



**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA E TELECOMUNICAÇÕES**  
**UNIVERSIDADE AUTÓNOMA DE LISBOA**  
**“LUÍS DE CAMÕES”**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE IOT, PARA RECOLHA E  
MONITORIZAÇÃO DE DADOS, COM VISTA A OTIMIZAR AS  
PERDAS DE ÁGUA**

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Informática e de  
Telecomunicações

Autor: Tiago André Azinheira Santos Manuel

Orientador: Professor Dr. António Manuel Veiga dos Santos Caldeira

Número do candidato: 20140905

**Julho de 2019**

**Lisboa**



## **RESUMO**

A água, sendo um recurso essencial à vida, mas escasso, torna-se num fator fulcral para o desenvolvimento socioeconómico de uma sociedade. Seja onde for, para uso doméstico, industrial ou agrícola, a população tem de ter sempre acesso ao recurso que é a água. Para tal, as entidades responsáveis pelo setor da água têm de garantir que a água chegue em qualidade e quantidade à população.

Desta forma, para ser possível um controlo e mitigação das perdas de água é indispensável que haja um processo de monitorização de todo o sistema de abastecimento de água, desde o processo de captação, ao tratamento da água numa ETA (Estação de Tratamento de Água), à distribuição ao utilizador, permitindo assim uma ajuda na localização das situações que carecem de uma maior atenção, com o objetivo de corrigir essas lacunas. De realçar que o sucesso da monitorização se encontra dependente da fiabilidade dos dados medidos pelos equipamentos de medição, nomeadamente os caudalímetros e os medidores de nível.

É aqui que entre a área de IoT (*Internet of Things*), com a possibilidade de identificar e analisar todos os dados em tempo real referentes aos sistemas de abastecimento e distribuição de água, principalmente neste último, onde o problema das perdas de água é maior. Analisando estes dados é possível visualizar graficamente o que acontece na rede, como por exemplo, a quantidade de água utilizada durante as 24 horas ou a pressão que num determinado setor da rede diminuiu drasticamente, sendo um indicador de perdas de água. Desta forma, com partes da rede sensorizadas torna-se possível identificar possíveis problemas de perdas de água, como uma fuga ou rotura, evitando assim ainda maiores perdas.

Para tal, é necessário definir uma zona de monitorização e controlo (ZMC), que vai conter todos os componentes necessários para o bom funcionamento e monitorização da rede, desde reservatório e bomba, se necessário, aos nós da rede e tubagens.

**Palavras-Chave:** abastecimento de água,-; IoT,-; perdas,-; rede de recolha de informação,-; sensorização.

## *ABSTRACT*

Water, being an essential but scarce resource for life, becomes a central factor for the socioeconomic development of a society. Wherever it is, for domestic, industrial or agricultural use, the population must always have access to the water resource. To this end, the responsible entities for the water sector must ensure that water reaches the population in quality and quantity.

Therefore, in order to be able to control and reduce water losses, a process of monitoring the entire water supply system, from the abstraction process, to water treatment at a water treatment plant, to distribution to the user, thus helping to locate the situations that need the most attention in order to correct these gaps. It should be noted that the success of monitoring is dependent on the reliability of the data measured by the measuring equipment, namely flow meters and level meters.

This is where the Internet of Things (IoT) area is needed, with the possibility of identifying and analyzing all real-time data on water supply and distribution systems, especially in the latter one, where the problem of water loss is greatest. By analyzing this data it is possible to graphically visualize what happens in the network, such as the volume of water lost, that is, the amount of water being introduced into the system is not enough for various reasons to be delivered or invoiced to the end customer. The pressure that in a particular sector of the network has decreased dramatically, being an indicator of water losses, etc. This way, with sensed parts of the network, it is possible to identify possible problems of water loss, such as leakage or rupture, thus avoiding further losses.

For this, it is necessary to define a monitoring and control zone (ZMC), which will contain all the necessary components for the proper functioning and monitoring of the network, from reservoir and pump if necessary, to the network nodes and piping.

**Keywords:** water supply,- IoT,-; losses,-; information gathering network,-; sensing.

# Índice

<i>Resumo</i>	3
<i>Abstract</i>	4
<b>Índice</b>	<b>5</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>7</b>
<b>Lista de tabelas</b>	<b>9</b>
<b>Lista de siglas</b>	<b>10</b>
<b>Glossário</b>	<b>11</b>
<b>1. Capítulo I – Introdução</b>	<b>12</b>
1.1. <i>MOTIVAÇÕES E ENQUADRAMENTOS</i>	12
1.2. <i>ESTRUTURA DO RELATÓRIO</i>	13
<b>2. Capítulo II – Projetos semelhantes</b>	<b>15</b>
<b>3. Capítulo III – Caracterização</b>	<b>19</b>
3.1. <i>CICLO URBANO DA ÁGUA</i>	19
3.2. <i>DEFINIÇÃO DA ZMC</i>	23
3.3. <i>NECESSIDADES DA ÁGUA / PERDAS</i>	24
3.4. <i>SENSORIZAÇÃO (USO DE ZMC)</i>	26
3.5. <i>ARQUITETURA DE UMA WSN</i>	27
3.5.1. <i>Topologia hierárquica</i>	28
3.6. <i>INTRODUÇÃO AO PROTOCOLO WIRELESS M-BUS</i>	29
3.7. <i>COMUNICAÇÃO COM OS SENSORES NAS TUBAGENS</i>	30
<b>4. Capítulo IV – Realização</b>	<b>32</b>
4.1. <i>COMO É QUE TODO ESTE SISTEMA ACONTECE?</i>	32
4.2. <i>DADOS MEDIDOS</i>	33
4.3. <i>COMO SE DETETAM ROTURAS?</i>	34
4.4. <i>WIRELESS M-BUS</i>	35
4.5. <i>ARQUITETURA</i>	36
4.5.1. <i>M-bus no modelo osi</i>	38

<b>4.6. MODOS DE COMUNICAÇÃO</b>	<b>39</b>
<b>4.6.1. Comunicação unidirecional vs bidirecional</b>	<b>42</b>
<b>5. capítulo V – Simulação</b>	<b>44</b>
<b>5.1. SOFTWARE UTILIZADO</b>	<b>44</b>
<b>5.2. PRÉ-REQUISITOS DA SIMULACAO</b>	<b>45</b>
<b>5.3. SIMULAÇÃO E CRIAÇÃO DA REDE(ZMC)</b>	<b>45</b>
<b>5.4. CARACTERÍSTICAS DA REDE</b>	<b>46</b>
<b>5.5. SIMULAÇÃO</b>	<b>49</b>
<b>5.6. ESTUDO DA VIABILIDADE</b>	<b>53</b>
<b>5.6.1. Técnica</b>	<b>53</b>
<b>5.6.2. Económica</b>	<b>54</b>
<b>5.6.3. Ambiental</b>	<b>55</b>
<b>5.6.4. Social e ética</b>	<b>55</b>
<b>Conclusões</b>	<b>57</b>
<b>Trabalhos futuros</b>	<b>59</b>
<b>Anexos</b>	<b>60</b>
<b>Referências</b>	<b>61</b>

## *Lista de Figuras*

Figura 1 - Ciclo Urbano da água .....	20
Figura 2 - Ciclo Urbano da água(fases).....	20
Figura 3 - Sistema Adutor .....	22
Figura 4 - Rede de Zona Alta .....	22
Figura 5 - Rede de Zona Baixa.....	23
Figura 6 - DMA .....	24
Figura 7- Esquema de monitorização de um sistema de abastecimento.....	25
Figura 8 - Exemplo da arquitetura de uma WSN .....	28
Figura 9 - Advanced Metering Infrastructure System .....	29
Figura 10 - Arquitetura de um sistema de Telemetria .....	30
Figura 11 - Wireless M-Bus .....	35
Figura 12 - Wireless M-Bus .....	36
Figura 13 - Wireless M-Bus comunicação .....	36
Figura 14 - Drive-by meter reading .....	41
Figura 15 - Comunicação Bidirecional.....	42
Figura 16 - EPANET: Criação da Rede. Elaboração Própria.....	45
Figura 17 - Curva Bomba. Elaboração Própria .....	46
Figura 18 - Características do nó 3. Elaboração Própria .....	47
Figura 19- Padrão de Consumo utilizado. Elaboração Própria .....	47
Figura 20- EPANET: Características da tubagem 1. Elaboração Própria .....	48
Figura 21- EPANET: Características do tanque. Elaboração Própria.....	48
Figura 22- Simulação: 8:00h. Elaboração Própria.....	49
Figura 23 - Pressao para o nó 7. Elaboração Própria.....	51
Figura 24: Caudal para a tubagem 2(adjacente ao nó 7). Elaboração Própria.....	51
Figura 25: Pressão para o nó 2. Elaboração Própria.....	52
Figura 26 - Caudal Bomba. Elaboração Própria.....	52
Figura 27 - Balanço do sistema. Elaboração Própria.....	53
Figura 28 - A escassez de água no mundo – AFP, 2010 .....	56
Figura 29 - % Perdas de água - PNA, 2002 e 2010 .....	60



## *Lista de Tabelas*

Tabela 1 - Camadas do Modelo OSI .....	37
Tabela 2 - Pilha do protocolo WM-Bus mapeado com as camadas ISO/OSI.....	38
Tabela 3 - Modos de Comunicação .....	39
Tabela 4 - Parâmetros do Wireless M-Bus.....	41
Tabela 5 - Tabela dos nós (8:00h) .....	49
Tabela 6 - Tabela das tubagens(8.00h).....	50

## *Lista de Siglas*

ZMC – Zona de Monitorização e Controlo

DMA – District Meter Area

ZMT – Zona de Monitorização e Telemetria

IoT – Internet of Things

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Água Residual

SAA - Sistemas de Abastecimento de Água

EG – Entidades Gestoras

CMN – Caudal Mínimo Noturno

WSN – Wireless Sensor Network

SNMP - Simple Network Management Protocol

RF – Radio Frequency

AMI – Advanced Metering Infrastructure System

SCADA – Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados

NRZ - Non-Return-to-Zero

FSK – Frequency Shift Keying

GFSK- Gaussian Frequency Shift Keying

WM-Bus – Wireless Metering Bus

## *Glossário*

Adutora - estrutura que pertence à da rede de abastecimento de água, que contém um conjunto de tubagens para transporte de líquidos.

ZMC – Zona delimitada que permite às entidades gestoras dos sistemas de abastecimento de água controlarem e monitorizarem os caudais e as perdas no sistema, sendo por isso essencial que a ZMC intercete os medidores de caudal e as válvulas de seccionamento.

Válvulas de seccionamento - Válvulas que conseguem isolar uma determinada seção de tubagens, em caso de avarias, inspeção ou limpeza.

Caudal – Volume de água que passa numa dada seção, por unidade de tempo.

Reservatório – Fonte contínua de água que abastece uma determinada zona (ZMC).

Tanque – Ao contrário do Reservatório, este apenas tem a capacidade de armazenar e distribuir água.

Fuga – Por exemplo, quando existe um pequeno buraco nas tubagens, em que a “fuga” é muito pequena, pinga a pinga.

Rotura – Quando a fuga se torna maior, com a capacidade de inundar um espaço.

## ***1. Capítulo I – Introdução***

### ***1.1. MOTIVAÇÕES E ENQUADRAMENTOS***

As perdas de água constituem um dos principais problemas para as Entidades Gestoras de Água, registando valores que chegam aos 20% em uso urbano e industrial, e aos 35% em uso agrícola. [44]. A água para poder chegar ao consumidor passa por diversos processos, desde a sua captação, tratamento e armazenamento em reservatórios.

Durante estes processos e também na zona de consumo pela população, podem existir perdas significativas de água. Para mitigar estas perdas é indispensável o uso de equipamentos capazes de sensorizar e monitorizar o que acontece durante estes processos, tais como medidores de caudal ou medidores de pressão, identificando assim se houve alguma fuga numa determinada seção da rede.

O presente projeto trata da implementação de um sistema de recolha e consolidação primária de informação, com vista a alimentar um sistema de gestão de recursos na área do abastecimento de água. Assim, com a conceção e implementação do sistema proposto no presente projeto espera-se encontrar respostas para questões como:

- Criação de uma rede de recolha de informação de caracterização do funcionamento de sistemas de abastecimento de água;
- Definição das variáveis físicas sujeitas a recolha de valores;
- Implementação de uma rede de objetos IoT para recolha e análise da informação referida;
- Sistema de processamento periférico da informação recolhida, organizando os dados de forma a poderem alimentar um sistema de tomada de decisão de gestão do sistema de abastecimento de água;
- Conseguir, com o sistema objeto do presente projeto, otimizar o funcionamento da rede de abastecimento, nomeadamente diminuir as perdas no sistema.

## ***1.2. ESTRUTURA DO RELATÓRIO***

Para haver uma melhor compreensão do desenvolvimento do trabalho, o presente relatório foi estruturado em 6 capítulos.

### **Capítulo 1**

É feita uma primeira abordagem à temática, abrangendo de forma geral temas como as perdas de água e a relevância da sensorização, mostrando a importância do estudo desta temática. É também apresentado um enquadramento do trabalho, assim como os seus objetivos e motivação.

### **Capítulo 2**

Neste capítulo são apresentados projetos semelhantes, incluindo uma breve descrição dos mesmos.

### **Capítulo 3**

São apresentados os fundamentos teóricos necessários à compreensão da temática e desenvolvimento do trabalho, como o ciclo da água e os diferentes processos que a mesma tem de passar para chegar aos consumidores. A relação com a sensorização (IoT – Internet of Things), destaca-se pela importância de monitorizar e posteriormente haver a capacidade de mitigar as perdas de água.

### **Capítulo 4**

Será explorado o desenvolvimento de uma aplicação IoT, de forma a implementar uma rede de objetos IoT para recolha e análise da informação referente aos sistemas de abastecimento de água, com o objetivo de otimizar o funcionamento da rede, nomeadamente diminuir as perdas no sistema.

### **Capítulo 5**

Capítulo que será uma extensão do anterior, com a criação de uma simulação da rede desenvolvida no software EPANET, com os componentes necessários para simular uma zona de abastecimento, e posteriormente recolher os seus dados, analisando-os em forma de tabela e gráfico, mantendo o foco no tema das perdas de água. Para além disso, será desenvolvido um estudo da viabilidade na parte técnica, económica, ambiental e social e ética.

## **Capítulo 6**

São apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado, como também as considerações/recomendações futuras para trabalhos nesta área de estudo.

## *2. Capítulo II – Projetos Semelhantes*

### 1. Implementation of Wireless Sensor Network for Real Time Overhead Tank Water Quality Monitoring.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7976852>

Descrição: A água é uma fonte vital para uma vida saudável. A maioria das infecções e doenças acontecem devido à água contaminada, que leva a milhões de mortes todos os anos. É necessário estabelecer um sistema de monitorização da qualidade da água para verificar se é adequada ao uso pretendido. Este artigo apresenta a aplicação da tecnologia Wireless Sensor Network (WSN) para monitorização online da qualidade da água em tempo real. A Rede de Sensores Sem Fio (Wireless Sensor Network - WSN) para uma monitorização da qualidade da água é composta por um número de nós de sensores com capacidade de rede que são implementados em diferentes Reservatórios Elevados de uma área. Cada nó do sensor consiste em um microcontrolador Arduino, módulo Xbee e sensores de qualidade da água. As sondas do sensor devem medir continuamente os diferentes parâmetros de qualidade da água, como o pH ou a temperatura. Os parâmetros são medidos em tempo real pelos sensores e enviam os dados para o data center [3].

### 2. Water parameter analysis for industrial application using IoT.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7912090>

**Descrição:** Hoje em dia, haver uma monitorização da qualidade da água é uma necessidade essencial para analisar a condição da água em termos de suas características físicas e químicas. O sistema tradicional de monitorização da qualidade da água é inflexível para se adaptar rapidamente às mudanças repentinas, bem como o processo para tal acontecer é demorado, sendo difícil de obter valores dos parâmetros da água em tempo real. Para superar estes desafios, um novo sistema foi implementado para monitorizar a qualidade da água contaminada, adaptando novas tecnologias, como IoT(Internet das

Coisas), WSN (rede de sensores sem fio) e padrões de comunicação. A IoT e a WSN têm recebido atenção em todas as aplicações em tempo real (sistema de produção, sistema de saúde e sistemas de monitorização industrial) de forma a coletar dados sobre aspetos físicos usando o protocolo de comunicação padrão. A análise do desempenho dos sistemas propostos é realizada através da recolha de dados de parâmetros de água de diferentes elementos de deteção, como densidade, temperatura e pH [4].

### 3. Definição e Validação de Zonas de Monitorização e Controlo de perdas de água num Sistema de Abastecimento em Alta.

<http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/10639>

**Descrição:** A água, recurso essencial à vida, apresenta-se como um fator fulcral ao desenvolvimento socioeconómico de uma sociedade, demonstrando a sua importância como recurso estratégico e estruturante. Desta forma, compreende-se a necessidade e crescente preocupação das entidades responsáveis, pelo sector da água, na redução, dentro do possível, dos volumes de água perdidos nos sistemas de abastecimento. Para controlo e redução das perdas de água é imprescindível um processo de monitorização de todo o sistema de abastecimento de água, desde o processo de captação até à sua distribuição ao utilizador, permitindo, desta forma, um auxílio na localização das situações que carecem de uma maior atenção, para assim colmatar essas lacunas. O sucesso da monitorização encontra-se, todavia, dependente da fiabilidade dos dados medidos pelos equipamentos de medição, nomeadamente dos caudalímetros e dos medidores de nível. Em complementaridade às análises realizadas, foram definidas zonas de monitorização e controlo (ZMC) com vista a um maior controlo dos caudais e perdas no sistema. Os resultados obtidos, permitiram o apuramento do funcionamento dos principais equipamentos de medição, que revelou que as perdas verificadas são, na sua maioria, aparentes, e resultantes de diferenças de leitura dos equipamentos de medição. Não obstante, refira-se que, em alguns casos, as análises efetuadas demonstraram-se inclusivas, fruto do número de variáveis que atuam em simultâneo, na avaliação de balanços hídricos e/ou das condições em que as análises se sucederam e, em que não foi possível a sua alteração [5].

4. Redução de perdas reais de água em Sistemas de Abastecimento de Água. Definição de critérios para delimitação de Zonas de Medição e Controlo.

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/74771/2/32456.pdf>

**Descrição:** Este trabalho tem como principal objetivo a definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controlo (ZMC) com vista à redução de perdas reais de água em sistemas de abastecimento de água (SAA). A redução de perdas reais de água em SAA, até níveis aceitáveis, constitui um dos principais objetivos das Entidades Gestoras (EG) responsáveis pelo serviço público de abastecimento de água. Neste contexto, a implementação de ZMC é um dos pontos de partida para que se atinja o objetivo. A subdivisão da rede em zonas discretas com limites rigorosamente identificados, cujas entradas são devidamente controladas para se obterem os consumos, não permite um controlo direto das perdas, mas facilita a deteção, caracterização e distribuição espacial das mesmas. O estudo do caudal mínimo noturno (CMN), depois da setorização, também permite constatar a existência ou não de fugas ou usos indevidos de água, pois durante este período praticamente nenhum consumidor se encontra no ativo. Com isto é possível estabelecer estratégias de controlo de perdas, definir prioridades de intervenção na rede e até gerir as pressões na rede em função dos consumos diários [6].

5. Wireless Sensor Networks for Water Loss Detection

[https://www.researchgate.net/publication/267680248\\_Wireless\\_Sensor\\_Networks\\_for\\_Water\\_Loss\\_Detection](https://www.researchgate.net/publication/267680248_Wireless_Sensor_Networks_for_Water_Loss_Detection)

**Descrição:** O Chipre está a enfrentar um problema crescente de escassez de água, sendo que as perdas de água são associadas às ineficiências do sistema de distribuição de água subterrânea não estão apenas a causar perdas de receita para as cidades locais de água, mas também afetam significativamente as reservas nacionais de água. Este artigo visa o desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de redes de distribuição de água que combina sistemas de apoio à decisão analítica e neurofuzzy, sistemas de informação geográfica e redes de sensores sem fio. A metodologia concentra-se na monitorização sustentável de redes de água por meio da aquisição de dados em tempo real e

processamento de sinais de sensores coletados de uma rede de sensores sem fio ad-hoc distribuída [7].

## 6. Evaluation of the Wireless M-Bus Standard for Future Smart Water Grids

[https://www.researchgate.net/profile/Stefano\\_Squartini/publication/236853127\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Wireless\\_M-Bus\\_Standard\\_for\\_Future\\_Smart\\_Water\\_Grids/links/568e2e2608aef987e56698ac/Evaluation-of-the-Wireless-M-Bus-Standard-for-Future-Smart-Water-Grids.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Stefano_Squartini/publication/236853127_Evaluation_of_the_Wireless_M-Bus_Standard_for_Future_Smart_Water_Grids/links/568e2e2608aef987e56698ac/Evaluation-of-the-Wireless-M-Bus-Standard-for-Future-Smart-Water-Grids.pdf)

**Descrição:** As mais recentes tecnologias de redes de sensores sem fio podem fornecer soluções viáveis para executar uma monitorização da rede de água e medição inteligente do seu consumo. No entanto, os nós (sensores) localizados ao longo das tubagens não conseguem ter um fácil acesso às instalações de rede elétrica, para obter a energia necessária. Neste sentido, é de vital importância projetar a arquitetura da rede de forma a exigir uma quantidade mínima de energia. Este artigo investiga a adequação do protocolo WM-Bus para possíveis usos futuros em redes inteligentes de água, avaliando a sua transmissão, através de simulações e testes experimentais por meio de protótipos de nós(sensores) [8].

### ***3. Capítulo III – Caracterização***

#### ***3.1 CICLO URBANO DA ÁGUA***

Para a água poder ser consumida, seja em casa, para uso doméstico, nas empresas, para uso industrial ou nos campos para uso agrícola é imprescindível que a mesma passe por diversas etapas. Diariamente são muitos os profissionais que trabalham para garantir que a água chegue com qualidade e em quantidade aos seus clientes e que, depois de usada, possa ser devolvida à natureza em condições ambientalmente seguras. Antes de entrar no aspeto mais tecnológico, com a vertente IoT (Internet of Things), com os diversos aparelhos localizados nos vários setores da rede, com o objetivo de sensorizar os dados, é necessário conhecer como funciona o ciclo da água, e outros pontos importantes tais como a questão das perdas de água, e os diversos equipamentos que podem mitigar / monitorizar a mesma. Para tal a definição de uma área a englobar um determinado espaço (ex. cidade) é indispensável, de forma a ser mais eficiente monitorizar quaisquer dados relativos à água. Essa área tipicamente designa-se por ZMC (Zona de Monitorização e Controlo).

Explicando de forma geral como o ciclo urbano da água funciona, a água começa por ser recolhida no meio hídrico, ou seja, em rios ou barragens (DAM – ver figura abaixo). De seguida, a água segue para as ETA (Estações de Tratamento de Água) onde é tornada adequada para consumo, através de várias fases de controlo de qualidade da água. A partir daí é armazenada em Reservatórios para posteriormente ser distribuída à população [9]. A imagem seguinte mostra como todo o ciclo funciona.

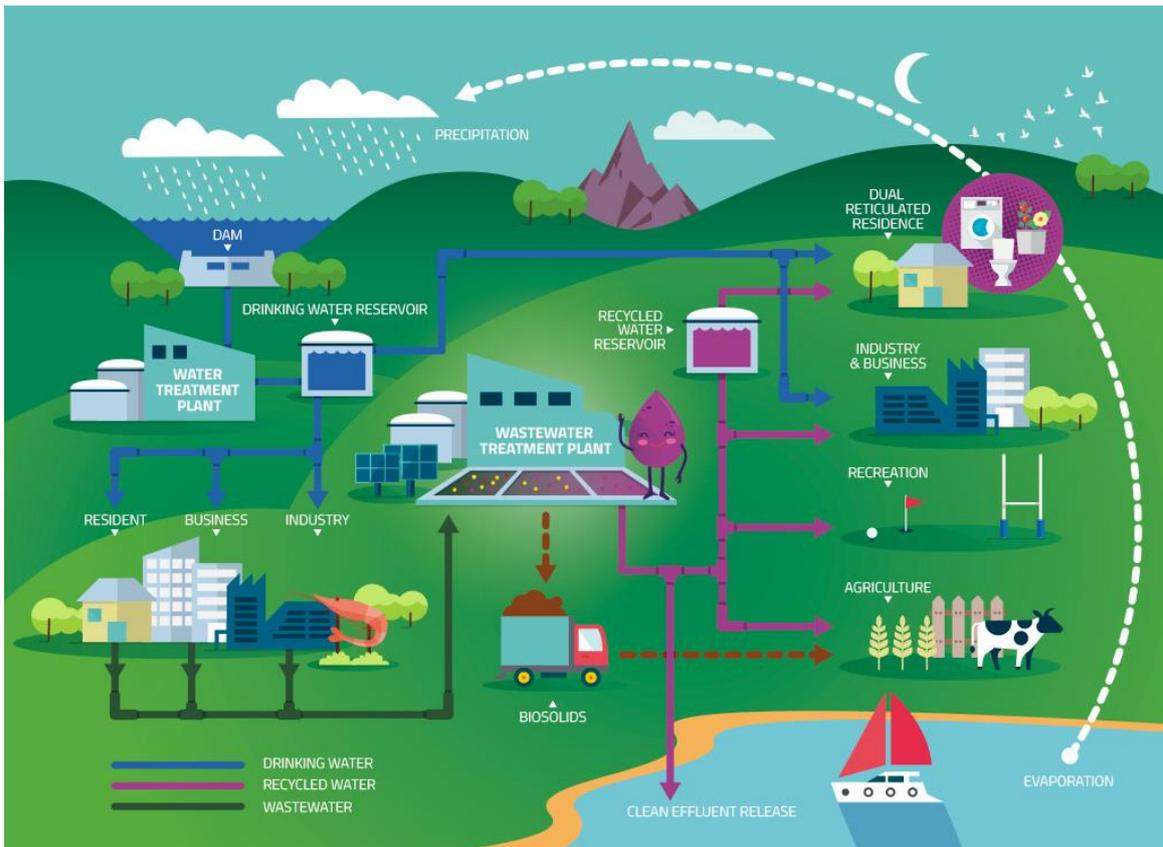


Figura 1 - Ciclo Urbano da água [45]



Figura 2 - Ciclo Urbano da água(fases) (adaptado de [46])

Aprofundando as diferentes fases:

**1. Captação** – A água pode ser captada de duas formas, ou através de rios, albufeiras e barragens, ou no subsolo (águas subterrâneas), nos designados lençóis freáticos, através de furos ou poços, lençóis esses que contêm água devido à humidade e precipitação. Do processo de captação, para o processo de tratamento, na ETA, é sempre necessário usar uma estação elevatória, em que o seu propósito é bombear a água para a mesma chegar à Estação de Tratamento.

**2. Tratamento da Água** – A água, logo após ser captada apresenta várias impurezas / sujidades como lamas, areias, lixos, micróbios e bactérias. Dessa forma, é necessário que a mesma passe por uma Estação de Tratamento de Água (ETA) onde será feita a correção das características físicas, químicas e bacteriológicas, através de várias etapas tornando-a adequada para consumo.

**3. Distribuição** – A água depois de tratada é colocada nos reservatórios e então distribuída para os diferentes usos domésticos, industriais e agrícolas.

**4. Uso da água (Consumo)** – Em cada zona de consumo, é feita a distribuição de água até às torneiras dos consumidores através de uma rede complexa de tubagem e válvulas, garantindo que a água é distribuída em quantidade e com a pressão e qualidade adequadas [9].

Durante este processo, a água tratada é transportada da zona de captação e tratamento (produção) para as zonas de consumo, ficando armazenada em reservatórios que asseguram a continuidade do abastecimento. Na imagem abaixo é possível ver de forma mais gráfica todo o processo:

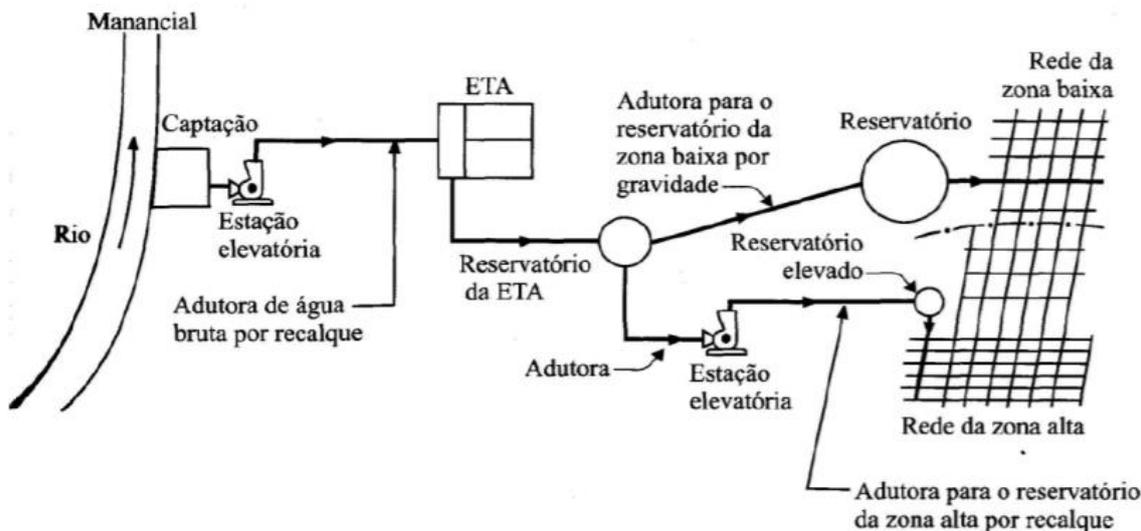


Figura 3 - Sistema Adutor [47]

De destacar o uso das Estações elevatórias, que têm como principal propósito a bombagem das águas, ou seja, transportando-a de um local para o outro. Normalmente a captação é feita à superfície em rios ou albufeiras, sendo naturalmente necessário o uso de bombagens para o transporte da água para pontos mais altos.

Por vezes, no processo de encaminhamento da água até ao reservatório, pode existir a necessidade de levar a água de pontos geograficamente baixos para pontos geograficamente mais altos, utilizando uma estação elevatória para o efeito. Quando esta situação acontece, é designada de Rede de zona alta, tal como se vê na figura abaixo.

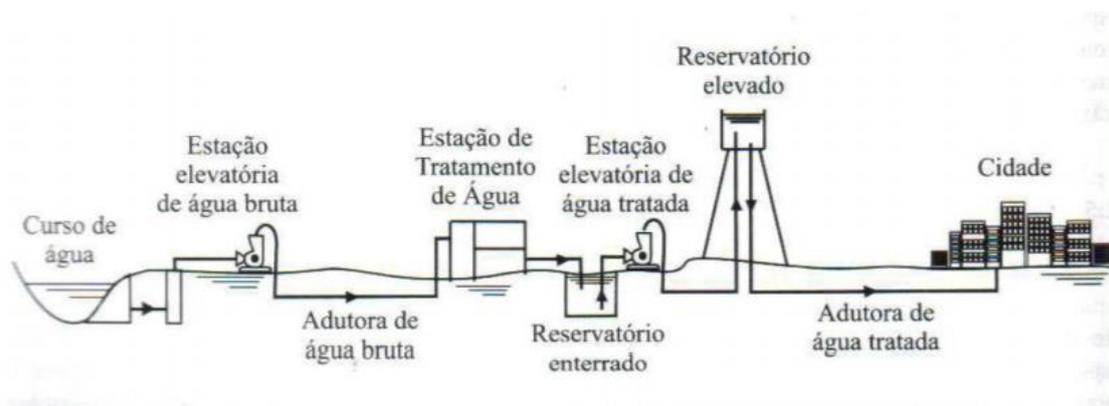


Figura 4 - Rede de Zona Alta [47]

Na rede de zona alta, por vezes, em vez de se utilizar Reservatório elevado, opta-se por usar uma Torre de Pressão, com o objetivo de apenas bombear a água através da Torre,

em vez de se armazenar num Reservatório. A principal vantagem é o seu custo, pois suportar um Reservatório elevado é dispendioso.

Quando não é necessário tal processo, a água naturalmente percorre o caminho do reservatório ao seu destino, para o consumo de utilizadores.

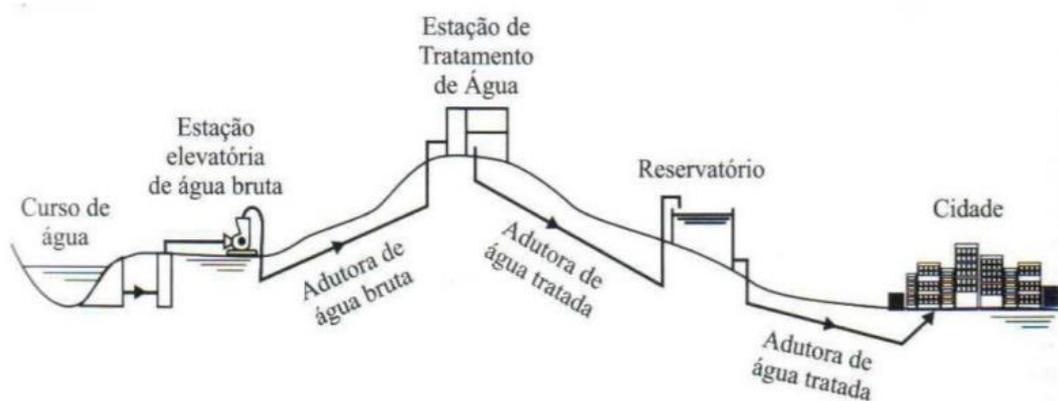


Figura 5 - Rede de Zona Baixa [47]

A parte crítica onde será mais necessário o uso de equipamentos para sensorizar os dados será entre o Reservatório e a Cidade, e já na própria Cidade, que estará sujeita a diversos problemas de perdas de água.

### 3.2 DEFINIÇÃO DA ZMC

Uma ZMC é uma zona criada numa rede de abastecimento de água, localizada tipicamente ao redor de uma cidade de forma a monitorizar o que acontece dentro da mesma, havendo uma zona de medição que requer a instalação de equipamentos de medição de caudal de água, na sua entrada/local de abastecimento, de forma a se contabilizar o consumo interno. Desta forma será possível analisar os dados que vêm do Reservatório (que se localiza fora da ZMC), e posteriormente monitorizar o consumo de água dentro da ZMC, com os equipamentos sensorizados, tal como os contadores ou medidores de pressão.

Dentro de uma ZMC pode haver uma divisão, criando-se sub-ZMCs, com o objetivo de monitorizar mais detalhadamente diferentes locais da rede, pois numa determinada zona da rede pode existir um grande consumidor de uma indústria com um gráfico de consumo

completamente diferente do consumo normal (utilizando a água durante as horas da noite, onde tipicamente o fluxo de água encontra-se parado). É essencial ter noção deste grande consumidor, de forma a não se pensar que poderá ser possíveis perdas de água.

Neste projeto, vai ser implementada uma ZMC simples, com um Reservatório, sendo este uma fonte continua para todos os nós da rede, que precisará de uma bomba para transportar a água para toda a ZMC, devido à sua elevação. No canto da ZMC irá existir também um tanque, sendo este um local para armazenar e distribuir água.

### 3.3. NECESSIDADES DA ÁGUA / PERDAS

Para as Entidades Gestoras de água poderem observar os diferentes consumos ao longo do ano, para os diferentes meses, ao longo do dia e de forma ainda mais específica num determinado instante do dia, é indispensável o uso de equipamentos com capacidade de sensorizar e monitorizar o que acontece nas tubagens, como por exemplo medidores de caudal (caudalímetros), ou medidores de pressão. Desta forma, torna-se exequível a monitorização da água, desde onde está armazenada, nos Reservatórios, o seu percurso até à população e posteriormente o seu consumo, que será monitorizado dentro de uma ZMC (ou DMA, traduzindo para inglês):

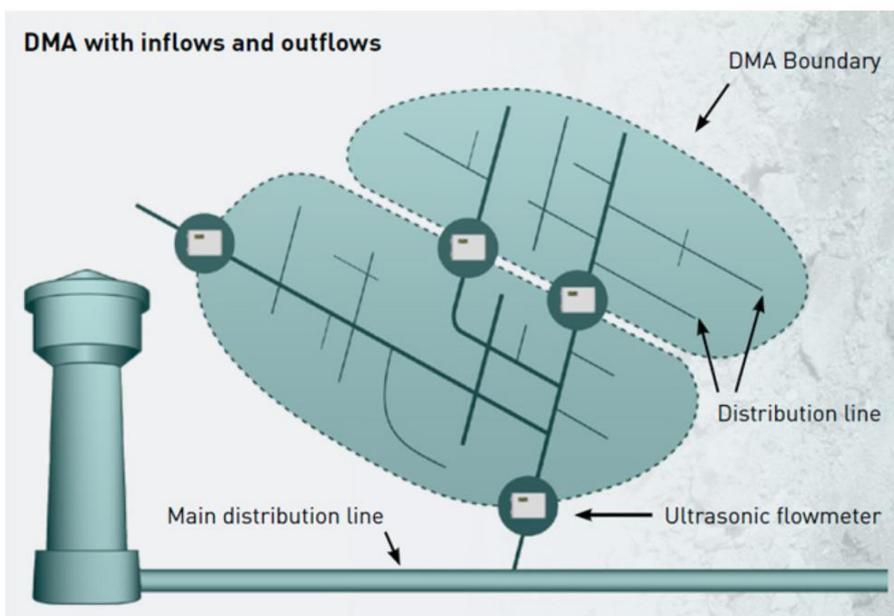


Figura 6 – DMA [48]

Na figura 7 apresenta-se um esquema simplificado de um sistema de abastecimento de água, no qual estão identificados os locais onde, tipicamente, são instalados os medidores de caudal ou contadores de água, como também pontos de telemetria, para posteriormente ser possível executar uma monitorização (a tracejado) com um registo contínuo da pressão e caudal.

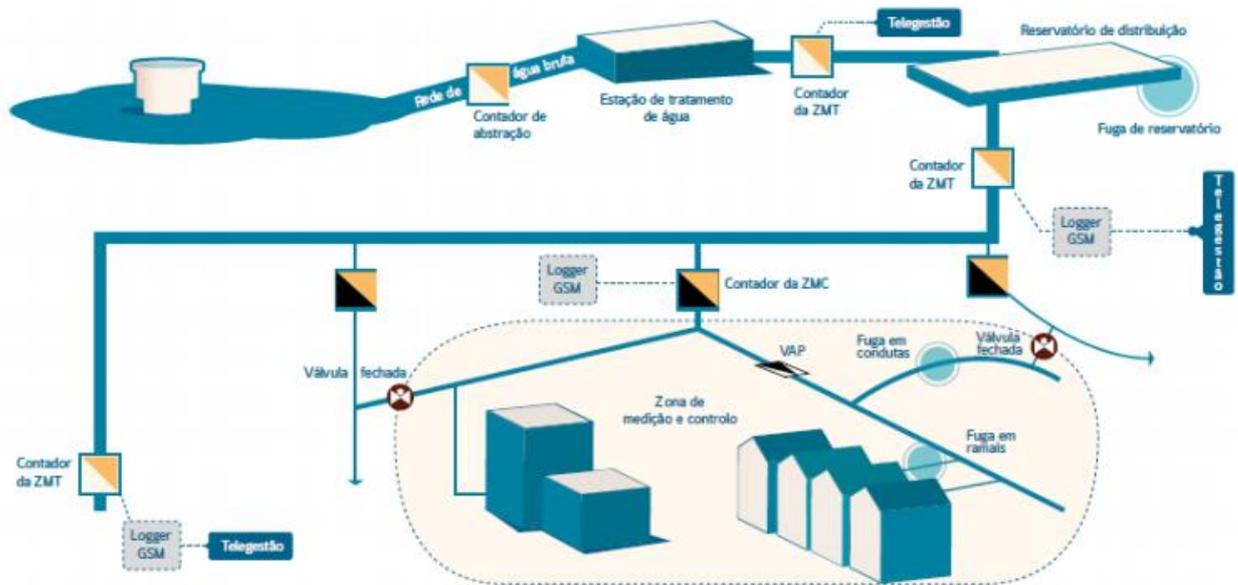


Figura 7- Esquema de monitorização de um sistema de abastecimento [18]

Mas falta entrar na “equação” um problema importante, as perdas de água, que podem acontecer em diversas situações:

- Escoamentos noturnos invulgarmente elevados nas condutas – Durante a noite o consumo é menor, então se houver escoamentos noturnos elevados, é um indicador de perdas de água.
- Abaixamentos anormais das pressões – Está relacionado com o caudal, isto é, o volume de água que passa numa determinada seção. Se a pressão diminuir drasticamente numa seção é porque houve perdas de água.
- Escoamentos nas valetas, coletores pluviais e pavimentos – Um dos indicadores de perdas de água mais difíceis de controlar.

- Caudais noturnos excessivos nos coletores de esgoto – Durante a noite o consumo é menor, conseqüentemente os caudais nas tubagens vão ser menores, e os coletores de esgoto irão ter muito pouco volume de água. Se o inverso acontecer é um indicador de perdas de água.
- Vegetação invulgarmente verde em zonas habitualmente secas – Quando em zonas habitualmente secas, por exemplo, no passeio, começa a crescer vegetação, pode ser um sinal de uma fuga subterrânea.

### ***3.4. SENSORIZAÇÃO (USO DE ZMC)***

Desde a Captação, à ETA, aos Reservatórios e posteriormente à distribuição e consumo, a questão da sensorização é muito importante, principalmente para mitigar a questão das perdas de água, mas não só. O processo começa pela identificação do volume de água bruta que é captada (água dos rios, barragens, etc). De seguida é necessário identificar o volume de água tratada, depois de esta sair da ETA (Estação de Tratamento de Águas) para o Reservatório. Posteriormente, na distribuição da água para a população, é necessário conhecer numa rede subterrânea, com um tamanho específico (normalmente para uma cidade ou um bairro), designada por ZMC (Zona de Monitorização e Controlo) o consumo de água utilizado.

Neste setor de distribuição e consumo dos utilizadores, é onde irão existir as principais perdas, sendo que com o uso da sensorização é possível reduzir as mesmas para níveis de eficiência com valores sustentáveis, para além de controlar se a qualidade da água fica sempre a um nível aceitável, medindo valores como o ph, medindo a pressão da água para a mesma chegar às torneiras com uma pressão aceitável, medindo o caudal (que pode ser analisado de 3 modos, mês, dia ou instante, observando a média ou o valor máximo registado para cada modo), etc.

De destacar que a pressão da água tem uma enorme influência no caudal libertado durante uma fuga, isto é, quanto maior for a pressão maior será o volume de água perdido, sendo a relação entre o caudal e a pressão é quase linear. Assim, gerir as pressões da rede é uma medida básica para a redução das perdas, que pode ter grande eficácia com uma boa

relação custo – benefício. Estas questões apenas se conseguem descobrir com o uso de diversos equipamentos, mais especificamente com o uso de diversos sensores.

Com o uso destes sensores é possível descobrir onde existe uma fuga, evitando ainda maiores perdas de água, com o uso por exemplo de válvulas de seccionamentos fechando a secção afetada da rede para manutenção. É também possível haver sistemas automáticos de alerta para se tomar imediatamente a ação necessária, antecipando assim a deteção das fugas reduzindo as perdas. De destacar que é necessário o planeamento e implementação das ZMC, com o objetivo de abranger a criação de pontos de medição e telemetria. Desta forma é possível executar cálculos estatísticos, com indicadores e apresentações gráficas apelativas, melhorando assim a eficiência na utilização do recurso escasso que é a água.

### ***3.5. ARQUITETURA DE UMA WSN***

Hoje em dia, as WSN (Wireless Sensor Network) já têm a capacidade de operar em diferentes sistemas e ambientes, desde áreas geograficamente maiores ou mais pequenas. São utilizadas em diversas aplicações, como construção de edifícios, monitorização de tráfego de trânsito, análises ambientais, saúde, tempo, e muitas outras. Estas redes podem mudar a forma como as pessoas interagem com o meio ambiente, aumentando a sua qualidade de vida, reduzindo os recursos naturais (água, óleo e gás), otimizando ao mesmo tempo o seu uso.

De forma a ser possível a monitorização e sensorização é necessário definir o tipo de rede utilizada. O conceito de IoT tem sido desenvolvido em paralelo com o das redes sem fios de sensores. As WSN tratam da componente de comunicação dos objetos inteligentes da IoT, usados tipicamente para monitorização e controlo de fenómenos físicos, sendo compostas por um elevado número de nós.

Para alcançar o objetivo deste trabalho, é necessário conhecer as características do protocolo para se poder estudar um cenário de rede realista. O foco está na necessidade de definir um modelo adequado para o canal de comunicação do subsolo para o solo, a fim de estimar adequadamente o desempenho de uma transmissão sem fios de um nó (sensor) para uma gateway, tendo em conta os requisitos dos sensores, que se caracterizam pela pouca capacidade de recursos.

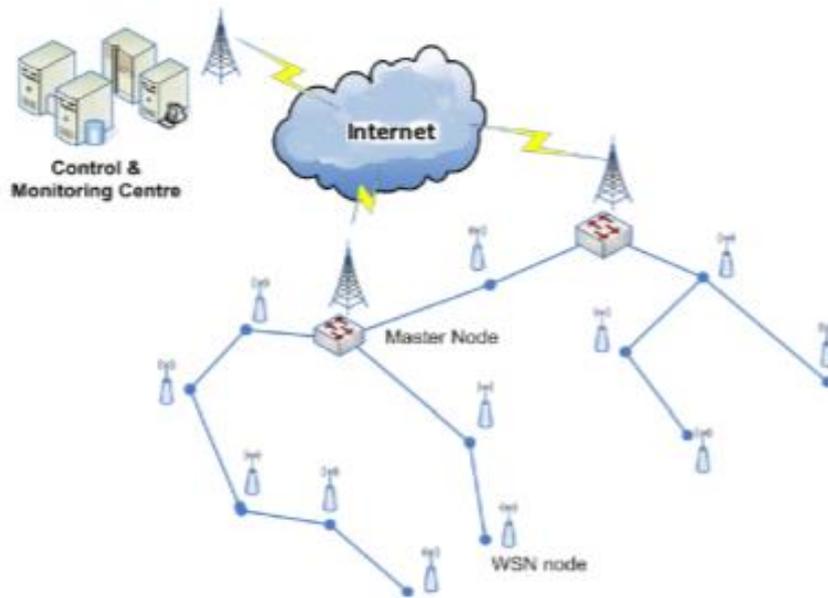


Figura 8 - Exemplo da arquitetura de uma WSN [8]

### 3.5.1 TOPOLOGIA HIERÁRQUICA

Tipicamente os sensores são colocados para fins industriais de água, gás ou eletricidade, tendo uma monitorização contínua e confiável. Uma arquitetura de comunicação para AMI é baseada numa topologia hierárquica, tal como se vê na figura acima. Os nós (WSN nodes) são conectados aos principais (Master nodes), atuando como gateways, que por sua vez coletam dados, enviando-os para um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), onde os dados são armazenados e processados.

No local mais baixo da hierarquia da rede, os nós, ou “leaf nodes”, são capazes de desempenhar transmissões de curto ou médio alcance, com um baixo consumo de energia, enquanto que os Master Nodes estão equipados com a capacidade de transmissão de longo alcance, tipicamente habilitadas por um modem GSM/GPRS.

Cada Master Node é responsável pela coleção e organização dos dados gerados a partir dos diversos nós folha, dados esses que devem ser entregues num SCADA, que pode estar localizado a vários km, sendo por isso importante a capacidade de transmissão de longo alcance. No SCADA, os dados são processados para identificar possíveis falhas na rede de distribuição, em tempo real. A escolha dos componentes individuais, especialmente para os diversos nós remotos deve ser executada com o objetivo de reduzir as operações de manutenção ao mínimo.

### 3.6. INTRODUÇÃO AO PROTOCOLO WIRELESS M-BUS

A partir do modelo anterior, é estimado o alcance máximo para cada sensor. A tecnologia de comunicação é baseada no IEEE 802.15.4/ZigBee, na banda de 2.4GHz, largamente utilizado em redes com sensores de pouca potência, e o Wireless M-Bus (WM-Bus), um protocolo recente proposto pelo Grupo OSM [1], para cenários de medição, e leitura remota de medidores de gás, água e eletricidade. O protocolo Wireless M-Bus especifica o link comunicação RF (Radio Frequency) entre os medidores e os dispositivos responsáveis pela coleção dos dados, estando-se a tornar amplamente aceite na Europa para medição inteligente e aplicações AMI (Advanced Metering Infrastructure) (Figura abaixo). Este protocolo foi originalmente direcionado para operar apenas na banda de 868Mhz, que oferece um bom equilíbrio entre o alcance da frequência e o tamanho da antena. Recentemente foram adicionadas duas novas bandas (169MHz e 433MHz), com soluções de alcance e transmissões maiores devido a menores perdas na sua trajetória, permitindo uma redução da potência de transmissão, principalmente a de 169Mhz.

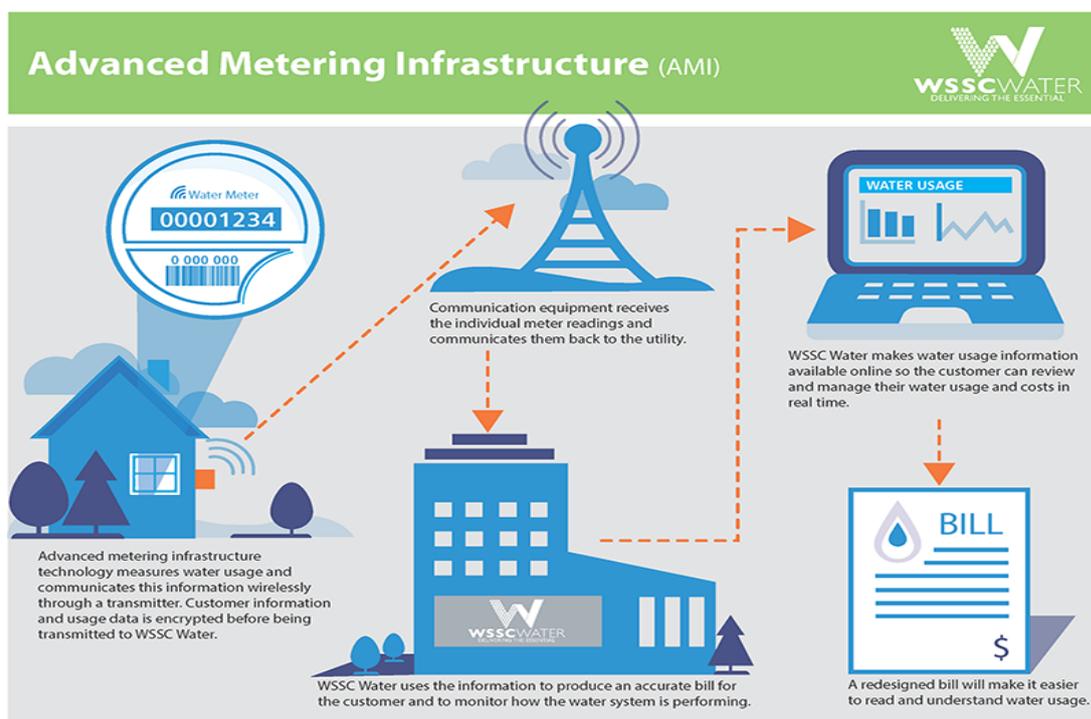


Figura 9 – AMI - Advanced Metering Infrastructure [50]

O protocolo WM-Bus favorece topologias de rede assimétricas com baixo custo ou baixo consumo de energia, com dispositivos de medição de um lado e “data collectors” com alto desempenho do outro. Atualmente, apenas as topologias ponto-a-ponto ou estrela podem

ser suportadas. Para além disso, o aumento da confiabilidade no desenvolvimento tecnológico para medição e o aumento significativo na vida útil das baterias contribuiu para a aplicação de sistemas de telemetria domiciliar. A arquitetura destes sistemas é baseado numa topologia hierárquica, como podemos ver na imagem abaixo.

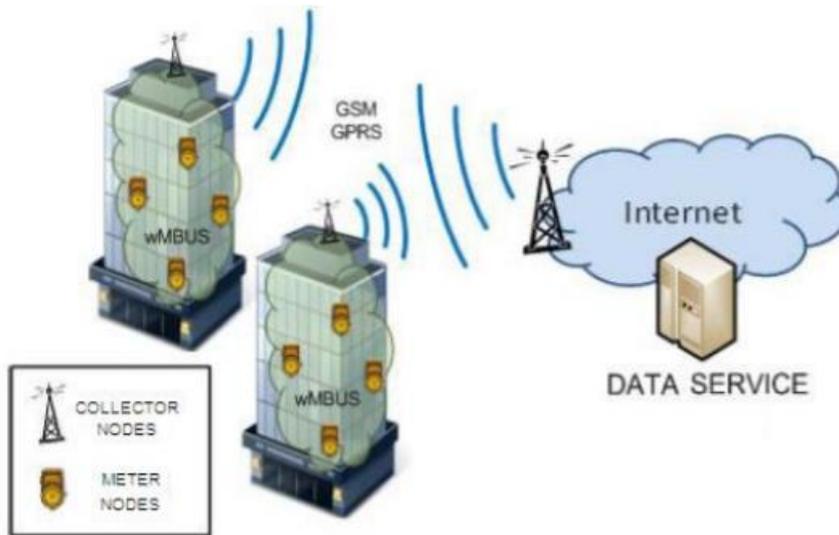


Figura 10 - Arquitetura de um sistema de Telemetria [49]

A topologia hierárquica já explicada acima têm de ter em conta diversos fatores. As transmissões de curto/médio alcance como as realizadas pelos nós sensores, requerem um consumo mínimo de energia, tipicamente fornecido por baterias. Ao mesmo tempo, para limitar os custos globais relacionados com a implementação da rede, o número de nós deve ser mantido limitado. Por estas razões, o protocolo WM-Bus é uma boa solução, com os requisitos de energia devido às transmissões rádio, e o alcance que permite limitar o número de sensores localizados na rede.

### **3.7. COMUNICAÇÃO COM OS SENSORES NAS TUBAGENS**

Para haver a comunicação com os sensores é necessário saber como funciona todo o sistema. Primeiramente, os sensores estão guardados em caixas de visitas (ex.tampas), não estão enterrados tal como as tubagens.

A tubagem está enterrada mas quando existem sensores ou órgãos de manobras existe uma tampa que se levanta e aí estão localizados os sensores. O que normalmente acontece é que quando se abre essas tampas, dentro está uma vareta que pode ter vários metros, pois se a tubagem está enterrada a x metros, é necessário haver uma vareta para ser possível a comunicação.

Existem também órgãos de manobra de ação remota que geralmente não estão soterrados, com uma interface mais simpática para o utilizador, pois localizam-se nas ruas, acima das tubagens e não nas caixas de visita, paralelas às tubagens.

Mesmo que os sensores estejam enterrados, como estão localizados nessa caixa de visita que está protegida, existe uma antena que tem um ponto para comunicar.

## ***4. Capítulo IV – Realização***

Um sistema IoT pode-se basear em mais que uma portadora. Uma portadora é a onda de propagação de informação, isto é, pode ser ZigBee, Lora, NarrowBand-IoT(NB-IoT), SigFox, etc. A decisão de utilização de cada uma depende do cliente. Por exemplo, uma entidade gestora implementou uma rede Lora, então não faz sentido utilizar qualquer uma das outras. Se o cliente não tiver nada implementado, é explorada as melhores opções em conjunto com um parceiro de telecomunicações, como Vodafone, NOS, MEO, etc.

Ex. clientes criam rede NB-IOT, com SIM cards, ou seja, é como se fosse GMS, ou GPRS ou 3G, isto é, coloca-se o SIM card num dispositivo MODEM, que vai receber inputs, que podem ser de informação ou controlo. Pois a função de um Modem é receber um pacote, analisa-lo e dizer que o mesmo tem de ser entregue em determinada localização.

Em termos de funcionalidade, o Modem recebe um pacote que é NB-IoT, desencapsula-o para depois o entregar para uma porta X, que será o sensor. Quando tal acontece, o sensor muda de estado.

### ***4.1. COMO É QUE TODO ESTE SISTEMA ACONTECE?***

Tipicamente, é necessário haver soluções que gastam energia, para os sensores estarem constantemente em funcionamento, o que é um problema em sistemas que envolvem água.

Concentrando-nos em dois problemas: o problema da água, e o problema da eletricidade. Na eletricidade, quando colocamos um sensor, este tem acesso à eletricidade. Não existe o problema de como ir buscar energia para poder comunicar. Para além disso, existem

também as linhas elétricas para comunicar (PLC Prime). Ou seja, pode-se usar as linhas elétricas e existe energia.

Na água, existe um problema: não existe energia nem linhas de comunicação. Então é necessário criar uma linha virtual como o Wi-Fi, ou linhas de comunicação sem fio. Mas persiste outro problema, o da energia. A solução passa pela utilização de um gerador. Primeiro é necessário colocar uma caixa de visita nas tubagens, que contem ultra-sensorização, isto é, medidores de pressão, de caudal, qualidade da água (ph, cloro), etc. E depois o uso de um gerador, que é colocado numa tubagem paralela à principal, num pequeno desvio. Este gerador vai alimentar uma bateria, e os sensores localizados na tubagem principal são alimentados por essa bateria. Posteriormente existe um MODEM, ou um Logger, que funciona por exemplo com NB-IoT, que vai receber todas as informações, enviando-as para a Entidade Gestora.

Isto é, vai existir um pequeno desvio paralelo à tubagem original, onde estará o gerador para gerar energia. Esta pequena seção é controlada com válvulas de corte, com a utilização de um filtro para garantir que esteja constantemente a passar pouco volume de água, mas o suficiente para o gerador funcionar e ser possível fazer a leitura dos sensores.

Com este projeto pretende-se simular um sistema que consiga detetar onde acontecem as perdas de água, e onde podem acontecer perdas futuras, conseguindo assim controlar esta questão. Isto com o uso de sensorização, quanto mais sensores houver na rede, mais informação será disponibilizada pela mesma.

#### ***4.2. DADOS MEDIDOS***

Os focos principais serão na pressão e caudal, que estão diretamente ligados. A relação entre o caudal e a pressão é quase linear, uma vez que, numa primeira fase de atuação, uma redução de 10% na pressão implica uma redução de 10% no caudal libertado. Desta forma, gerir as pressões da rede é uma medida básica para a redução de perdas, que pode ter grande eficácia com uma boa relação custo – benefício. Se a pressão num determinado setor da rede diminuiu drasticamente, então é um claro indicador de perdas de água. Outros dados serão acerca da qualidade da água, como o cloro e o pH, dados importantes para garantir que a água é potável.

O importante no tema da comunicação com os sensores é não utilizar apenas uma só carrier, haver uma rede mista. Isto é, haver uma solução que encapsula pacotes, e posteriormente existir “daemons” que vão transformar esses pacotes nas diferentes carriers. Podem existir diversas tecnologias como GSM, 3G, NB-IoT, Lora, etc, e consoante para onde se for comunicar, e o que o cliente suportar seja para A,B,C ou D, o pacote passa pelo daemon, é encapsulado e posteriormente enviado. Tanto para a minha solução, como para os sensores é completamente agnóstico. Com este sistema existe a garantia que pode haver comunicação de qualquer forma, com antenas e acesso ao meio (caixas de visita, com sensorização).

#### ***4.3. COMO SE DETETAM ROTURAS?***

Localmente, existem dispositivos que detetam uma mancha de água e fugas, designado de hidrógrafo. O objetivo será transformar esta deteção com os sensores que estão afastados, de maneira a que seja possível inferir que com os dados recolhidos se existe alguma anormalidade. Por exemplo, existe um tubo com um contador a montante e a jusante. A montante mediram-se 10 l/s, a jusante mediram-se 9 l/s, não existe nenhuma entrega de água pelo meio, ou seja, existe uma rotura. Com estes dois contadores delimitou-se a área de pesquisa.

Tipicamente a área de pesquisa é uma rede, mas não uma rede de sensores, isto é, deteta-se num raio de 100 metros diversas tubagens, onde existe uma fuga. Posteriormente coloca-se uma equipa no terreno para andar à procura da fuga, com a ajuda dos hidrógrafos. Um dos problemas de uma rede está no cadastro da rede, que é antigo. O que pode acontecer é que no cadastro uma tubagem passa por determinado local, mas na realidade, devido principalmente a obras feitas no local, este tubo pode passar por outro sítio.

Devido a estes fatores, não se pode olhar para este projeto apenas como um problema de IT (Information Technology), que já foi explicado acima como funciona, mas também é necessário ter em conta a história que está em volta para resolver o problema das perdas de água.

#### 4.4. WIRELESS M-BUS

O SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), que é um sistema para monitorizar e supervisionar as variáveis dos dispositivos inteligentes deve poder comunicar não apenas com pedido resposta, mas também com pedidos “push”.

Tipicamente, o protocolo SNMP, muito utilizado para troca de comunicação, não é utilizado nestes equipamentos. Em vez deste, é utilizado o protocolo ModBus, ou Wireless M-Bus, que é uma versão do anterior, mas sem fios. O seu sistema seria o seguinte:

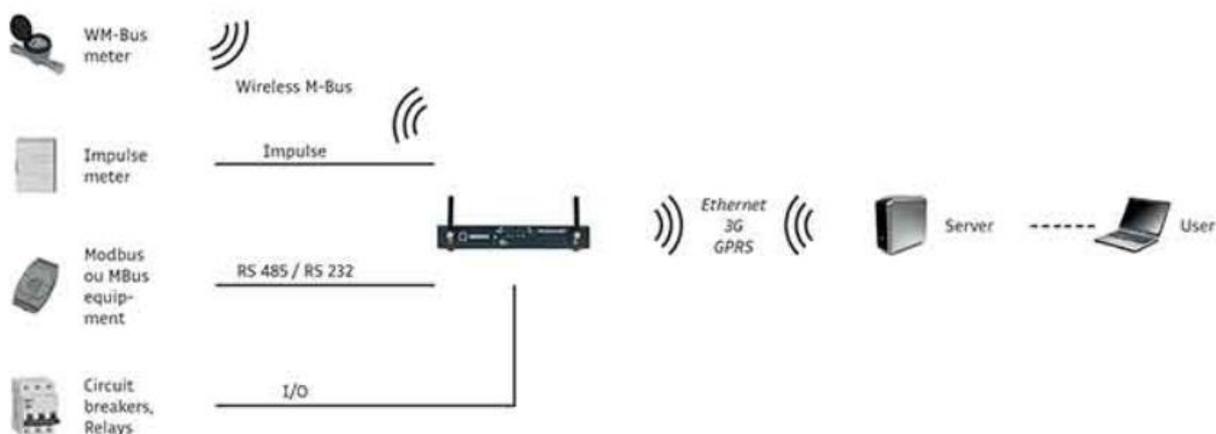


Figura 11 - Wireless M-Bus [37]

Este protocolo funciona a partir de uma configuração e interface local que descreve os equipamentos supervisionados (Wireless M-Bus sensors, serial ports, I/Os, Modbus, M-Bus). Posteriormente, o gateway irá pesquisar e coleccionar os dados associados a cada equipamento. Tipicamente os dados são formatados (em xml ou csv) e enviados periodicamente através da rede GPRS ou Ethernet para o Sistema de Informação. Este protocolo tem como uma das principais funções a leitura remota dos diversos medidores,

tais como medidores de caudal ou pressão.

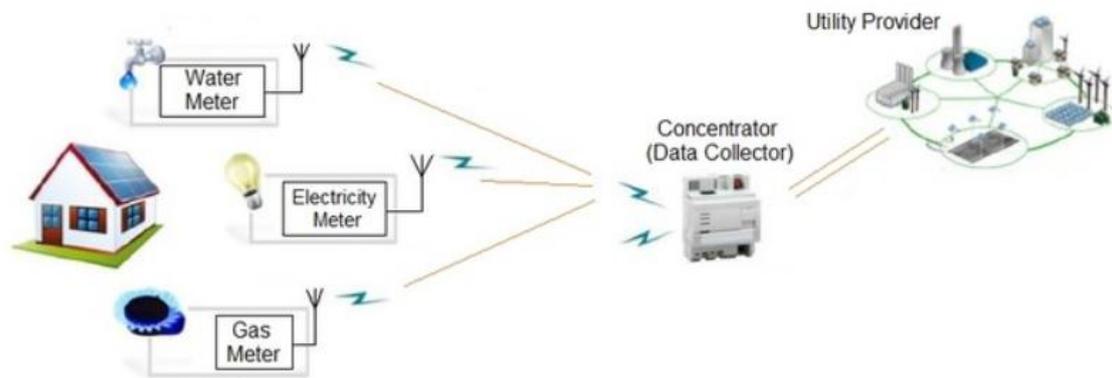


Figura 12 - Wireless M-Bus [51]

Para além disso, a comunicação é feita entre o medidor e outros componentes. Os componentes do sistema incluem dispositivos de leitura e coletores de dados. Estes dispositivos podem ser estacionários ou móveis. A figura abaixo mostra o diagrama de blocos do sistema de comunicação Wireless M-Bus.

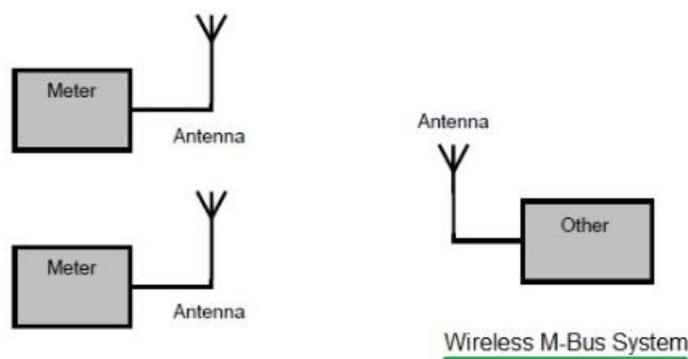


Figura 13 - Wireless M-Bus comunicação [38]

#### 4.5. ARQUITETURA

O modelo de referência OSI fornece uma base para garantir que as informações de vários sistemas de fabricantes, com uma arquitetura diferente possam ser trocados e interpretados de acordo com um procedimento padrão. Este modelo organiza as funções

de comunicação em sete camadas, cada uma das quais tem uma conexão virtual com a camada respectiva de comunicação do emissor ou receptor. Apenas na camada 1 existe uma conexão física para troca de sinais.

O protocolo WM-Bus é compatível com o modelo ISO/OSI, mas apenas as camadas 1, 2 e 7 são implementadas.

OSI Model		
	Layer	Data unit
<b>Host layers</b>	7. Application	Data
	6. Presentation	
	5. Session	
	4. Transport	Segments
<b>Media layers</b>	3. Network	Packet/Datagram
	2. Data link	Bit/Frame
	1. Physical	Bit

Tabela 1 - Camadas do Modelo OSI [40]

- **Physical Layer** – A conexão básica entre os parceiros de comunicação ocorre nesta camada. São determinados diversos pontos como o cabo usado, as distâncias envolvidas, a forma como os bits são representados, a frequência utilizada, etc. O padrão IEEE 802.15.4 é o sugerido, sendo uma boa opção para redes de sensores sem fios com baixo custo e consumo de energia, tendo também em conta o alcance da comunicação de forma a aumentar a vida da bateria.
- **Data Link Layer** – Esta camada é responsável por assegurar a confiabilidade de uma conexão entre dois participantes. Para este propósito, o protocolo desta camada determina os métodos para proteger as transmissões, a estrutura do telegrama, os métodos de acesso ao meio de transmissão e a sincronização e endereçamento dos participantes.
- **Network Layer** – A camada de rede compromete a escolha e implementação da melhor rota de transmissão na rede entre as duas partes da comunicação, fornecendo o serviço de Routing para a camada de transporte. Esta função é de particular importância quando diferentes redes precisam de ser conectadas a partir de gateways.
- **Transport Layer** – A camada de transporte representa a fronteira entre as camadas orientadas para a aplicação, 5 a 7, e as camadas orientadas ao transporte,

de 1 a 4. A sua função inclui orientar a informação da rede, controlando o fluxo de informações e o agrupamento em pacotes individuais.

- **Session Layer** – A camada de sessão fornece os procedimentos para o começo, o progresso e o fim de uma “sessão” de comunicação. Inclui também o controlo do diálogo entre sistemas, isto é, a determinação das respetivas prerrogativas de transmissão.
- **Presentation Layer** – Os dados da aplicação são convertidos na camada de apresentação num formato de dados em que o receptor possa interpretar. Esta camada, portanto, implementa a correspondência do formato de dados e a conversão de códigos.
- **Application Layer** – Esta camada representa o interface entre o sistema e o utilizador. Oferece ao utilizador um serviço que lhe permite trabalhar facilmente com o sistema.

#### 4.5.1. M-BUS NO MODELO OSI

Como o M-Bus não é uma rede, e portanto não precisa, entre outras coisas, das camadas de transporte ou sessão, os níveis 4 a 6 do modelo OSI estão vazios. Portanto, apenas as camadas física, ligação de dados, rede, e aplicação são fornecidas com funções.

A pilha de protocolos mostrada na tabela abaixo descreve ainda uma camada de rede que só existe com dispositivos que suportam o uso de um router sem fios M-Bus.

<b>ISO/OSI Layer</b>	<b>Standard</b>	<b>Description</b>
<b>Application</b>	EN 13757-3	M- Bus Dedicated Application Layer
<b>Network</b>	EN 13757-5	Wireless relaying (optional for meters supporting the router approach)
<b>Data Link</b>	EN 13757-2 or EN 13757-4	Physical and link layer or Wireless meter readout (Radio meter reading for operation in SRD bands)
<b>Physical</b>	EN 13757-2 or EN 13757-4	Physical and link layer or Wireless meter readout (Radio meter reading for operation in SRD bands)

Tabela 2 - Pilha do protocolo WM-Bus mapeado com as camadas ISO/OSI [40]

#### 4.6. MODOS DE COMUNICAÇÃO

Dependendo da aplicação, existem várias combinações de modos de comunicação, tanto para os coletores de dados como para os dispositivos de medição. Estas definições determinam o fluxo da comunicação e a configuração do canal de rádio. A camada física padrão define 6 modos principais de forma a permitir uma otimização no consumo de energia, suportando diferentes casos, para além de especificar modos para Routing e tempo de sincronização entre dispositivos.

WM-Bus PHY Mode	Description
S-Mode(Stationary Mode)	S1-Mode(One way) S1m-Mode(One way) S2-Mode (two way)
T-Mode (Frequent Transmit Mode)	T1-Mode (one way) T2-Mode(two way)
R-Mode (Frequent Receive Mode)	R2-Mode (two way)
N-Mode (Stationary Mode)	N1 Mode(one way) N2 Mode (two way) N2g-Mode(two way)
C-Mode (Frequent Transmit Mode)	C1 Mode (one way) C2 Mode (two way)
F-Mode (Frequent Transmit Mode)	F1 Mode (one way) F2 Mode (two way)

Tabela 3 - Modos de Comunicação [40]

- **Stationary Mode** (S-868MHz, 32.7 kbps data rate) – deve ser usado para comunicação usando uma bateria. Existem também modos específicos, tal como se pode ver na tabela acima. No modo S2 (comunicação bidirecional), o transmissor requer um ACK, diferente de S1(unidirecional).
- **Frequent Transmit Mode** (T-868MHz, 100 kbps data rate from meter to gateway) – é otimizado para leitura de drive-by (ver figura abaixo). Tal como no modo S, o modo T fornece modos específicos para os dois tipos de comunicação, funcionando da mesma forma em relação ao ACK.

- **Frequent Receive Mode (R-868MHz)** – permite a leitura simultânea de múltiplos medidores. Apenas o modo R2 (bidirecional) é usado, principalmente para gateways e leitura dos contadores em drive-by.
- **Compact Mode (C-868MHz)** – é comparável ao modo T, mas permite um aumento na taxa de transferência de dados. Tal é conseguido usando NRZ(Non-Return-to-Zero) para codificação de linha, que é mais eficiente que o código de Manchester.
- **Frequency Receive and Transmit Mode (F-433MHz)** – otimizado para comunicação de longo alcance, com as possibilidades de comunicação unidirecional e bidirecional.
- **NarrowBand VHF Mode (N-169MHz)** – otimizado para uma transmissão com baixa frequência. Caracteriza-se pelo uso de um repetidor para comunicações de longo alcance. Contém diversos modos, cada um com diferentes características:  
Na mode: 169.40MHz, 4.8 kbps data rate. N2a requer ACK, ao contrário de N1.  
Nc mode: 169.431MHz, 2.4 kbps data rate. N2c requer ACK, N1c não.  
Ng mode: 169.437MHz, 38.4 kps data rate. Necessita sempre de ACK.

e sub-modos:

N1a-f: transmissão unidirecional. O nó transmite regularmente para um ponto de receção estacionário; single hop repeaters são permitidos.

N2a-f: transmissão bidirecional. O nó transmite como o anterior, mas o seu receptor é “autorizado” por um curto período após o final de cada transmissão, acontecendo um lock caso a palavra de sincronização for detetada.

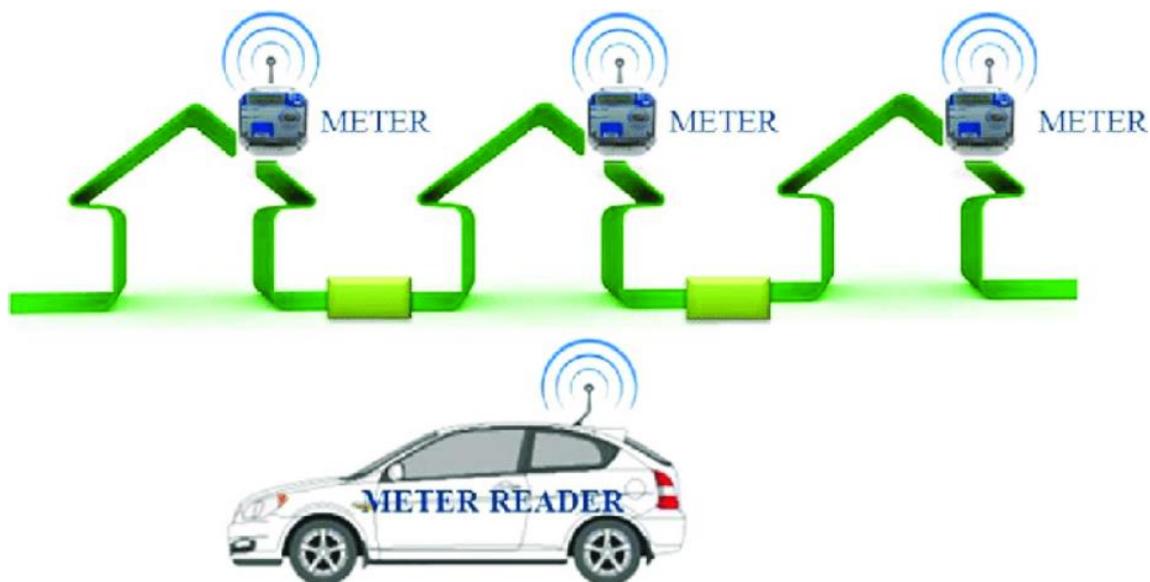


Figura 14 - Drive-by meter Reading [52]

Geralmente, o protocolo Wireless M-Bus pode ter diferentes “data rates”, encoding (NRZ, Manchester), modulação de frequência(FSK – Frequency Shift Keying ou GFSK- Gaussian Frequency Shift Keying), e portadoras de frequência. A tabela seguinte lista os respectivos parâmetros com os modos do protocolo Wireless M-Bus, e os tipos de dispositivo, isto é, se está em modo receptor (Rx) ou transmissor(Tx).

Mode	Meter		Collector		Data Rate	Encoding	Modulation	Frequency [MHz]
	RX	TX	RX	TX				
<i>N1a, N2a</i>	x	x	x	x	4.8 kbit/s	NRZ	GFSK	169.406250
<i>N1b, N2b</i>	x	x	x	x	4.8 kbit/s	NRZ	GFSK	169.418750
<i>N1c, N2c</i>	x	x	x	x	2.4 kbit/s	NRZ	GFSK	169.431250
<i>N1d, N2d</i>	x	x	x	x	2.4 kbit/s	NRZ	GFSK	169.443750
<i>N1e, N2e</i>	x	x	x	x	4.8 kbit/s	NRZ	GFSK	169.456250
<i>N1f, N2f</i>	x	x	x	x	4.8 kbit/s	NRZ	GFSK	169.468750
<i>N2g</i>	x	x	x	x	38.4 kbit/s	NRZ	4 GFSK	169.437500
<i>T2</i>	x			x	32.768 kchip/s	Manchester	FSK	868.30
<i>T1, T2</i>		x	x		100 kchip/s	3-out-of-6	FSK	868.95
<i>S1, S2</i>	x	x	x	x	32.768 kchip/s	Manchester	FSK	868.30
<i>C2</i>	x			x	100 kchip/s	NRZ	GFSK	869.525
<i>C2</i>				x	32.768 kchip/s	Manchester	FSK	868.30
<i>C2</i>			x		100 kchip/s	3-out-of-6	FSK	869.95
<i>C1, C2</i>		x	x		100 kchip/s	NRZ	GFSK	868.95

Tabela 4 - Parâmetros do Wireless M-Bus [40]

#### 4.6.1. COMUNICAÇÃO UNIDIRECIONAL VS BIDIRECIONAL

Se a comunicação unidirecional for utilizada, os dados serão enviados do dispositivo de medição para apenas o coletor de dados. Isto permite que transmissores simples sejam dispositivos de medição enquanto que o coletor dos dados só necessita de receber os mesmos. Recomendado utilizar para redes simples com baixa carga de rede.

No caso da comunicação bidirecional, o coletor de dados pode solicitar dados ao dispositivo medidor. Este é, por exemplo, o caso do modo S2, T2, C2 e N2. Nestes modos, uma comunicação bidirecional apenas será estabelecida se outros dados ou comandos precisarem de ser trocados. A figura abaixo mostra um fluxo típico de comunicação.

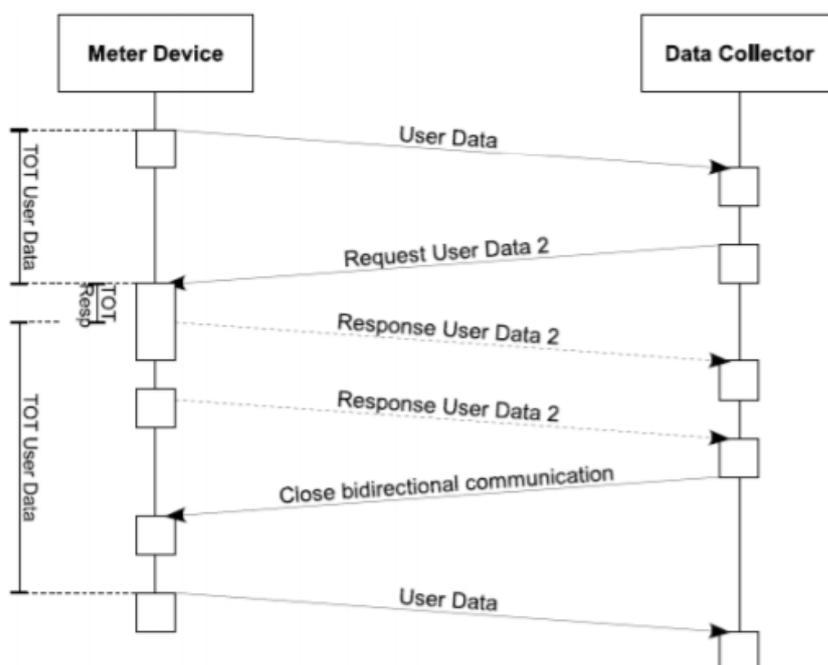


Figura 15 - Comunicação Bidirecional [40]

A 1ª configuração deste protocolo é realizada através das páginas do servidor Web incorporado. Uma vez realizada a configuração, os dados podem começar a ser colecionados num modo periódico e automático. Após a sincronização com o servidor remoto, todas as configurações / ações podem ser realizadas remotamente: equipamento,

endereço do servidor dos dados, formato dos dados, frequência dos dados coletados,etc.

Em suma, o protocolo implementado será o Wireless M-Bus, mas posteriormente existe um Modem que vai encapsular os pacotes, seja para GSM, 3G, NB-IoT, ou Lora, o que for suportado pelo cliente. Ou seja, qualquer que seja a carrier utilizada, o pacote vai ser encapsulado de forma a funcionar com o protocolo Wireless M-Bus.

## ***5. Capítulo V – Simulação***

### ***5.1. SOFTWARE UTILIZADO***

O software utilizado será o EPANET. Este é um software open-source focado na simulação de sistemas de distribuição de água. O software contém dois módulos integrados, que calculam a solução para o sistema hidráulico de redes pressurizadas.

Com a versão mais atual e estável, o EPANET 2, é possível criar e monitorizar diversos aspetos que foram referidos ao longo deste relatório:

- Topografia - definindo a altura que os componentes se encontram, desde o Reservatório, as Bombas, Válvulas, Tubagens..etc. A arquitetura por trás deste software faz com que a criação e integração destes componentes sejam o mais realista possível. Por exemplo, com a criação de um Reservatório Elevado, é necessária a utilização de uma bomba para a água poder ser transportada por todas as tubagens.
- Consumo e controlos – Para além da definição da topografia ser essencial, é preciso também definir outros campos, como o diâmetro, o comprimento e a rigidez das tubagens, o diâmetro, nível mínimo, máximo e inicial do Tanque que vai abastecer a água.

Ou seja, se a criação e personalização destes componentes for mal executada, a simulação do programa ou irá dar erro, ou irão aparecer valores fora do normal, como pressões elevadas numa tubagem, e na tubagem seguinte esta pressão ser quase inexistente.

Com o EPANET, pode-se também controlar o tempo em que a simulação é executada, isto é, quanto maior a duração, mais desgaste será possível ver nas tubagens, como também a qualidade da água(cloro) a decair nas mesmas.

Este software, com toda a personalização que é possível executar nos diferentes componentes, torna-se ideal para a criação e simulação de cenários onde possam existir possíveis perdas de água, simulando em determinado momento da ZMC, o caudal a diminuir, mas a pressão a manter-se constante, sendo sinal de perdas de água. É possível ver também graficamente a maioria dos componentes que foram criados, como a pressão ao longo do tempo ou em determinada hora, a qualidade da água, o caudal,etc.

## 5.2. PRÉ-REQUISITOS DA SIMULACAO

Antes de começar a criar a rede onde irá acontecer a simulação, é importante definir algumas métricas para não haver problemas mais à frente. Este software por defeito vem definido para trabalhar com as unidades “feet” e “inches”, e GPM(British gallon per minute) no caso da medição do caudal. As medidas que irei trabalhar serão, respetivamente, metros, milímetros, e LTS (litros por segundo).

## 5.3. SIMULAÇÃO E CRIAÇÃO DA REDE(ZMC)

Depois de definidas as unidades, foi criada a rede, com os diversos componentes:

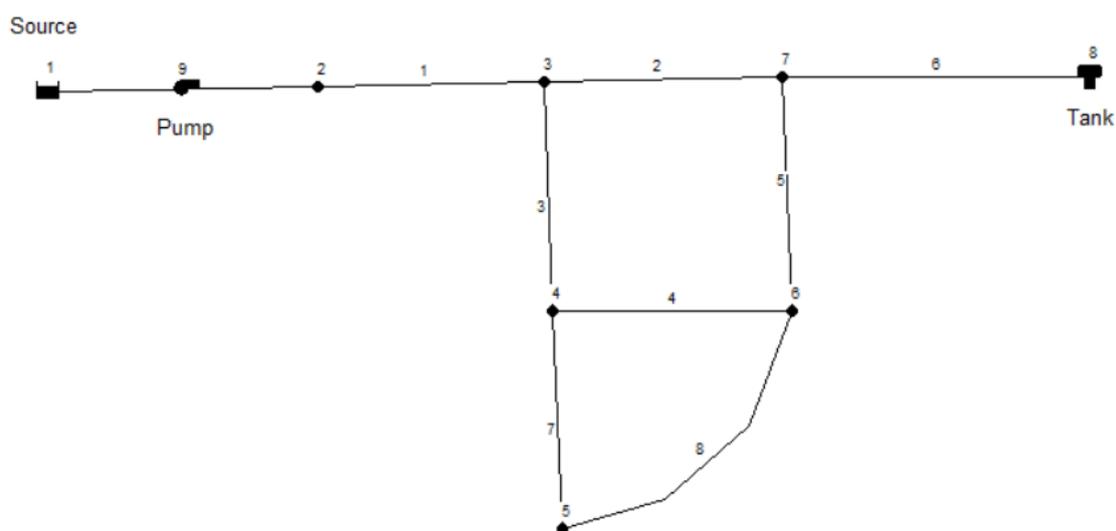


Figura 16 - EPANET: Criação da Rede. Elaboração Própria.

Rede relativamente simples, pois o objetivo final é mostrar a simulação a correr, comparando alguns valores das tubagens e dos nós da rede, como a pressão, o caudal, a qualidade da água, e analisando esses gráficos ser possível descobrir onde uma possível perda de água pode acontecer. Pelo contrário, se a rede fosse demasiado complexa, com uma grande combinação de nós e tubagens, seria mais complicado o foco no objetivo.

De realçar, que na construção desta rede, é essencial que a ligação entre os nós siga sempre o mesmo caminho, o mesmo fluxo(neste caso da esquerda para a direita), para não haver pressões negativas, isto é, a água nas tubagens vir no sentido inverso ao normal.

Se tal acontecesse, o mais provável seria que danificasse a tubagem, provocando uma fuga. Tal não é possível simular pois como o EPANET é um software realista, ao provocar conscientemente esta falha, não seria possível executar a simulação, mostrando uma mensagem de erro.

#### 5.4. CARACTERÍSTICAS DA REDE

Seguindo a ordem pela qual a rede foi criada, no lado esquerdo foi criado o Reservatório (Source), sem elevação no terreno, para ser necessário a utilização de uma bomba para transportar a água para os nós e tubagens, que por sua vez estarão localizados a uma determinada elevação, numa cidade. De seguida foi necessário criar o tipo de “curva” da bomba, definindo a capacidade da mesma em relação ao que pode distribuir (Head – 45.72 metros) a 45.46 litros por segundo (LPS). Esta curva é importante pois vai definir a quantidade de água, isto é, o caudal que vai ser distribuído por toda a rede.

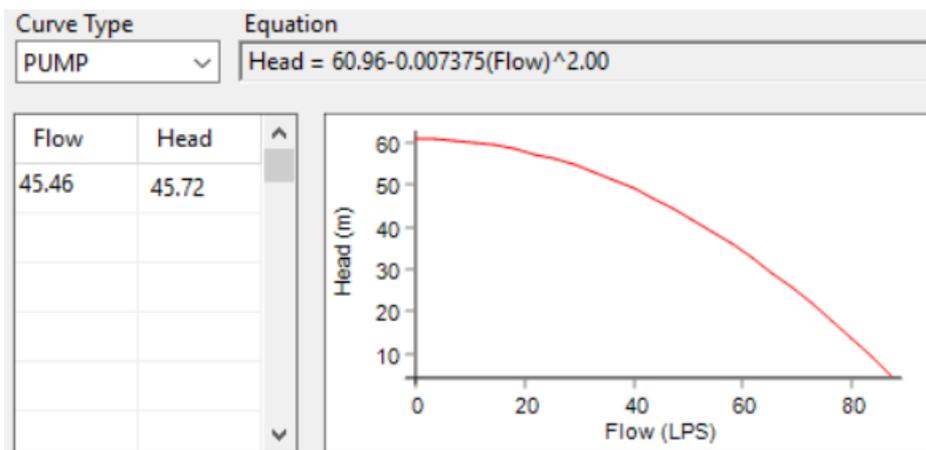


Figura 17 - Curva Bomba. Elaboração Própria.

De seguida foi necessário customizar todos os nós, com a sua elevação, “base demand” e ”demand pattern”. Abaixo segue um exemplo:

Junction 3 ×

Property	Value
*Junction ID	3
X-Coordinate	-1042.58
Y-Coordinate	8179.15
Description	
Tag	
*Elevation	216.4
Base Demand	11.37
Demand Pattern	2

Figura 18 - Características do nó 3. Elaboração Própria.

Dando uma noção simples do base demand, se no canto de uma ZMC for necessário chegar 50 litros de água, os vários nós da rede precisam de ter pelo menos a soma desse valor. O demand pattern é um padrão de consumo que também foi customizado, de forma a representar da forma mais fiável possível o consumo doméstico diário, com o seu pico entre as 7:00 e 9:00, intervalo onde existe um maior gasto da água.

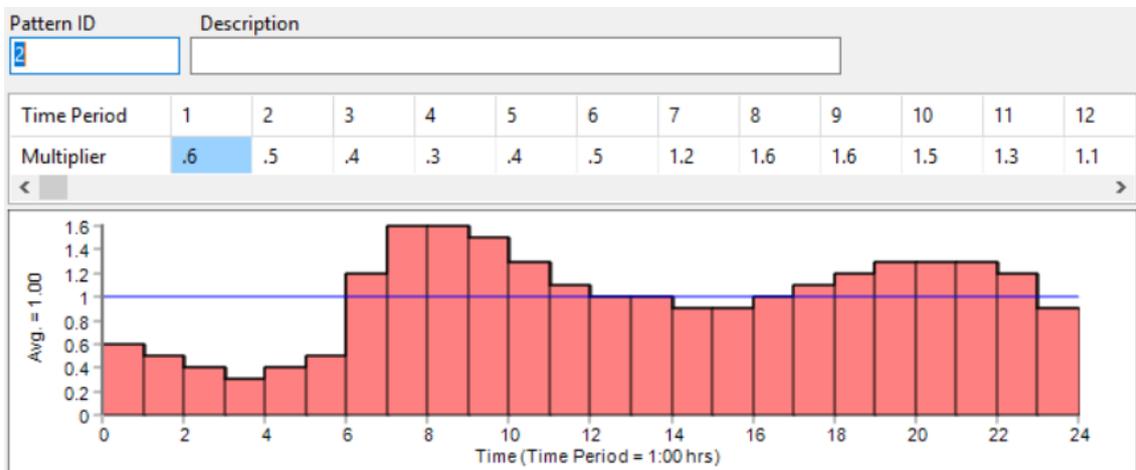


Figura 19- Padrão de Consumo utilizado. Elaboração Própria.

O seguinte componente que customizei foram as tubagens. Valores como a distância, o diâmetro e a rigidez são críticos pois vão influenciar a quantidade de água que pode ser transportada em cada tubagem. Na figura abaixo pode-se ver um exemplo da tubagem nº1.

Property	Value
*Pipe ID	1
*Start Node	2
*End Node	3
Description	
Tag	
*Length	914.4
*Diameter	355.6
*Roughness	100
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open

Figura 20- EPANET: Características da tubagem 1. Elaboração Própria.

Finalmente, foram configurados os valores para o tanque. De realçar, que ao contrário do Reservatório que é uma fonte contínua de água, o tanque apenas tem a capacidade de armazenar e distribuir água. Tal como os outros nós (nodes), foi definido uma elevação, e outros valores tais como o nível inicial, nível mínimo, nível máximo e o diâmetro:

Property	Value
*Tank ID	8
X-Coordinate	2187.96
Y-Coordinate	8208.52
Description	
Tag	
*Elevation	252.984
*Initial Level	0.762
*Minimum Level	0
*Maximum Level	6.096
*Diameter	18.288

Figura 21- EPANET: Características do tanque. Elaboração Própria.

## 5.5. SIMULAÇÃO

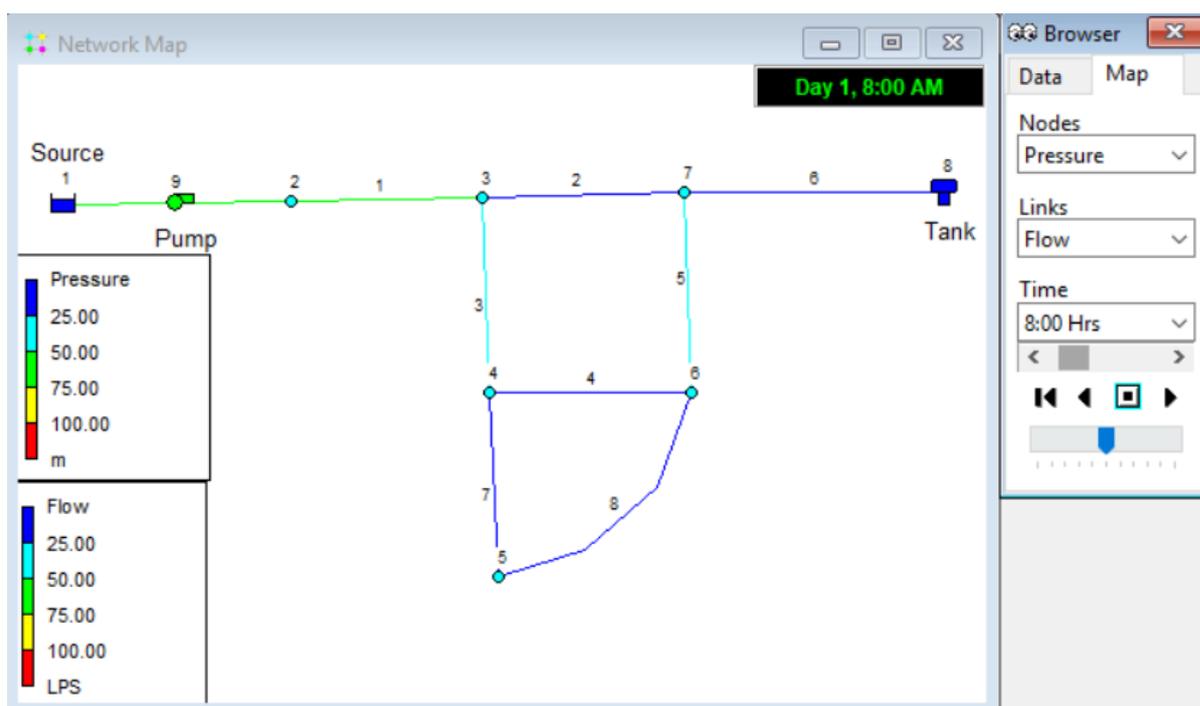


Figura 22- Simulação: 8:00h. Elaboração Própria.

Na figura acima é possível ver, ao longo de toda a ZMC, os valores da pressão dos nós e do caudal nas tubagens. A hora definida foi 8.00h, hora de maior uso da água, definida anteriormente no padrão de consumo, sendo por isso que a tubagem adjacente à bomba está numa cor verde. Se em algum local da ZMC aparecer uma cor amarela ou vermelha é sinal de preocupação e motivo para analisar de imediato o problema.

Nas figuras abaixo, para o mesmo período de tempo, 8.00h, é possível ver diversos valores para todos os nós e tubagens, em formato de tabela:

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Chlorine mg/L
Junc 2	0.00	252.73	39.37	1.30
Junc 3	18.19	251.39	34.99	1.19
Junc 7	0.00	251.32	37.96	0.26
Junc 4	18.19	239.70	26.34	1.00
Junc 5	24.24	229.55	31.43	0.63
Junc 6	18.18	239.73	26.37	0.47
Resvr 1	-54.11	213.36	0.00	1.30
Tank 8	-24.69	255.08	2.09	0.21

Tabela 5 - Tabela dos nós (8:00h). Elaboração Própria.

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor	Reaction Rate mg/L/d	Chlorine mg/L	Status
Pipe 1	54.11	0.54	1.46	0.034	5.87	1.25	Open
Pipe 3	30.37	0.94	7.67	0.035	8.90	1.11	Open
Pipe 5	-30.24	0.93	7.61	0.035	3.47	0.39	Open
Pipe 6	-24.69	0.49	1.76	0.037	1.15	0.19	Open
Pipe 2	5.55	0.08	0.05	0.047	3.09	0.92	Open
Pipe 4	-1.03	0.03	0.01	0.058	1.09	0.33	Open
Pipe 7	13.21	0.72	6.66	0.038	9.08	0.90	Open
Pipe 8	-11.03	0.60	4.77	0.039	4.92	0.48	Open
Pump 9	54.11	0.00	-39.37	0.000	0.00	1.30	Open

Tabela 6 - Tabela das tubagens (8.00h). Elaboração Própria.

Aqui podemos analisar diversos valores para os diferentes nós e tubagens, com um intuito mais informativo, inclusive o cloro, outro componente que foi criado e customizado de forma mais realista possível, para simular também a qualidade da água. Neste componente, o mais importante é nunca chegar a 0, pois o cloro é o responsável por desinfetar possíveis bactérias da água.

Será posteriormente em formato de gráfico que será possível analisar e detetar onde podem existir possíveis perdas, pois desta forma a análise será feita ao longo de 1 dia ou de vários dias e não apenas de uma hora em específico, tal como acontece com as tabelas.

Importante realçar as diferentes situações que podem acontecer, pois antes de se analisar o gráfico é essencial ter o conhecimento de como acontece uma possível fuga. Casos que **não** motivam preocupação: ao longo de toda a rede, em diversos pontos, se a pressão aumentar quando o caudal diminuir; ou se a pressão baixar quando o caudal aumentar. Casos que **motivam** preocupação, onde pode ser um sinal de possíveis fugas: quando o caudal diminuir, e ao mesmo tempo a pressão diminuir; quando o caudal diminuir e a pressão se mantiver igual; ou quando o caudal aumentar e a pressão se mantiver igual.

De destacar que é necessário uma mudança drástica para ser um sinal de preocupação. Os gráficos seguintes mostram uma situação anormal, motivo de preocupação:

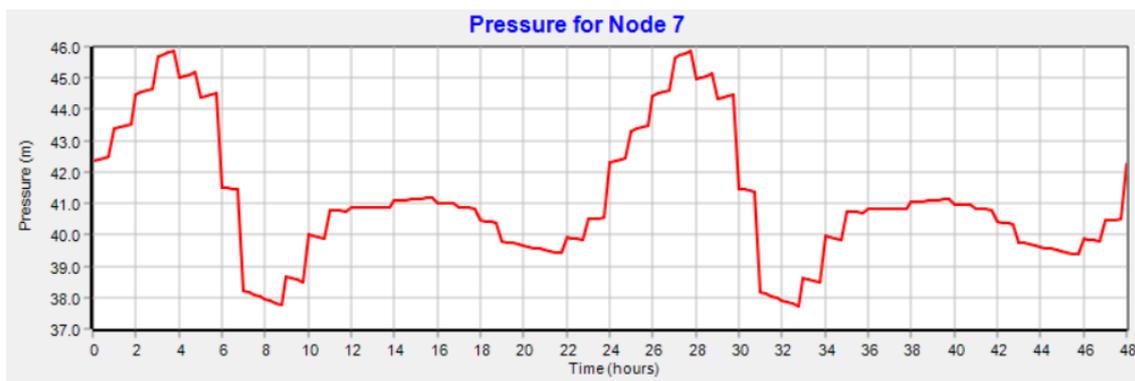


Figura 23 - Pressao para o nó 7. Elaboração Própria.

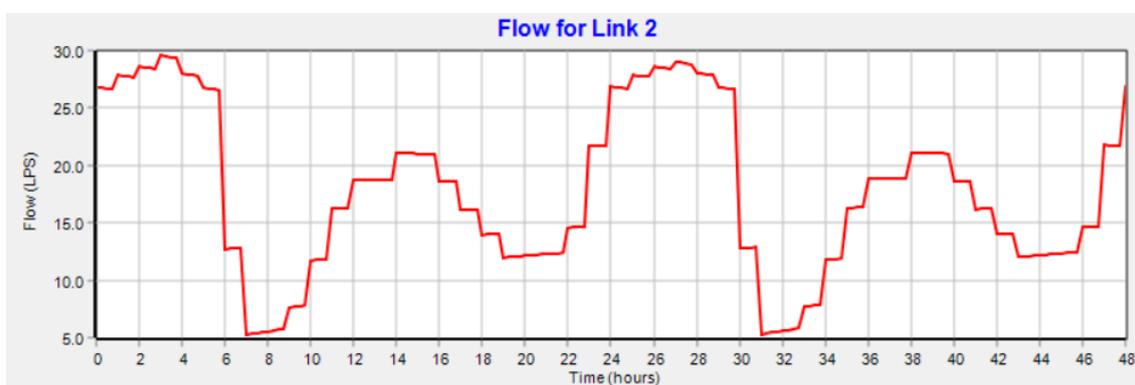


Figura 24: Caudal para a tubagem 2(adjacente ao nó 7). Elaboração Própria.

Primeiramente, o gráfico da pressão do nó 7 faz uma comparação entre pressão e tempo (48 horas). O gráfico da tubagem 2 faz a comparação entre o caudal e o tempo (48 horas). Comparando os dois gráficos é possível analisar e detetar possíveis perdas.

Para conseguir simular neste sistema uma situação anormal, o que decidi foi “fechar” o nó 7 entre as 3:00h e 4:00h, como se tivesse acontecido uma obstrução naquele local, e observar o que acontece nesse nó e na tubagem adjacente. Dessa forma vai afetar o caudal e consequentemente a sua pressão naquele local, durante aquele determinado tempo e nas horas seguintes, tal como se pode verificar nos gráficos acima.

Entre as 4.00h e as 8.00h existe uma descida drástica da pressão e do caudal, e tal como referido acima, esta é uma situação anormal que exige uma atenção imediata, pois pode ser motivo de perdas de água. Tal acontece também no mesmo intervalo de horário, no dia 2, isto é, entre as 28:00h e 32:00h da simulação. Se tal acontecesse num sistema real, em tempo real era possível agir de imediato, evitando maiores perdas futuras, perdas de

água, e económicas, pois durante as horas de madrugada o consumo é mínimo ao quase nenhum, e recolhendo e analisando estes dados confirmava-se que alguma anomalia naquela zona aconteceu.

Mostrando agora uma situação estável, para haver um termo de comparação à situação anterior, o que fiz foi comparar o caudal que sai continuamente na bomba com a pressão do nó adjacente (2). Se não houver problemas, quando a pressão aumentar, o caudal tem de diminuir, e quando a pressão diminuir o caudal aumentar. Desta forma, garante-se um fluxo contínuo de água sempre com a quantidade e pressão correta para chegar aos diversos nós da rede, que é como se fossem diferentes casas num determinado espaço que é abastecido:

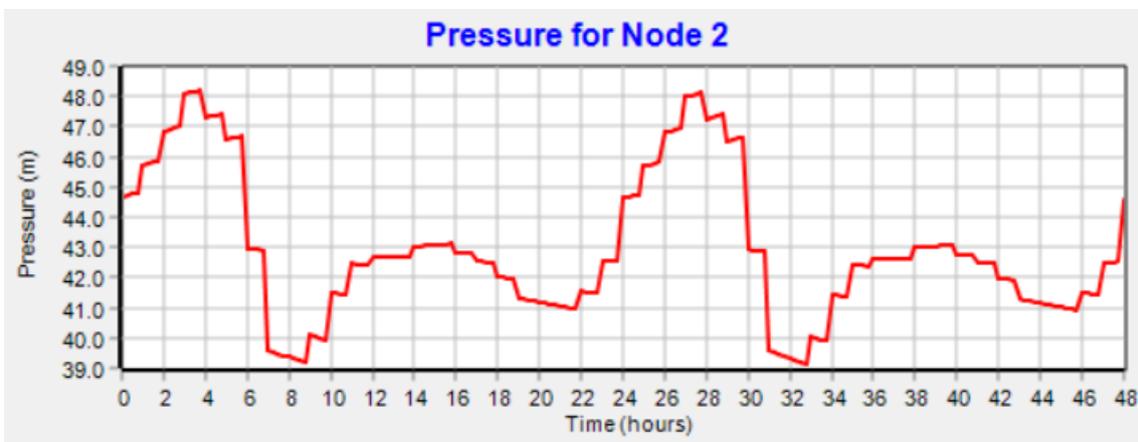


Figura 25: Pressão para o nó 2. Elaboração Própria.

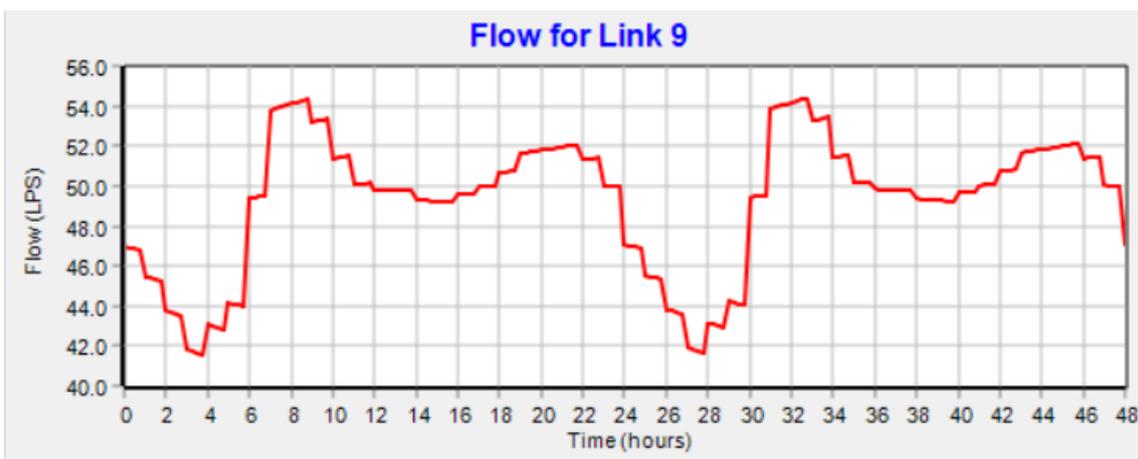


Figura 26 - Caudal Bomba. Elaboração Própria.

Finalmente, mostro o fluxo de todo o sistema, onde se mostra um balanço do que é produzido e do que é consumido:

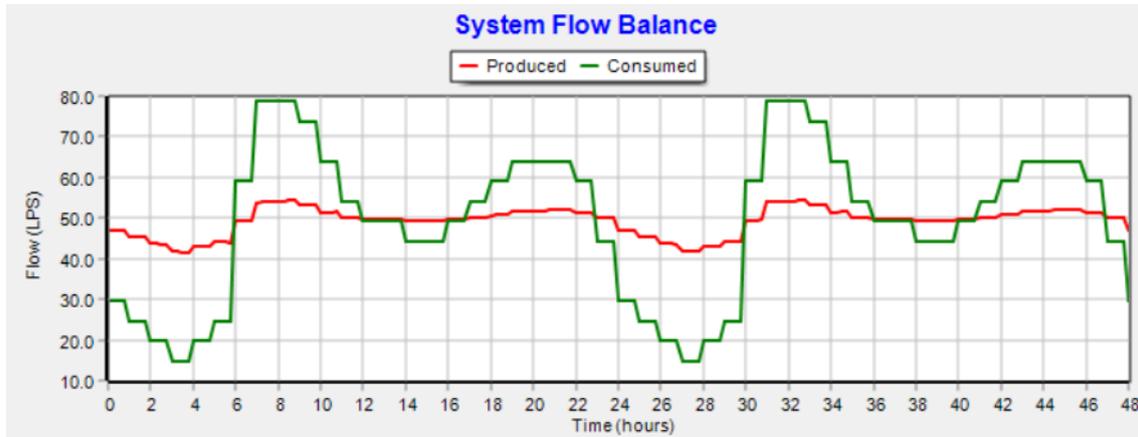


Figura 27 - Balanço do sistema. Elaboração Própria.

O gráfico acima mostra, ao longo do dia, onde existe um maior consumo de água, como também o que é produzido. Podemos analisar que, tal como o gráfico do padrão de consumo, os intervalos onde existe um maior gasto são entre as 7:00h 9:00h, havendo um consumo muito baixo nas horas de madrugada. A linha referente ao que é produzido devia representar uma média em relação que foi consumido, para garantir que a água chega às localizações na pressão correta, 24 horas por dia, média essa que se pode confirmar no gráfico de consumo (average=1).

## 5.6. ESTUDO DA VIABILIDADE

### 5.6.1. TÉCNICA

No capítulo da Realização foi explicado como a comunicação acontece, com a utilização de caixas de visita para guardar os sensores, e geradores + baterias para haver energia, e com auxílio de uma vareta haver a capacidade de comunicar. O seguinte problema está no investimento, que no setor da água tem mais de 20 anos. Os investimentos tipicamente são feitos a cada 2 décadas, e o último investimento não teve em conta as soluções explicadas acima. Por vezes acontece que uma equipa no terreno, com o objetivo de manutenção, no seu diagrama vê que uma tubagem está num determinado sítio, mas por esse diagrama ser muito antigo, devido a mudanças no local como obras, a tubagem pode

estar localizada metros ao lado, o que dificulta e atrasa a manutenção, causando posteriormente mais prejuízo devido às perdas de água, e da mesma não estar a ser disponibilizada. Ou seja, o conhecimento do sistema físico é essencial para combater as perdas de água, sabendo exatamente onde se encontram as entradas e saídas do mesmo, referente a todos os componentes, como as tubagens. Aqui também se inclui o sistema físico das águas residuais.

Para tal, é obrigatório ter cadastros completos e atualizados que permitem toda a gestão da rede, incluindo a própria setorização da mesma. Outro aspeto importante, consequente de ter cadastros eficientes é a manutenção do sistema. Desta forma, é possível descobrir um padrão no comportamento da rede nos caudais diários e noturnos, e a partir daí, relacionando com a pressão descobre-se onde possíveis perdas podem estar a ocorrer.

### ***5.6.2. ECONÓMICA***

É necessário que as Entidades Gestoras invistam em infra-estruturas, para posteriormente não terem o prejuízo que acontece todos os anos. Uma curiosidade, com apenas 1 perda, anualmente existe um prejuízo de 500 mil euros. Isto porque, para além da perda de água contínua na tubagem, as Entidades Gestoras têm de gastar dinheiro na compra da água potável, que depois vendem a um preço mais alto do que compraram. Mas esta água comprada, devido às perdas não é totalmente entregue, sendo necessário comprar mais água para a poder entregar à população com a quantidade e qualidade devida. Tal como dito no fator ambiental, quanto mais sensores, mais informação é possível reter. Ao mesmo tempo, quanto mais sensores forem implementados, mais caro será, por isso, é necessário haver um equilíbrio.

De destacar que o fator económico também vai estar interligado com o fator ambiental, isto é: Quanto mais lixo cair nas sarjetas de esgoto (lixo esse que pode ser reduzido com a ação diária da população), mais demorado vai ser o processo de tratamento, e consequentemente mais caro.

Para além disso, as perdas de água que ocorrem ao longo do tempo têm de ir parar a algum local. Neste caso, irão parar a uma Estação de Tratamento. Quanto maior o volume de

água perdida, mais energia é necessária na utilização das bombas para transportar esta água, e conseqüentemente um maior prejuízo que podia ser evitado.

Neste tópico económico, entra também a questão tecnológica. Investir em melhores equipamentos, melhores sensores com mais funções, ter outras funcionalidades tecnológicas para telegestão por exemplo, pode ajudar a monitorizar de forma mais eficiente e rápida qualquer parte de uma ZMC, mas para tal é preciso ver a relação do preço/qualidade/risco e haver a capacidade financeira para tal.

### **5.6.3. AMBIENTAL**

Tal como se viu no capítulo 3, o ciclo da água tem diversas etapas. Depois da mesma ser consumida pelos utilizadores (4º etapa), acontecem ainda mais três[9]:

**5. Recolha** – As águas residuais, resultantes da utilização da água pelas populações e atividades produtivas, são recolhidas e encaminhadas para as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

**6. Tratamento (ETAR)** – Tal como acontece na ETA (Estação de Tratamento de Água), a água vai passar por diversas fases de tratamento. A principal diferença é que esta estação apenas irá tratar das águas residuais, ou seja, da água que foi utilizada pela população através de uso doméstico ou industrial.

Para a água poder ser devolvida à natureza em condições ambientalmente seguras (ex. para poder ser utilizada na agricultura) vários processos de tratamento têm de acontecer.

**7. Devolução** – Depois de tratada na ETAR, parte desta água é reutilizada para regas e lavagens e a restante é devolvida à natureza em condições ambientalmente seguras, permitindo assegurar a reposição de água nos meios hídricos sem comprometer a saúde pública e os ecossistemas, protegendo assim a natureza e a biodiversidade.

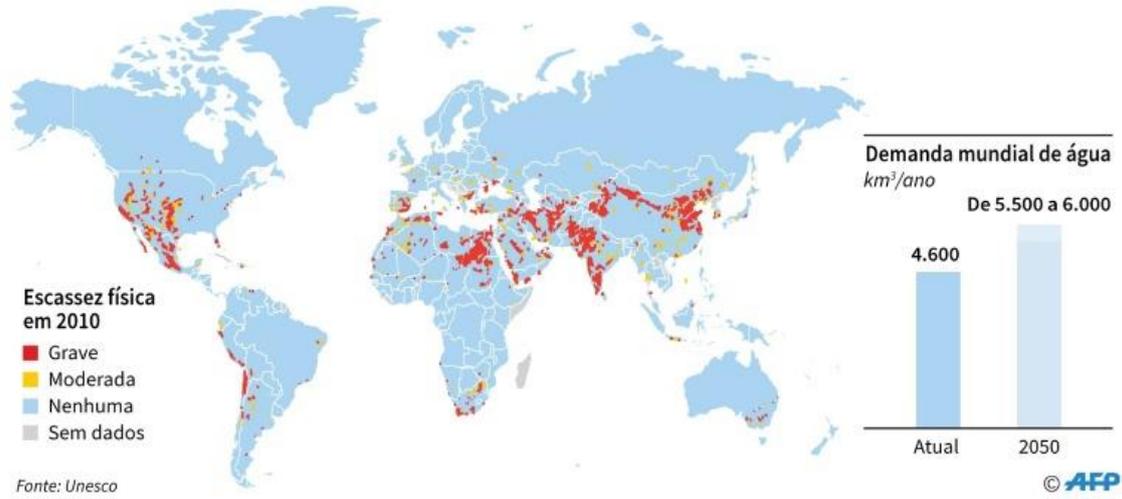
### **5.6.4. SOCIAL E ÉTICA**

De destacar, que devido a diversos fatores referidos acima acerca das perdas de água, e mais custos e mais energia gasta, recorrentes relacionados com o mesmo assunto, conseqüentemente, o consumidor entra nesta equação, tendo também os seus custos,

como por exemplo a tarifa das águas residuais. Outro fator é a escassez da água que já ocorre em diversos países, afetando uma quantidade muito maior de pessoas do que a sociedade pensa, tal como se pode ver na figura abaixo, sendo este um fator crítico.

## A escassez de água no mundo

3,60 bilhões de pessoas vivem em áreas com potencial escassez



Fonte: Unesco

Figura 28 - A escassez de água no mundo – AFP, 2010.

## *Conclusões*

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram estudados e aprendidos diversos aspetos relativos ao ciclo da água, isto é, desde a sua captação, ao seu tratamento, e por fim à distribuição ao consumidor. Foi feita uma primeira abordagem à temática de forma geral, explicando diversos termos necessários ao conhecimento da construção de uma rede (ZMC), como também as diferentes situações em que a água pode chegar aos consumidores, passando por um reservatório elevado ou não.

Em consequência mostrou-se a importância da sensorização numa rede, de forma a haver capacidade de recolha dos dados, analisando-os, mitigando assim possíveis perdas de água, que podem acontecer por exemplo no acontecimento de escoamentos noturnos elevados nas tubagens, pois durante a noite o consumo é mínimo ou quase nenhum.

Em relação a como a comunicação acontece, foi estudado o protocolo Wireless M-Bus, sendo este um protocolo focado em cenários de medição e leitura remota de medidores de gás, água e eletricidade. Para a escolha da portadora, isto é, a onda de propagação, não é crítico escolher apenas uma. Aliás, vai depender da capacidade que o utilizador, ou se já tem alguma implementada, tal como Lora, ZigBee, NarrowBand-Iot ou SigFox.

Em termos de simulação, usou-se o software open-source EPANET que é focado na simulação de sistemas de distribuição de água, tendo capacidade para simular uma rede o mais realista possível, com a criação de diversos componentes tais como Reservatórios, nós da rede, tubagens, bombas para transportar a água, etc, e as suas propriedades, isto é, os seus atributos, desde a elevação, o nível máximo que o reservatório pode suportar, diâmetro, comprimento e rigidez das tubagens, como também a criação de um padrão de consumo e a capacidade da bomba. Com a combinação de todos estes componentes foram feitas várias simulações, analisando posteriormente em tabelas e gráficos valores como a pressão e o caudal, que tal como foi referido no relatório, a relação destes dois valores é quase linear, sendo possível detetar possíveis perdas.

Finalmente foi feito um estudo de viabilidade nas áreas técnica, económica, ambiental e social e ética.

Em suma, respondendo à questão mais importante, e colocando pontos referentes a algumas das áreas de estudo de viabilidade acima referidas:

Porquê reduzir perdas?

- Maior eficiência na gestão
- Redução de custos de operação e de capitais
- Redução de stresse ecológico
- Melhorias na medição e faturação
- Diminuição de danos estruturais
- Redução da carga nos esgotos
- Melhoria da satisfação do cliente através da melhoria da qualidade do serviço
- A redução dos riscos para a saúde e uma maior segurança abastecimento

E mostrando os fatores críticos ao desenvolver uma rede:

- Conhecimento infraestrutural da rede
- Detecção de fugas
- Reabilitação das tubagens mediante registos operacionais
- Introdução de tecnologia e inteligência na abordagem desta temática (Telemetria e Telegestão; Software de análise de caudais; Gestão dinâmica de pressões, etc)
- Capacidade financeira para a realização de investimento
- Sustentabilidade das tarifas para permitir a manutenção e a renovação dos vários elementos da rede
- Critérios de ponderação e de elegibilidade dos fundos comunitários.

## *Trabalhos Futuros*

A área das perdas de água, e da sensorização em assim é um tema que ainda vai evoluir no futuro. Comparando com a eletricidade, onde existe energia, nas águas, principalmente nas tubagens debaixo da terra esta não existe, sendo necessário o uso de geradores que necessitam de energia de uma bateria, geradores esses que estarão localizados numa “caixa especial” que pode conter outros sensores para medir o caudal ou a pressão, valores estes que depois serão enviados em tempo real para um SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados). Mas todo este processo ainda não foi desenvolvido e estudado ao máximo ou ainda não foi aplicado o suficiente nas redes, principalmente de Portugal. O que leva a outro problema, estas redes estão no sistema há muito tempo, há mais de 40 anos, e a atualização das mesmas não é feita de forma regular, o que torna muito complexo quando as Entidades Gestoras necessitam de inspecionar um local específico da rede, local esse que pode ter sido alterado ao longo do tempo, mas a informação que as Entidades Gestoras têm é tipicamente antiga. Outro assunto é o custo que trará ao implementar um sistema destes. Mas em longo termo será benéfico, pois tal como é mostrado nos anexos ainda existe uma grande % de perdas de água, água que é um bem escasso e não ilimitado.

Tal como explicado acima na conclusão, nos diversos pontos, conseguir detetar em tempo real perdas de água só trará benefícios em qualquer área. O importante é avaliar o risco/recompensa para futuras implementações, sempre com o objetivo de mitigar as perdas de água em qualquer setor (urbano, agrícola e industrial).

## Anexos

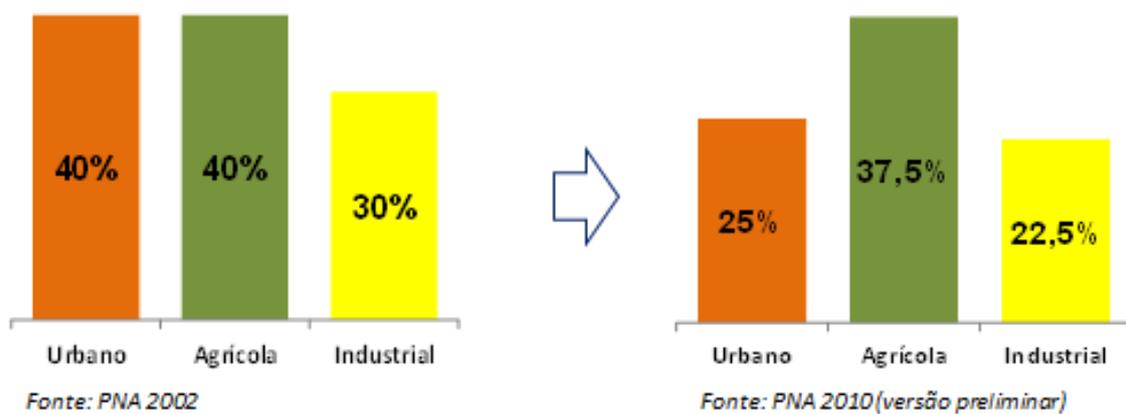


Figura 29 - % Perdas de água - PNA, 2002 e 2010

## Referências

[1] OSM Group. M-Bus Inside Open Metering System. Disponível em:

<https://oms-group.org/en/>. Consult. Mar., 20, 2019.

[2] Águas de Portugal. O Ciclo Urbano da Água. Disponível em:

<https://www.adp.pt/pt/atividade/o-que-fazemos/o-ciclo-do-valor-da-agua/?id=142>.

Consult. Mar., 15, 2019.

[3] Ch. Sowmya et al., “Implementation of Wireless Sensor Network for Real Time Overhead Tank Water Quality Monitoring.”, *Advanced Computing*, pp. 1 - 2, 2017.

[Online]. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7976852>. Consult. Apr., 1, 2019.

[4] S. M. Nikkam and V. R. Pawar., “Water parameter analysis for industrial application using IoT”, *Applied and Theoretical Computing and Communication Technology*, pp.1 - 2, 2016. [Online]. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7912090>. Consult. Apr., 2, 2019

[5] C. Moreira., “Definição e validação de zonas de monitorização e controlo de perdas de água num sistema de abastecimento em alta”, *Mestrado em Engenharia Civil – Ramo das Infraestruturas*, pp.1 - 2, 2016. [Online]. Disponível em:

<http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/10639>. Consult. Mar., 25, 2019

[6] H. Carvalho., “Redução de perdas reais de água em sistemas de abastecimento de água”, *Definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controlo*, pp. 7 - 29, 2014. [Online]. Disponível em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/74771/2/32456.pdf>. Consult. Apr., 10, 2019

[7] S. Christodoulou., “Wireless Sensor Networks for Water Loss Detection”, pp. 1 - 3, 2010. [Online]. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/267680248\\_Wireless\\_Sensor\\_Networks\\_for\\_Water\\_Loss\\_Detection](https://www.researchgate.net/publication/267680248_Wireless_Sensor_Networks_for_Water_Loss_Detection). Consult. Apr., 3, 2019

[8] S. Spinsante et al., “*Evaluation of the Wireless M-Bus Standard for Future Smart Water Grids*”, pp.1 - 4, 2013. [Online]. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/profile/Stefano\\_Squartini/publication/236853127\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Wireless\\_M-Bus\\_Standard\\_for\\_Future\\_Smart\\_Water\\_Grids/links/568e2e2608aef987e56698ac/Evaluation-of-the-Wireless-M-Bus-Standard-for-Future-Smart-Water-Grids.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Stefano_Squartini/publication/236853127_Evaluation_of_the_Wireless_M-Bus_Standard_for_Future_Smart_Water_Grids/links/568e2e2608aef987e56698ac/Evaluation-of-the-Wireless-M-Bus-Standard-for-Future-Smart-Water-Grids.pdf).

Consult. Apr., 25, 2019

[9] Águas de Portugal. O Ciclo Urbano da Água. Disponível em:

<https://www.adp.pt/pt/atividade/o-que-fazemos/o-ciclo-urbano-da-agua/?id=28>.

Consult. Apr., 27, 2019

[10] Águas de Portugal. Tratamento da Água (ETA). Disponível em:

[https://www.adp.pt/downloads/file53\\_pt.jpg](https://www.adp.pt/downloads/file53_pt.jpg). Consult. Apr., 27, 2019

[11] Águas de Portugal. Tratamento das Águas Residuais (ETAR). Disponível em:

[https://www.adp.pt/downloads/file54\\_pt.jpg](https://www.adp.pt/downloads/file54_pt.jpg). Consult. Apr., 27, 2019

[12] Portal do Mec. Ensino Fundamental. Disponível em:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/5033/index.html?sequence=8>. Consult. Apr., 29, 2019

[13] National Science Foundation. Sustainability: Water – The Water Cycle. Disponível em:

[https://www.nsf.gov/news/special\\_reports/sustainability/watercycle.jsp](https://www.nsf.gov/news/special_reports/sustainability/watercycle.jsp).

Consult. Apr., 27, 2019

[14] Significados. <https://www.significados.com.br/adutora/>. Consult. May., 1, 2019

[15] ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos). Factos e Números. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros>.

Consult. May., 2, 2019

[16] Pepperl + Fuchs. Negócios Conscientes – Tecnologias da Automação Asseguram a Entrada de Água sem Nenhum Problema em Estações de Tratamento. Disponível em:

<https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/28217.htm>. Consult. May., 3, 2019

[17] EPAL. Produtos e Serviços. Disponível em:

<https://www.epal.pt/EPAL/menu/produtos-e-servi%C3%A7os/wone>.

Consult. May., 4, 2019

[18] EPAL., “*Uma solução inovadora para o Controlo de Perdas de Água*” Template Apresentações EPAL, pp. 1 - 15, 2014. [Online]. Disponível em:

<https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/produtos-e-servi%C3%A7os/wone/apresenta%C3%A7%C3%A3o.pdf?sfvrsn=20>. Consult.

May., 7, 2019

[19] EPAL., “*Órgãos de manobra e controlo*”, Aula teórica 11 e 12, pp. 2 - 27, 2009. [Online]. Disponível em:

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573397389/Aulas Teoricas 11e12%20Orgaos e acessorios EE %20e%20Sobreprensoras%202009.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573397389/Aulas%20Teoricas%2011e12%20Orgaos%20e%20acessorios%20EE%20e%20Sobreprensoras%202009.pdf).

Consult. May., 10, 2019

[20] Linha de Água. Automação, Telegestão e SCADA. Disponível em:

<http://www.linhadagua.pt/produtos/automacao-telegestao-e-scada/> Consult. May., 14, 2019

[21] Elprocus., “*Wireless Sensor Network Architecture and Its Applications*”, Architecture of WSN. Disponível em:

<https://www.elprocus.com/architecture-of-wireless-sensor-network-and-applications/>. Consult. May., 14, 2019

[22] Wikipedia. Pressão. Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Press%C3%A3o>. Consult. May., 16, 2019

[23] S. Silva., “*Implementação de medidas de controlo de perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento*”, Mestrado em Gestão Sustentável do Ciclo Urbano da Água”, pp. 5 - 36, 2018. [Online]. Disponível em:

<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/81460/1/Implementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Medidas%20de%20Controlo%20de%20Perdas%20de%20%C3%81gua%20em%20Sistemas%20Urbanos%20de%20Abastecimento.pdf>

Consult. May., 20, 2019

[24] Técnico Lisboa., “Reservatórios”, Aula 8 - Saneamento, pp. 1 - 21, 2009. [Online]. Disponível em:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572249580/Aulas%2008%20Reservatorios.pdf>. Consult. May., 25, 2019

[25] Técnico Lisboa., “Sistemas de abastecimento em alta”, Saneamento Ambiental, pp. 1-17, 2009. [Online]. Disponível em:

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573893841/AG\\_Constituicao\\_sistemas.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573893841/AG_Constituicao_sistemas.pdf). Consult. May., 22, 2019

[26] SENSUS (Smart Water. Smarter at every point). Internet of Things. Disponível em: <https://sensus.com/internet-of-things/smart-water/>. Consult. May., 24, 2019

[27] ADP. Comunicação. Disponível em:

<https://www.adp.pt/pt/comunicacao/agua-a-360%20ba/visitas-virtuais/?id=204>.

Consult. May., 26, 2019

[28] Temboo. Water Management. Disponível em:

<https://temboo.com/iot-applications/water-management>.

Consult. May., 28, 2019

[29] L. Veloso., “Especificações técnicas para elaboração de telas finais das redes de abastecimento de água e águas residuais”, Direção Geral Técnica e de Exploração, pp.1 - 16, 2016. [Online]. Disponível em:

[http://www.indaquaoazemeis.pt/fotos/editor2/especificacoes\\_tecnicas\\_telas\\_finais\\_rev2.pdf](http://www.indaquaoazemeis.pt/fotos/editor2/especificacoes_tecnicas_telas_finais_rev2.pdf). Consult. May., 30, 2019

[30] SearchNetWorking. Simple Network Management Protocol (SNMP). Disponível em: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/SNMP>.

Consult. Jun., 6, 2019

[31] Wikipedia. SNMP. Disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Simple\\_Network\\_Management\\_Protocol](https://pt.wikipedia.org/wiki/Simple_Network_Management_Protocol).

Consult. Jun., 9, 2019

[32] SearchNetWorking. Network Management System. Disponível em:

<https://searchnetworking.techtarget.com/definition/network-management-system>.

Consult. Jun., 14, 2019

[33] SearchNetWorking. DHCP. Disponível em:

<https://searchnetworking.techtarget.com/definition/DHCP>.

Consult. Jun., 18, 2019

[34] Siemens. Inovation for #ClimateAction. Disponível em:

<https://new.siemens.com/global/en/company/stories/home.html>. Consult. Jun., 22, 2019

[35] ISEPEI. Tecnologias – Sensores. Disponível em:

<http://isepei.org/technologies/sensors>. Consult. Jun., 25, 2019

[36] IoTForAll. Cellular IoT Explained – Nb-IoT vs LTE-M vs 5G and More. Disponível em:

<https://www.iotforall.com/cellular-iot-explained-nb-iot-vs-lte-m/>.

Consult. Jun., 28, 2019

[37] WEBDYN. WM-BUS Gateway. Disponível em:

<https://www.webdyn.com/en/products-2/enercontrol-gateways/meter-datalogger-webdynrf-wmbus/>. Consult. Jun., 29, 2019

[38] RF Wireless World. What is Wireless M-Bus. Disponível em:

<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/What-is-Wireless-M-Bus.html>.

Consult. Jul., 2, 2019

[39] ADFWEB. M-Bus Wireless. Disponível em:

[https://www.adfweb.com/Home/products/wMbus\\_Modbus.asp?frompg=nav3\\_15](https://www.adfweb.com/Home/products/wMbus_Modbus.asp?frompg=nav3_15).

Consult. Jul., 4, 2019

[40] A. Sousa., “*Planning Smart Cities using Wireless Low Energy Monitoring Systems*”, Degree in Telecommunications and Computer Engineering, pp. 7 - 45, 2016. [Online]. Disponível em:

<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6008/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Consult. Jul., 20, 2019

[41] Wikipedia. OSI Model. Disponível em:

[https://en.wikipedia.org/wiki/OSI\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model). Consult. Jul., 21, 2019

[42] Epanet., “*Epanet 2 Users Manual*”, pp. 8 - 85, 2000. [Online]. Disponível em:

<https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1007WWU.pdf>. Consult. Jul., 23, 2019

[43] Epanet. Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.

Consult. Jul., 23, 2019

[44] APA(Agência Portuguesa do Ambiente). Disponível em: <http://apambiente.pt/>. Consult. Mar., 1, 2019

[45] Ballina Water. Urban Water Cycle. Disponível em:

<http://www.ballinawater.com.au/general-information/urban-water-cycle.html>.

Consult. Apr., 23, 2019

[46] Oinstalador. Lisboa debate “*Desafios do Ciclo Urbano da água*”. Disponível em:

<https://oinstalador.com/Artigos/248818-Lisboa-debate-Desafios-do-Ciclo-Urbano-da-Agua.html>. Consult. Apr., 25, 2019

[47] M. Tsutiya., “*Abastecimento de água*”, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pp. 24 - 30, 2004. [Online]. Disponível em:

[https://www.academia.edu/36909500/ABASTECIMIENTO\\_DE\\_%C3%81GUA\\_tsu\\_tiva](https://www.academia.edu/36909500/ABASTECIMIENTO_DE_%C3%81GUA_tsu_tiva). Consult. Mar., 15, 2019

[48] FLEXIM. Precise Monitoring of district metered areas(DMAs). Disponível em:

<https://www.flexim.com/us/industry-solutions/water-industry/network-metering/precise-monitoring-district-metered-areas-dmas>. Consult. Mar., 16, 2019

[49] ResearchGate. Advanced Meter Infrastructure (AMI). Disponível em:

[https://www.researchgate.net/figure/Advanced-Meter-Infrastructure-AMI-based-on-wireless-M-BUS-networks\\_fig1\\_257990767](https://www.researchgate.net/figure/Advanced-Meter-Infrastructure-AMI-based-on-wireless-M-BUS-networks_fig1_257990767) Consult. Mar., 18, 2019

[50] WSSCWATER. Advanced Metering Infrastructure (AMI). Disponível em:

<https://www.wsscwater.com/AMI>. Consult. Mar., 27, 2019

[51] RF Wireless World. Wireless M-Bus Tutorial. Disponível em:

<https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Wireless-M-Bus-tutorial.html>.

Consult. Apr., 5, 2019

[52] ResearchGate. Drive-by meter reading. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/figure/Drive-by-meter-reading-69\\_fig2\\_311210933](https://www.researchgate.net/figure/Drive-by-meter-reading-69_fig2_311210933).

Consult. Apr., 28, 2019