dos Resultados das Perdas do Sistema

5.3.1. Evolução das Perdas por Ramal

As perdas de água nos sistemas de abastecimento de água são verificadas através dos balanços hídricos, sendo uma ferramenta fundamental e de caracter obrigatório na gestão eficiente dos recursos hídricos O balanço hídrico é feito com as entradas e saídas de água no sistema, ou seja, com a água aduzida em alta neste caso pela entidade gestora em alta Águas do Norte e a água distribuída em baixa nos aglomerados. A entidade reguladora (ERSAR) avalia anualmente, as perdas no sistema por ramal, considerando o número de ramais existentes no sistema e o volume das perdas. Com estes dados identificam-se as perdas reais e perdas aparentes, ou seja, as perdas no sistema e os consumos autorizados.

Na Figura 24, pode observar-se a evolução das perdas de água nos sistemas em Macedo de Cavaleiros desde 2017 a 2024.

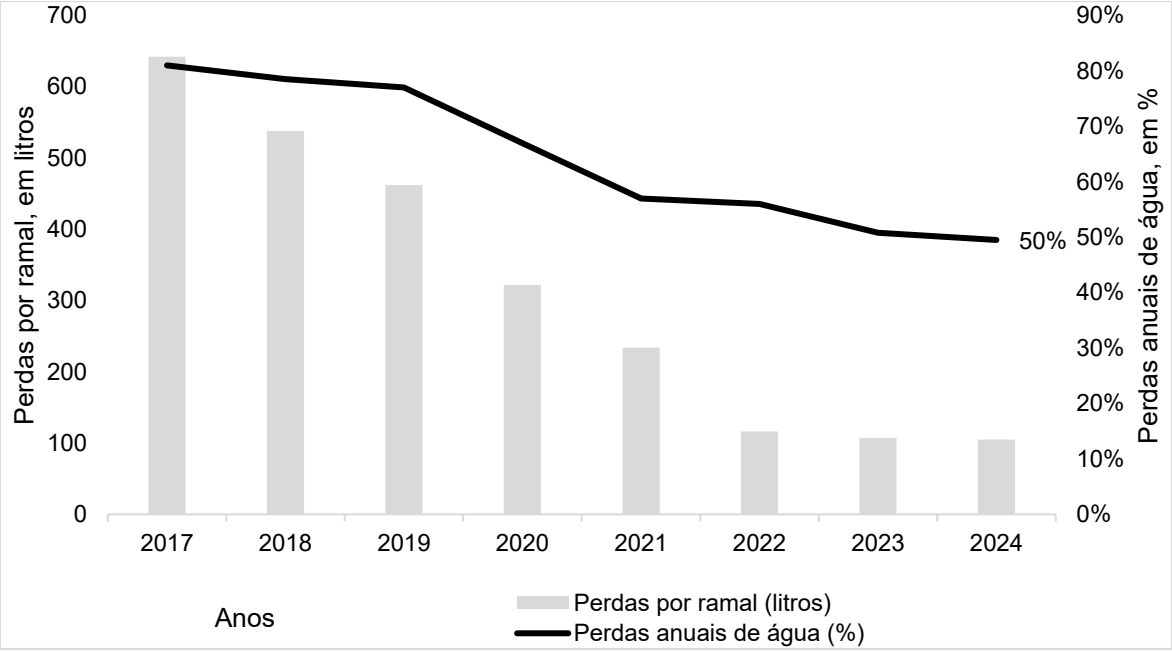

Figura 24. Mapa de perdas de água no sistema, 2017 a 2024.
Fonte: Elaboração própria.

As perdas de água verificadas em 2017, colocaram o concelho no topo da lista das entidades gestoras com maiores perdas de água no país, obrigando a EG a tomar medidas, como a implementação de um plano de ação em 2019. Todas as ações contribuíram em grande medida para a melhoria do sistema, verificando-se que essa melhoria foi significativa, quer no que respeita à sustentabilidade financeira, quer ambiental. Foram obtidos resultados muito bons de 2019 para 2021, verificando-se que a diminuição das perdas de 2017 a 2024 foi de 535 litros por ramal domiciliário.

5.3.2. Redução de Perdas pela Substituição de Contadores

Após a substituição dos contadores volumétricos por contadores inteligentes, diariamente é feita a monitorização dos contadores e todas as fugas médias e grandes são comunicadas ao consumidor. Pretende-se com esta ação a diminuição das perdas de água, evitando o desperdício de água, contribuindo para a melhoria ambiental dos sistemas hídricos.

A poupança de água é uma medida fundamental não só económica como ambiental. Assim, e apesar da poupança de água, decorrente da substituição dos contadores, não ser significativamente alta considera-se que seja um contributo razoável. Na Tabela 15 pode verificar-se como exemplo o caso de 6 consumidores com fugas residenciais cujas perdas de água totalizaram 64,08m^3. Partindo do pressuposto que os mesmos consumidores teriam a mesma fuga, mas ainda com contadores volumétricos, a água perdida teria sido de 607,18m^3. As fugas residenciais não visíveis como era o

caso destes consumidores, apenas seria verificada após a respetiva faturação, o que ocorreria pelo menos dois meses depois, ou seja, a fuga prevaleceria durante 60 dias.

Tabela 15. Exemplo de perdas de água residenciais na Zona 6.

	Contadores volumétricos			Contadores inteligentes		
	Volume médio	**Prazo médio de reparação (dias)**	**Volume total (m^3)**	**Prazo médio de reparação (dias)**	**Volume total (m^3)**	**Diferença no volume total (m^3)**
Consumidor 1	0,89	60	53,28	7	6,22	47,06
Consumidor 2	1,04	60	62,50	5	6,77	55,73
Consumidor 3	2,02	60	121,20	6	14,40	106,80
Consumidor 4	0,82	60	48,96	3	3,41	45,55
Consumidor 5	3,44	60	206,64	4	10,37	196,27
Consumidor 6	1,91	60	114,60	12	22,92	91,68
			607,18		**64,08**	**543,10**

Nota: m^3=metros cúbicos. Fonte: Elaboração própria (2025).

5.3.3. Redução de Perdas pela Instalação de ZMC

Se se analisar a zona correspondente à Zona 6 de medição de contadores, ou seja, a ZMC da estação, pode verificar-se que as perdas reais são de 56,5l/dia, como pode ser observado da Figura 25.

Figura 25. Mapa de ZMC da estação com informação sobre perdas reais diárias.
Fonte: *Flow*-Macedo de Cavaleiros (2025).

A perda de água verificada neste momento corresponde a uma perda considerada não recuperada, ou seja, não seria possível identificar. Em cada momento pode ser verificado o caudal da ZMC e identificar as perdas dessa zona. Antes da implementação das ZMC, não existiam dados sobre os caudais por zonas, pelo que apenas se conheciam as perdas analisando os totais das faturas da entrada e saída de água no sistema, tornando-se por essa razão impossível realizar a comparação.

A reparação em tempo útil das fugas tem um contributo significativo na redução das perdas de água. Em média, uma fuga demora menos de um dia a ser reparada, diminuindo significativamente a quantidade de água desperdiçada. Na Tabela 16 pode ser verificado o mapa de fugas da zona da estação como exemplo, apresentam-se os meses de abril e maio de 2024.

Tabela 16. Mapa de fugas de água da ZMC da Estação.

Nº da ocorrência	Localização	Data e hora da ocorrência	Data e hora da execução da tarefa
2024/1017	41.5434201; 6.9557806	2024-05-08 08:40	2024-05-09 10:26
2024/998	41.5408732; 6.9603288	2024-05-07 10:35	2024-05-07 14:43
2024/990	41.5393022; -6.960138	2024-05-06 15:02	2024-05-07 10:50
2024/959	41.5340806; -6.9648675	2024-04-30 09:31	2024-04-30 09:31
2024/907	41.545375; -6.9733354	2024-04-19 11:21	2024-04-19 11:21

Fonte: DGP (2024).

5.3.4. Análise Financeira

Da análise de consumos resulta, necessariamente, uma análise financeira, sendo esta uma preocupação muito grande para a autarquia, uma vez que a EG compra a água às Águas do Norte e essa despesa representa cerca de 8% do orçamento anual da autarquia. Na Tabela 17 pode observar-se, os volumes de água anuais, aduzidos no sistema desde 2017 a 2024. Verifica-se a diminuição do volume aduzido, com uma consequente diminuição da despesa, apesar do custo por m^3 aumentar todos os anos.

Tabela 17. Mapa de volumes e valores de água anuais aduzidos no sistema, 2017 a 2024.

Ano	Água aduzida (m^3)	Preço da água €/m^3	Valor total/ano
2017	2 557 578,00	0,55	1 406 667,90 €
2018	2 490 812,00	0,56	1 394 854,72 €
2019	2 358 129,00	0,57	1 344 133,53 €
2020	2 242 025,00	0,58	1 300 374,50 €
2021	2.222 178,00	0,59	1.314035.02 €
2022	1 852 429,00	0,59	1 092 933,11 €
2023	1 759 752,00	0,60	1 055 851,20 €
2024	1 743 527,00	0,61	1 063 551,47 €

Nota: m^3=metros cúbicos. Fonte: Elaboração própria.

Da análise da Figura 26, pode concluir-se que a poupança anual da autarquia foi de cerca de trezentos mil euros, em 2024, quando comparada com o valor pago em 2017. Verificando-se, portanto, uma diminuição da despesa com a compra da água em alta, de cerca de 2%. Com a tendência de diminuição das perdas, espera-se uma redução da despesa anual com a compra da água. Seguindo essa tendência em 2026, é expectável um custo anual inferior a um milhão de euros. Apesar de ainda não ser o ideal, os resultados alcançados com a implementação do plano de ação são visíveis e consideráveis.

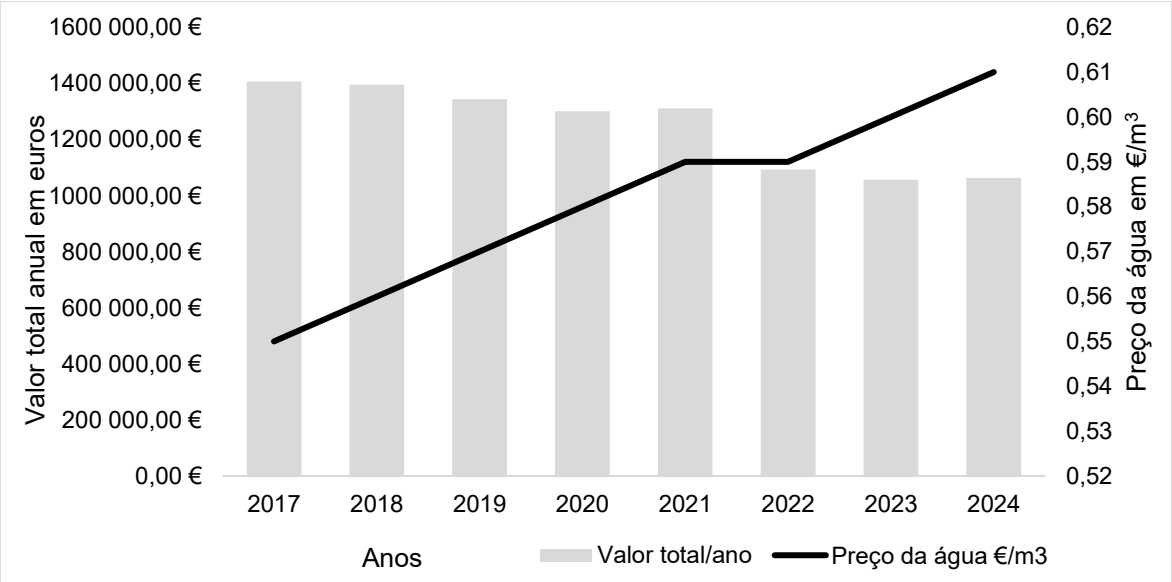

Figura 26. Evolução dos custos anuais, 2017 a 2026.
Fonte: Elaboração própria.

Tratando-se de melhoria contínua, espera-se que com todas as medidas a implementar nos próximos anos, se diminua as perdas para valores aceitáveis O objetivo seria conseguir atingir o nível dos 30% de perdas até 2026. No entanto, entre 2023 e 2024, os resultados, foram menos positivos do que nos anos anteriores, pelo que é necessário que outras medidas de mitigação de perdas sejam adotadas.

5.4. Análise SWOT Após Implementação do Sistema

A Tabela 18 traduz a análise SWOT elaborada com base nas situações verificadas no decurso de todo o processo de estudo e de implementação da ação.

Tabela 18. Análise SWOT após implementação do sistema.

Análise interna	
Forças	**Fraquezas**
• Precisão, fiabilidade e menor erro de leitura. • Monotorização constante de leituras e alarmes. • Redução de fraudes. • Benefícios ambientais. • Monotorização bidirecional.	• Custos de implementação. • Vulnerabilidade do sistema (cibersegurança). • Dependência das comunicações. • Necessidade de formação e suporte técnico.
Análise externa	
Oportunidades	**Ameaças**
• Serviços de valor acrescentado. • Inovação tecnológica. • Desenvolvimento de cidades inteligentes. • Políticas de incentivos.	• Ciberataques. • Regulamentação ineficiente ou inexistente. • Falhas técnicas e avarias nos sistemas. • Falhas de energia e/ou de comunicações.

Fonte: Elaboração própria.

Após verificação das ameaças e fraquezas encontradas, propõe-se a implementação de melhorias no sistema por forma aumentar a sua eficiência e eficácia, nomeadamente, as que de seguida se descrevem:

- Alterar o Regulamento de Abastecimento de Água, por forma a introduzir algumas cláusulas que permitam assegurar que todos os serviços do Município estejam contemplados, e que as responsabilidades sejam partilhadas.
- Garantir a manutenção dos equipamentos instalados.
- Ministrar formação adequada e atualizada aos colaboradores.
- Garantir a atualização do *software*.
- Garantir sistemas de energia alternativos, como a instalação de baterias e UPS.
- Garantir que as comunicações dos contadores possam ser feitas diretamente aos consumidores, permitindo que estes tenham acesso aos seus consumos e variações dos mesmos.

Conclusões e Recomendações

A implementação deste projeto de diminuição de fugas de água demonstrou ser não só viável, como também fundamental para a sustentabilidade dos recursos hídricos e a otimização da eficiência da rede de abastecimento de água. Através da adoção de metodologias proactivas de deteção e reparação, aliadas a um programa de sensibilização para o uso consciente da água, foi possível alcançar uma redução significativa no volume de água não faturada, com impactos positivos tanto a nível ambiental como económico. Os resultados obtidos, que incluem a identificação e correção de fugas de água no sistema, bem como os erros de leitura associados à gestão do parque de contadores, evidenciam a eficácia das estratégias implementadas, representando um passo importante rumo a uma gestão mais sustentável e responsável da água, um bem essencial para as gerações presentes e futuras.

O sucesso alcançado serve de incentivo para a continuidade dos esforços e para a replicação de boas práticas noutras áreas, contribuindo para um futuro onde a água é valorizada e utilizada de forma consciente e eficiente. Os resultados de projeto de implementação de contadores inteligentes em diversas autarquias e empresas de gestão de água têm demonstrado reduções notáveis nas perdas de água e aumentos na faturação, comprovando a eficácia desta tecnologia na gestão eficiente dos recursos hídricos. Também, no caso da autarquia de Macedo de Cavaleiros os resultados são notáveis, verificando-se um aumento de faturação de cerca de 25%, e uma clara melhoria na qualidade do serviço prestado.

As tarifas praticadas nem sempre refletem os custos reais do ciclo da água, incluindo os custos ambientais, o que pode levar a uma subvalorização do recurso e a uma falta de incentivo à sua utilização eficiente, pelo que encontrar um equilíbrio entre tarifas acessíveis e a necessidade de investimento sustentável é um desafio constante. Os recursos hídricos são, efetivamente, limitados, pelo que qualquer ação de melhoria contribui para o bem estar comum e para a sustentabilidade do sistema.

As tarifas elevadas relativas à água entrada no sistema dificulta em grande escala a gestão sustentável da sua distribuição, verificando-se um desequilíbrio financeiro entre os custos da água em alta face à água em baixa (faturada aos consumidores) pois, apesar dos tarifários em baixa apresentarem valores médios a nível nacional, o sistema é insustentável face ao número elevado de perdas, que ascendem a, aproximadamente, 50%. E apesar da grande melhoria obtida de cerca de 30% nos últimos anos, as perdas de água verificadas atualmente ainda estão longe de ser satisfatórias.

Adicionalmente, em alguns casos, a gestão da água pode ser fragmentada entre diferentes entidades, dificultando uma abordagem integrada e estratégica a nível nacional e local, como é o caso da entidade gestora em apreço, a Câmara de Macedo de Cavaleiros. Esta descentralização pode levar a disparidades na qualidade dos serviços, nas tarifas praticadas e na capacidade de investimento em infraestruturas. O investimento em infraestruturas de água, é claramente

insuficiente para garantir a modernização e a eficiência dos sistemas. Ao implementar medidas mitigadoras, de forma integrada e contínua, será possível melhorar significativamente a eficiência, a resiliência e a sustentabilidade do sistema de abastecimento de água, garantindo um serviço de qualidade para a população e a preservação deste recurso vital.

Um projeto de substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes, apesar dos benefícios consideráveis, também enfrenta algumas limitações importantes que precisam ser consideradas, como sejam:

- A aquisição, instalação e configuração dos contadores inteligentes representa um investimento inicial significativo, pois inclui o custo dos próprios contadores, mas também os custos associados à infraestrutura de comunicação (redes de dados, antenas, etc.), *software* de gestão e a mão de obra especializada para a instalação e configuração.
- Os contadores inteligentes dependem de uma infraestrutura de comunicação robusta e fiável para transmitir os dados de consumo. Em áreas com cobertura de rede deficiente (seja ela móvel, rádio ou outra), a implementação pode ser mais complexa e dispendiosa, ou até mesmo inviável em certas localizações.
- A integração dos novos contadores inteligentes com os sistemas de faturação, gestão de clientes e outros sistemas existentes da entidade gestora pode ser complexa e exigir um esforço considerável de desenvolvimento e adaptação de *software*.
- Os contadores inteligentes recolhem uma grande quantidade de dados sobre os padrões de consumo de água dos utilizadores. Garantir a segurança desses dados contra acessos não autorizados e ciberataques é crucial. Além disso, é fundamental respeitar as leis de proteção de dados e garantir a privacidade dos consumidores relativamente à forma como os seus dados são recolhidos e utilizados.
- A introdução de novas tecnologias pode encontrar resistência por parte dos funcionários da entidade gestora que estão habituados aos sistemas antigos, pelo que foi essencial a formação adequada para garantir que as equipas tivessem conseguido operar e manter os novos sistemas de forma eficaz.
- Como qualquer sistema tecnológico, os contadores inteligentes e a sua infraestrutura de suporte estão sujeitos a falhas de *hardware* e *software*. A necessidade de manutenção contínua e a dependência de sistemas eletrónicos podem levar a interrupções no registo de dados se ocorrerem problemas técnicos.

No decurso do planeamento do projeto de substituição de contadores, foi fundamental a ponderação cuidadosa destas limitações e, não menos importante, o desenvolvimento de estratégias para as mitigar, maximizando os benefícios da tecnologia enquanto se minimizam os riscos e os potenciais impactos negativos. A substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes acarreta uma série de implicações práticas significativas para as entidades gestoras de água, para os consumidores e para o funcionamento geral do sistema de abastecimento. Estas implicações abrangem aspetos operacionais, financeiros, tecnológicos e sociais, nomeadamente, os de seguida descritos.

- Para a Entidade Gestora de água:
  - Operacionais: Eliminação da necessidade de leituras manuais porta-a-porta, reduzindo custos operacionais, otimizando rotas e evitando problemas de acesso às instalações; recebimento de alertas automáticos sobre consumos anormais, permitindo a identificação e reparação mais rápida de fugas na rede de distribuição; monitorização em tempo real dos caudais e pressões em diferentes pontos da rede, possibilitando uma gestão mais eficiente da distribuição e a otimização da pressão para reduzir perdas; identificação de deteção mais fácil de consumos irregulares, manipulação de contadores ou ligações ilegais; faturação baseada no consumo real e atempado, evitando estimativas e reclamações por discrepâncias; capacidade de responder a questões dos clientes com dados de consumo precisos e detalhados.
  - Financeiras: Custos significativos com a aquisição, instalação e configuração dos novos contadores e da infraestrutura de comunicação; diminuição do volume de água não faturada devido a fugas e imprecisões de medição, resultando em aumento das receitas; redução dos custos com leituras manuais, deslocações e deteção ativa de fugas.; serviços de monitorização de consumo aos clientes.
  - Tecnológicas: Necessidade de instalar e manter uma rede de comunicação (por exemplo, rádio, celular, *LoRaWAN*) para a transmissão de dados dos contadores; integração dos dados dos contadores inteligentes com os sistemas de faturação e outros sistemas de gestão da entidade; implementação de medidas robustas de segurança para proteger os dados dos contadores e a infraestrutura de comunicação contra ciberataques.
- Para os consumidores: Acesso facilitado aos seus dados de consumo através de plataformas *online* ou aplicações móveis, promovendo uma maior consciência sobre a utilização da água. capacidade de identificar precocemente fugas nas suas instalações através da monitorização do consumo, evitando contas elevadas; informação detalhada sobre os seus padrões de consumo pode incentivar a adoção de hábitos de uso mais eficientes; eliminação de estimativas e garantia de que pagam apenas pelo que consomem; possibilidade de receber alertas sobre consumos anormais ou potenciais fugas.
- Para o sistema de abastecimento em geral: Redução das perdas de água e otimização da gestão da rede levam a um sistema mais eficiente e sustentável; menor desperdício de um recurso natural essencial; disponibilidade de dados mais fiáveis e detalhados para a tomada de decisões e para a formulação de políticas públicas.

Em suma, a substituição de contadores volumétricos por contadores inteligentes representa uma transformação significativa na gestão da água, com o potencial de gerar benefícios substanciais em termos de eficiência, sustentabilidade e qualidade dos serviços. No entanto, exige um planeamento cuidadoso, investimento adequado e atenção às implicações tecnológicas, de segurança e sociais para garantir uma implementação bem-sucedida.

Os trabalhos futuros na gestão eficiente da água exigirão uma forte aposta na inovação tecnológica, na integração de dados, no envolvimento dos consumidores e numa abordagem holística que considere a sustentabilidade ambiental, a resiliência climática e a boa governação. Portugal, inserido neste contexto global, tem a oportunidade de ser um líder na adoção de soluções inteligentes e eficientes para garantir a segurança hídrica para as gerações futuras.

No entanto, é fundamental reconhecer que a gestão eficiente da água é um processo contínuo, desta forma, recomenda-se a manutenção e o reforço das ações iniciadas, bem como a exploração de novas tecnologias e abordagens que permitam alcançar níveis ainda mais elevados de eficiência e resiliência na gestão dos nossos recursos hídricos.

As implementações de novos investimentos no abastecimento eficiente de água são essenciais para enfrentar os desafios hídricos presentes e futuros. Estes investimentos devem abranger diversas áreas para garantir a sustentabilidade, a resiliência e a qualidade dos serviços de água, tais como:

- Expansão da implementação de contadores inteligentes a toda a população e setores de atividade, permitindo uma monitorização detalhada do consumo e a deteção precoce de fugas; investir em plataformas digitais robustas que permitam aos consumidores aceder aos seus dados de consumo em tempo real e receber alertas de anomalias; e desenvolver ferramentas de análise de dados que utilizem as informações dos contadores inteligentes para otimizar a gestão da rede, prever a procura e identificar áreas com maiores perdas.
- Substituição de redes de distribuição de água, aumentando significativamente o ritmo de substituição de tubagens antigas e deterioradas, utilizando materiais mais duráveis e eficientes; investir na instalação de válvulas redutoras de pressão e em sistemas de controlo dinâmico da pressão para minimizar as perdas e reduzir o risco de ruturas.
- Investimento em tecnologias de deteção e reparação de fugas, tais como tecnologias de deteção acústica de última geração, termografia, georadar e outras ferramentas eficazes para localizar fugas não visíveis; e criar e capacitar equipas especializadas em deteção e reparação rápida de fugas, com protocolos eficientes de intervenção.
- Programas de sensibilização e educação: Aumentar o investimento em campanhas de sensibilização para promover o uso eficiente da água em todos os setores.
- Melhoria da gestão integrada, promovendo a cooperação entre as diferentes entidades responsáveis pela gestão da água a nível regional e nacional e desenvolver planos de gestão da água a longo prazo que considerem as interligações entre os diferentes setores e os impactos das alterações climáticas.

Referências Bibliográficas

Águas do Norte. (2019). *Águas do Norte vai implementar projeto piloto para contadores de água inteligentes*. https://www.adnorte.pt/index.php?csrf=8cceefc891eff78c6a7b331f90e6169b5ff9dfe2&id=70&psq=%C1guas%20do%20Norte%20vai%20implementar%20projeto%20piloto%20para%20contadores%20de%20%E1gua%20inteligentes&op=1&dt=2019&rst=1

Águas de Portugal. (2021, 30 de junho). *Contadores inteligentes: funcionamento e benefícios* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=DYQGXALucDE

ÁguaSistemas. (n.d.). *Redutora de pressão 720*. https://www.aguasistemas.pt/valvulas-hidraulicas/redutora-de-pressao-720

ÁguaSistemas. (n.d.). *Válvulas de seccionamento*. https://www.aguasistemas.pt/produtos/valvulas-de-seccionamento

Almeida, J. (2020). *Gestão eficiente de recursos hídricos: Desafios e soluções*. Editora Água Viva.

Antonelli, G. (2006). *Underwater robots: Motion and force control of vehicle-manipulator systems* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/11540199

Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana. (n.d.). *Macedo de Cavaleiros*. AMTQT. https://www.amtqt.pt/pages/302

Barreto, A. D. G. (2015). *Contribuição para o estudo de um sistema integrado de abastecimento de água e de tratamento de águas residuais domésticas na cidade da Praia, em Cabo Verde* [Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa]. Repositório da Universidade Nova de Lisboa. http://hdl.handle.net/10362/15623

Bartos, M. D., & Wong, T. H. (2017). *Smart water networks: Challenges and opportunities*. Water Technology Press.

Bilhim, J., Ramos, R., & Pereira, L. M. (2015). Paradigmas administrativos, ética e intervenção do Estado na economia: o caso de Portugal. *Revista Digital de Derecho Administrativo*, (14), 91–125. https://doi.org/10.18601/21452946.n14.07

Campos, J. N. (2013). A gestão integrada dos recursos hídricos: Uma perspectiva histórica. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, *1*(1), 111–121.

Contaqua. (2025a). *ContaquaWeb – Sistema de monitorização de redes*. https://contaqua.pt/solucoes/contaquaweb/

Contaqua. (2025b). *Contadores Ultrassónicos Inteligentes – Siconia® WM*. Recuperado de https://contaqua.pt/solucoes/contadores-ultrassonicos-inteligentes/

CGF Janz. (n.d.). *Contadores de água*. https://cgf.janz.pt/categoria-produto/contadores-de-agua

da Silva, J. A. (2015). *O Aqueduto das Águas Livres e o espaço público* (Master's thesis). Universidades Lusíada.

DECO PROTESTE. (2021, 17 de dezembro). *Tarifas da água: custos desiguais em todo o País*. https://www.deco.proteste.pt/familia-consumo/orcamento-familiar/noticias/tarifas-agua-custos-desiguais-todo-pais

Decreto-Lei n.º 69/2023, de 21 de agosto. Diário da República, 1.ª série, n.º 160. https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/69-2023-215520020

Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de setembro. Diário da República, 1.ª série, n.º 187. https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/103-2010-468194

Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto. Diário da República, 1.ª série, n.º 160. https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/194-2009-496272

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto. Diário da República, 1.ª série-A, n.º 195. https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/23-1995-394937

Duarte, H. (2014). *Sistemas hidráulicos inteligentes: Estudo de caso em Portugal*. *Revista Engenharia e Sustentabilidade*, *10*(2), 23–29.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2024). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP 2023)*. ERSAR. https://www.ersar.pt/informacao-relevante-setor/

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2021). *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal – RASARP 2020: Caracterização do setor de águas*. https://www.ersar.pt/pt/setor/publicacoes/Paginas/Relatorios.aspx

Ferreira, J., Oliveira, M., & Santos, L. (2023). Sensores inteligentes e digital twins na gestão da água: Uma abordagem integrada. *Journal of Smart Water Systems*, *5*(2), 89–102.

Gleiser, M. (2024). *O despertar do universo consciente: Um manifesto para o futuro da humanidade*. Editora Cosmos.

Goldfried, M. R. (2013). What should we expect from psychotherapy? *Clinical Psychology Review*, *33*(5), 862–869. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.006

Homaei, H., & Rezaei, M. (2024). Advances in ultrasonic water metering technologies. *International Journal of Water Resources Development*, *40*(1), 15–30.

Imprensa Nacional – Casa da Moeda. (n.d.). *Publicação de atos – 2.ª série do Diário da República*. https://www.incm.pt/actos/editor?serie=2

Indústria e Ambiente. (n.d.). Macedo de Cavaleiros instala 4 mil contadores inteligentes de água. *Indústria e Ambiente*. https://www.industriaeambiente.pt/noticias/macedo-cavaleiros-instala-4-mil-contadores-inteligentes-agua/

Indústria e Ambiente. (2022, 5 de abril). *Macedo de Cavaleiros quer deixar de liderar perdas de água*. https://www.industriaeambiente.pt/noticias/macedo-cavaleiros-quer-deixar-liderar-perdas-agua/

Instituto Nacional de Estatística. (2021). *Censos 2021 – Resultados definitivos: População residente por município*. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=censos21_produtos

Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro. *Lei da Água*. *Diário da República*.

Lei n.º 10/2014, de 6 de março. Diário da República, 1.ª série, n.º 46. https://dre.pt/dre/detalhe/lei/10-2014-198864

Lima, J. (2015). *Gestão sustentável dos recursos hídricos: Políticas e práticas*. Editora Verde.

Município de Macedo de Cavaleiros. (2024, 10 de maio). *Regulamento n.º 521/2024: Regulamento de Organização dos Serviços Municipais, Estrutura e Competências (ROSMEC)*. Diário da República, 2.ª série, n.º 91. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/regulamento/521-2024-864389511Diário da República+2

Novais, P. (2019). Inovação tecnológica na gestão urbana da água. *Revista de Engenharia Civil*, *12*(4), 33–40.

PH Informática. (2024). *GISMAT – Sistema de Informação Geográfica Municipal*. https://www.phinformatica.pt/gismat-home.html

Planet Eng. (2021). *Figura técnica de redes de abastecimento*. Planet Eng. https://www.planeteng.pt/figura-tecnica-redes-abastecimento

Portaria n.º 702/2009, de 6 de julho. Diário da República, 1.ª série, n.º 128. https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/702-2009-496064

Ribeiro, O. (2003). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico*. Livros Horizonte.

Ross, A. L. C. (2010). Água e desenvolvimento na Índia: Implicações das dimensões social e cultural na gestão da água (Master's thesis, Universidade Técnica de Lisboa (Portugal)).

Ruas, J. (2022). *Manual de metodologias de investigação: Como fazer propostas de investigação, monografias, dissertações e teses* (2.ª ed. rev.). Escolar Editora.

Santos, L., & Oliveira, F. (2021). Tecnologias de informação aplicadas à gestão de recursos hídricos. *Revista Tecnologia & Inovação*, *15*(1), 58–67.

Silva, M., & Souza, T. (2020). *Modelagem de sistemas de abastecimento de água: Uma abordagem prática*. Editora Engenharia.

Sit, S. M., Chan, K. L., & Wong, T. H. (2020). Implementation of smart water metering in urban areas: Challenges and solutions. *Urban Water Journal*, *17*(5), 421–430.

Štruklec, G., & Novak, P. (2007). Sistema de leitura automática de hidrômetros sem fio. In *XVIII Congresso Mundial IMEKO* (pp. 1–6).

Tessmer, H. (2002). Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. *Revista Liberato*, *3*(3), 21–29.

Topanotti, A. (2021). Gestão inteligente de redes de distribuição de água. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, *26*(2), 123–130.

Turcu, C., & Popescu, D. (2018). Smart metering and water consumption: A case study. *Procedia Engineering*, *181*, 495–502.

Water eSource. (n.d.). *Microcom data loggers*. https://wateresource.com.au/product-category/microcom-data-loggers

Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: Planejamento e métodos* (5.ª ed.). Bookman.

YouTube. (n.d.). *Contadores inteligentes de água: Funcionamento e benefícios* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=DYQGXALucDE

Zapata-Sierra, A. J., Medina-Carrasco, S., & Sánchez-Molina, C. (2023). The scientific landscape of smart water meters: A comprehensive review. *Water*, *15*(6), 1027. https://doi.org/10.3390/w15061027

Anexos

Anexo I. Características Técnicas dos Contadores a Substituir

Os contadores ultrassónicos (inteligentes) têm como características principais as que de seguida se descrevem:

- Vida útil da bateria superior a 12 anos;
- Classe de Proteção: IP68;
- Pressão Nominal: PN16;
- Unidades de medição: m³ / h, l / h, m³;
- Classe de temperatura - T30;
- Tubagem do contador metálico (latão), que garante uma elevada durabilidade e resistência;
- Eletrónica protegida em compartimento de compósito de alta resistência;
- Resistência aos raios UV – 20 anos com uma exposição de 12 h/dia;
- Tampa para proteção do ecrã LCD;
- Apresentam características técnicas de tecnologia de medição ultrassónica/tubagem livre sem partes móveis e desgaste mecânico; método estático de medição do consumo de água; estabilidade e fiabilidade das medições a longo prazo; válvula de retenção colocada a jusante do elemento medidor e incorporada na tubuladura. elimina desvios de medição causados por areia, partículas suspensas ou bolsas de ar;
- Um botão de pressão para ativação do menu e seleção das diferentes opções/parametrizações;
- Existe a possibilidade de colocar o contador de água na opção instalado ou desinstalado;
- Apresentam uma frequência de medição até 8Hz;
- Sistema de comunicação (telemetria) e memória (*datalogger*) integrados no interior do corpo do contador, com antena de comunicação integrada no corpo do contador; protocolos de comunicação (IoT), neste caso rede *LoRa* na versão *LoRaWAN* 1.0.3. com Potência transmitida: 14dBm;
- Memória Interna/*datalogger* que dispõe de sistema de armazenamento de dados;
- Dispõem de um *display*–LCD multilinhas com visualização alternada do volume total, caudal instantâneo e outras informações com 7 dígitos;
- Possibilidade de indicação de sentido caudal, nível de bateria, aviso de alarme de manuseamento, aviso de conduta vazia e aviso de fuga, entre outros possíveis;
- A Unidade de medição dos contadores é m^3;
- Possuem um QR *Code* com informação do contador para possível leitura com *smartphone* ou outro equipamento;
- Certificações MID 2004/32/EU;

- Marca de conformidade CE, nos termos da Diretiva 2004/22/CE (Decreto-Lei n.º 192/2006 de 26 de Setembro).

Na Tabela 19 são apresentados os dados metrológicos dos contadores por Diâmetro Nominal (DN) de 15mm a 20mm.

Tabela A1. Dados metrológicos dos contadores por diâmetros DN 15mm a 20mm.

Caudal				R	Ligações	Comprimento	Classe Perda de
Q_3 Permanente (m^3/h)	Q_4 Máximo (m^3/h)	Q_1 Mínimo (l/h)	Q_2 Transição (l/h)	Q_3/Q_1		Total L, mm	Pressão
2,5	3,125	6,25	10	400	G ¾	165	ΔP 40
2,5	3,125	6,25	10	400	G 1	165 ou 190	ΔP 40
4,0	5,0	10	16	400	G 1	165 ou 190	ΔP 63

Nota: Q_1=Caudal mínimo; Q_2=Caudal de transição; Q_3=Caudal permanente; Q_4=Caudal máximo; m^3/h=metros cúbicos por hora; l/h=litros por hora; R=Caudal de sobrecarga; L=Comprimento; mm=milímetros; G=Válvulas de segurança; ΔP=Perda. Fonte: ISO 4064:2014 e EN 14154:2005.

Na Tabela 20 são apresentados os dados metrológicos dos contadores por DN de 25mm, 32mm e 40mm.

Tabela A2. Dados metrológicos dos contadores por DN de 25mm, 32mm e 40mm.

Caudal				R	Ligações	Comprimento	Classe Perda de
Q_3 Permanente (m^3/h)	Q_4 Máximo (m^3/h)	Q_1 Mínimo (l/h)	Q_2 Transição (l/h)	Q_3/Q_1		Total L, mm	Pressão
10	12,5	20,0	32,0	500	G 1 ¼”	260	ΔP 25
10	12,5	20,0	32,0	500	G 1 ½”	260	ΔP 25
16	20,0	32,0	51,2	500	G 2”	300	ΔP 25

Nota: Q_1=Caudal mínimo; Q_2=Caudal de transição; Q_3=Caudal permanente; Q_4=Caudal máximo; m^3/h=metros cúbicos por hora; l/h=litros por hora; R=Caudal de sobrecarga; L=Comprimento; mm=milímetros; G=Válvulas de segurança; ΔP=Perda. Fonte: ISO 4064:2014 e EN 14154:2005.

Na Tabela 21 são apresentados os dados metrológicos dos contadores por DN de 25mm, 32mm e 40mm.

Tabela A3. Dados metrológicos DN 50mm, 65mm e 80mm.

DN (mm)	50	65	80
Q_4 (m^3/h)	50	80	80
Q_3 (m^3/h)	40	63	63
Q_2 (m^3/h)	130	200	200
Q_1 (m^3/h)	80	130	130
Caudal Inicial	20	35	35
R (Q_3/Q_1)	500	500	500

Nota: DN=Diâmetro Nominal; mm=milímetros; Q_1=Caudal mínimo; Q_2=Caudal de transição; Q_3=Caudal permanente; Q_4=Caudal máximo; m^3/h=metros cúbicos por hora; R=Caudal de sobrecarga. Fonte: ISO 4064:2014, EN 14154:2005.

Anexo II. Especificações do Módulo de Telemetria

A plataforma permite a aquisição e descodificação de dados consumos, leituras e alarmes de sistemas de telemetria com tecnologia *LoRaWAN*, efetua a visualização em gráficos e tabelas dos dados de consumo horários ou de 15 em 15 minutos e de volumes diários. Apresenta sob a forma de tabela as leituras e os alarmes recebidos para cada dispositivo, e tem um *dashboard* com o resumo dos principais indicadores, incluindo (Contaqua, 2025b):

- Variação diária do nível de cobertura;
- Variação diária do consumo do parque de contadores;
- Resumo das comunicações por tecnologia;
- Resumo dos alarmes;
- A caracterização do contador e do consumidor.

A plataforma permite a importação de dados, bem como a pesquisa multicritério dos contadores existentes na base de dados. É possível fazer diretamente na plataforma o balanço hídrico horário e diário com base na informação de telemetria. São feitos relatórios predefinidos sobre alarmes, de maiores consumidores e de contadores com leitura em atraso. A plataforma faz automaticamente a exportação das leituras para o sistema de faturação, nomeadamente (Contaqua, 2025b):

- Importação automática dos dados de índex e caudal armazenados pelo(s) sistema(s) de telecontagem existente(s), desde que estes sejam disponibilizados em formato csv, txt, SQL *Server* ou noutro formato livre;
- Pré-validação dos dados a processar;
- Cálculo automático das tendências de consumos do contador atual e do anterior, caso ele exista, para a totalidade dos clientes da entidade;
- Disponibilização de uma interface para análise da informação processada, incluindo os contadores que apresentam os maiores decréscimos de consumo e a verificação de calibres de contadores através dos dados fornecidos pela entidade;
- Relatório com os contadores que têm leituras em atraso, com leitura efetuada há mais de 4 meses, mais de 6 meses, mais de 12 meses e mais de 24 meses;
- Relatório com os contadores que tem consumos zero há 3 leituras consecutivas, 6 leituras consecutivas e 12 leituras consecutivas, separando os que nunca tiveram consumo anterior dos que já tiveram consumo;
- Possibilidade de ignorar leituras diretamente no gráfico para efeitos de cálculo de consumos, com reprocessamento *online* e automático das estatísticas;
- Possibilidade de ignorar consumos diretamente no gráfico para efeitos de cálculos estatísticos, com reprocessamento *online* e automático das estatísticas;
- Possibilidade de avaliar o dimensionamento de um contador através da análise dos consumos com as características metrológicas do contador;
- Possibilidade simular o desempenho de contadores existentes na base de dados de acordo com os consumos observados e as características técnicas dos contadores escolhidos;

- Disponibilização de uma interface para a visualização geográfica da informação dos contadores;
- Possibilidade de visualização das leituras e consumos de telemetria;
- Análise do resultado da substituição de contadores;
- Produção e envio automático de relatórios com alarmes gerados a cada processamento de acordo com especificações da entidade gestora;
- Possibilidade de decompor as variáveis em sub-variáveis e definir o critério de agregação com base na soma, na média ou outros;
- Pré-configuração com os indicadores e variáveis da ERSAR para abastecimento de água;
- Disponibiliza relatórios de desempenho com a análise do resultado dos indicadores face aos limites definidos.

Destacam-se ainda outras características da plataforma que ainda é necessário parametrizar (Contaqua, 2025b):

- Incorporação automática de dados provenientes de *dataloggers*, sistemas de telecontagem e telemetria nos seguintes formatos: ficheiros csv, txt, xml, json, ligações diretas a bases dados ou *webservices* em formatos standard, como xml ou json;
- Possibilidade de configurar sensores na plataforma via *BackOffice* com a configuração do *timstamp*, do tipo de sensor e das respetivas unidades;
- Possibilidade de criar via *BackOffice* municípios, sistemas, subsistemas e zonas de medição e controlo com total autonomia por parte da EG;
- Possibilidade de configurar interdependências entre zonas de medição e controlo de forma a ter o consumo líquido de uma zona de medição e controlo com total autonomia por parte da EG;
- Possibilidade de associar mais do que um sensor de caudal de entrada a uma zona de medição e controlo com total autonomia por parte da EG;
- Possibilidade de criar grandes clientes monitorizados com total autonomia por parte da EG;
- Possibilidade de associar grandes clientes a uma zona de medição e controlo, de forma a poder descontar o consumo e obter o consumo líquido de zona de medição e controlo com total autonomia por parte da EG;
- Cálculo estatístico automático do perfil de consumo expectável de uma zona de medição e controlo com base no histórico, eliminando automaticamente valores anormalmente baixos ou anormalmente altos;
- Página com a visualização em gráfico dos valores de caudal instantâneo e respetivo perfil expectável;
- Possibilidade de adicionar comentários que deverão ser visíveis diretamente no gráfico;
- Cálculo de consumos mínimos noturnos;
- Página para visualização em gráfico do valor do consumo mínimo noturno e respetivos alvos;

- *Dashboard* com a informação dos sensores com indicadores de: comunicações em atraso, diferença entre os consumos mínimos noturnos e alvos teóricos, diferença entre consumos mínimos noturnos e alvos operacionais, relação entre consumos mínimos e consumos médios;
- Mapa com a localização das zonas de medição e controlo, sensores e grandes clientes; Este mapa deverá permitir a colocação de *layers* de servidores *ArcGisServer* e *GeoServer*;
- Possibilidade de alimentar automaticamente *layers* do *ArcGisServer* com a informação dos indicadores calculados pela plataforma;
- Página de pesquisa com vários atributos;
- Possibilidade de efetuar a aquisição de dados meteorológicos através da *Application Programming Interface* (API) do *openweathermap*;
- Página para visualização de dados meteorológicos em gráfico;
- Página de análise multisensor, onde o utilizador poderá adicionar livremente as séries temporais que pretenda, permitindo em simultâneo ver vários sensores de caudal, pressão, temperatura e precipitação;
- Possibilidade de inserir via *BackOffice* ou via *Extract, Tranform, Load* (ETL) volumes faturados por zona de medição e controlo;
- Visualização no gráfico dos valores não faturados em m^3 e percentagem por mês e por zona de medição e controlo.