

REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA

Definição dos limites de ZMC

JOSÉ PEDRO DOS SANTOS LEITE FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins

Coorientador: Engenheiro José António Soares Martins

JULHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família e amigos,

*“So it goes.”
Kurt Vonnegut*

AGRADECIMENTOS

Concluída esta etapa da minha vida académica e pessoal, não poderia deixar de agradecer às diversas pessoas que, de uma ou outra forma, me acompanharam e apoiaram ao longo destes cinco anos e, em particular, durante a realização da presente dissertação.

À minha família, pelo apoio e motivação prestados ao longo de todo o percurso. Agradeço, em particular, aos meus pais, pelo investimento realizado na minha formação académica e pessoal.

Aos meus amigos e colegas, pelo espírito de amizade e entreaajuda cultivados ao longo destes cinco anos e a quem desejo o maior sucesso profissional e pessoal.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, na pessoa dos seus funcionários e docentes, pelo esforço e dedicação demonstrados e que fazem desta escola uma referência a nível internacional.

Ao Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins, pelo espírito crítico e pela motivação transmitida durante a realização deste trabalho, bem como pela oportunidade de o desenvolver em ambiente empresarial na Águas de Gaia, EM, SA.

À Águas de Gaia, EM, SA, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação numa empresa de referência no setor do abastecimento de água em Portugal e pelo suporte criado ao longo de todo o processo.

Ao Engenheiro José António Martins, pelo acompanhamento e apoio prestados, bem como pela disponibilização dos elementos indispensáveis à realização do presente trabalho.

A todas as outras pessoas, aqui não mencionadas, que me acompanharam ao longo deste percurso e sem as quais a realização desta dissertação não seria possível.

RESUMO

A água doce é um recurso escasso e distribuído de forma desigual pelo planeta. O acesso a este recurso é um fator determinante para a prosperidade de qualquer comunidade, estando intimamente ligado à saúde da sua população e à produtividade das suas indústrias. Num futuro incerto, quer pelo contexto geopolítico e social, quer pela aparente inevitabilidade do aquecimento global, as pessoas e as empresas serão obrigadas a fazer uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos. Neste contexto, as perdas de água constituem um obstáculo à obtenção dessa sustentabilidade e a sua redução será preponderante para o sucesso da gestão da água no Mundo. Com vista à redução do volume de perdas, os sistemas de distribuição urbanos têm vindo a ser setorizados em Zonas de Medição e Controlo, ZMC, que correspondem a áreas isoladas da rede, abastecidas idealmente por uma única ligação. A definição destes setores e a monitorização dos caudais neles introduzidos, nomeadamente durante a noite, agiliza a deteção e reparação de fugas nos tubos e ligações da rede. Em sistemas existentes, a setorização da rede consiste na procura de oportunidades de criação de ZMC, com base em critérios práticos e na informação disponível sobre a rede. A definição de ZMC é um processo complexo, podendo condicionar e mesmo cortar o abastecimento a clientes quando implementado, requerendo, portanto, um profundo conhecimento da rede e da sua operação.

Numa primeira fase da realização desta dissertação, desenvolvida em ambiente empresarial na Águas de Gaia EM SA, procurou estudar-se o funcionamento geral da organização de maneira a tentar enquadrar o presente trabalho nos seus objetivos estratégicos e coordená-lo com os trabalhos a ser desenvolvidos pela mesma. Foi nesse contexto que se partiu para a procura de oportunidades de definição de ZMC na rede de Vila Nova de Gaia e, posteriormente, se definiu uma área como potencial ZMC. Contudo, uma análise à área envolvente levantou questões sobre se a implantação da ZMC definida poria em causa o abastecimento a uma área anexa, o que se veio a confirmar com um breve estudo do caudal nesta área. Consequentemente, tentou definir-se alterações à proposta inicial com vista à implementação da ZMC. Procurou, em seguida, fazer-se uma avaliação qualitativa das propostas e definiu-se uma proposta a implementar no concelho de Vila Nova de Gaia. Na sequência da implementação da proposta escolhida, procurou fazer-se uma análise do caudal noturno e estimar-se o volume de perdas na ZMC definida.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas de abastecimento de água, redução de perdas reais de água, definição de limites, zonas de medição e controlo (ZMC), análise dos caudais noturnos.

ABSTRACT

Fresh water is a scarce and unevenly distributed resource. Access to fresh water is decisive for the prosperity of any community, being intimately linked to the health of its population and the productivity of its industries. In an uncertain future, this being due to the geopolitical and social context or the apparent unavailability of global warming, people and companies will be called to make a more sustainable management of water resources. In this context, water losses are an obstacle to the attainment of that sustainability and its reduction will be decisive for the success of water management worldwide. Aiming for the reduction of the volume lost, urban supply systems have been being divided into District Metered Areas, DMA, which are isolated areas within the supply networks, ideally supplied by one connection only. The definition of these sectors and the analysis of the volume of water in them introduced, namely during the night, fastens the detection and reparation of leaks in the network's pipes and connections. In existing systems, the definition of DMA requires the search for opportunities, based on practical criteria and information about the network. The definition of DMA is a complex process, possibly conditioning or even cutting the water supply to the customers when implemented, and thus requires a deep knowledge of the network and its operation.

In the first stages of development of this thesis, developed in Águas de Gaia, EM, SA, and aiming to frame this work with the company's strategic goals and future projects, the structure and operation of the company were studied. In that context, DMA definition opportunities started to be searched for in Vila Nova de Gaia and, later, a possible DMA was defined. However, a wider analysis of the surrounding area raised questions about whether the isolation of the DMA would danger the supply in a neighbouring area, which was confirmed by a brief flow analysis. Consequently, different alternatives to the initial proposal were studied. These proposals were then evaluated and one was chosen to be implemented in Vila Nova de Gaia. After its implementation, a night flow analysis was performed and the losses in the DMA were estimated.

KEYWORDS: water supply systems, reduction of real water losses, limit definition, district metered areas (DMA), night flow analysis.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
 2. REVISÃO DE LITERATURA – SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	 5
2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	5
2.2. CARACTERIZAÇÃO	6
2.2.1. CONSTITUIÇÃO	6
2.2.1.1. Captação	6
2.2.1.2. Tratamento	7
2.2.1.3. Elevação e transporte	8
2.2.1.4. Armazenamento	9
2.2.1.5. Distribuição	9
2.2.1.6. Órgãos auxiliares	11
2.2.2. COMPONENTES EM ALTA E EM BAIXA	16
2.2.3. CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO	16
2.2.3.1. Propriedades da água	16
2.2.3.2. Classificação dos escoamentos	19
2.2.3.3. Equações gerais do movimento de fluídos em sistemas de abastecimento	20
2.2.3.4. Leis da continuidade em redes	22
2.3. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR EM PORTUGAL	22
2.3.1. PRINCIPAIS INTERVENIENTES	24
2.3.1.1. Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR)	24
2.3.1.2. Entidades da administração central	24
2.3.1.3. Entidades prestadoras de serviços	24
2.3.2. FINANCIAMENTO DAS EG EM BAIXA	27
2.3.3. INDICADORES DE DESEMPENHO	28

2.3.4. PLANO ESTRATÉGICO – PENSAAR 2020	30
2.3.5. ANÁLISE SWOT DO SETOR – PENSAAR 2020.....	32
2.4. DEFINIÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....	35
2.4.1. BALANÇO HÍDRICO	35
2.4.2. PERDAS REAIS	38
2.4.3. PERDAS APARENTES	41
2.4.4. INDICADORES DE PERDAS	41
2.5. ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DA ÁGUA NÃO FATURADA	42
2.6. GESTÃO DE PERDAS REAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	43
2.6.1. MONITORIZAÇÃO E CONTROLO.....	44
2.6.1.1. Sistemas de telegestão - SCADA	44
2.6.1.2. Zonas de Medição e Controlo (ZMC)	45
2.6.2. RAPIDEZ E QUALIDADE DAS REPARAÇÕES	49
2.6.3. CONTROLO ATIVO DE FUGAS.....	50
2.6.4. GESTÃO DA PRESSÃO DE SERVIÇO.....	52
2.6.5. GESTÃO DE ATIVOS	53
2.7. MODELAÇÃO NUMÉRICA - EPANET	53
3. ÂMBITO E OBJETIVOS	55
3.1. ÂMBITO.....	55
3.2. OBJETIVOS.....	55
4. GESTÃO DE PERDAS NA ÁGUAS DE GAIA, EM, SA... 57	57
4.1. ENQUADRAMENTO	57
4.2. BALANÇO HÍDRICO	58
4.3. GESTÃO DE PERDAS.....	59
5. DEFINIÇÃO DOS LIMITES DE ZMC.....	63
5.1. ENQUADRAMENTO	63
5.2. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	64
5.3. AVALIAÇÃO DO PROBLEMA DE ABASTECIMENTO À ZONA ANEXA	74
5.4. PROPOSTAS ALTERNATIVAS	76
5.4.1. ZMC CONJUNTA COM DUAS ENTRADAS DISTINTAS	76
5.4.2. ZMC CONJUNTA COM APENAS UM ENTRADA - REFORÇO DA LIGAÇÃO ENTRE A ZMC INICIALMENTE PROPOSTA E A ZONA 2.....	78

5.4.3. REFORÇO DA LIGAÇÃO ENTRE A ZONA 2 E A RESTANTE REDE E CRIAÇÃO DE DUAS ZMC DISTINTAS	82
5.4.4. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS PROPOSTAS E PROPOSTA FINAL	85
5.5. IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DA ZMC.....	86
5.6. MONITORIZAÇÃO DA ZMC	87
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	93
6.1. CONCLUSÕES.....	93
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 95
 ANEXOS	 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. - Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com os componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal	6
Fig. 2.2. - Esquema-Tipo de tratamento de água de origem superficial em Portugal	8
Fig. 2.3. - Esquema-Tipo de tratamento de água de origem subterrânea em Portugal	8
Fig. 2.4. - Tipos de reservatórios quanto ao nível da soleira	9
Fig. 2.5. - Redes ramificadas e emalhadas	10
Fig. 2.6. - Válvula de seccionamento	12
Fig. 2.7. - Válvula de retenção	12
Fig. 2.8. - Ventosa	13
Fig. 2.9. - Válvula redutora de pressão do tipo 1	14
Fig. 2.10. - Válvula de alívio de pressão	14
Fig. 2.11. - Válvula com flutuador	15
Fig. 2.12. - Marco de incêndio	15
Fig. 2.13. - Deformação angular de um fluido	16
Fig. 2.14. - Definição do coeficiente de viscosidade	18
Fig. 2.15. - Aplicação da equação de continuidade ao escoamento no interior de um tubo	20
Fig. 2.16. - Acessibilidade dos serviços de abastecimento de água em Portugal (1994-2011)	23
Fig. 2.17. - Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de abastecimento de água em alta em 2015	26
Fig. 2.18. - Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de abastecimento de água em baixa em 2015	27
Fig. 2.19. - Disparidade entre os custos de serviço em Portugal Continental	28
Fig. 2.20. - Cinco eixos estratégicos do PENSAAR 2020	31
Fig. 2.21. - Economias de escala de serviços de água	32
Fig. 2.22. - Economias de gama	33
Fig. 2.23. - Abordagem <i>bottom-up</i> para determinação das perdas reais	38
Fig. 2.24. - Tempo de atuação e volume perdido numa fuga declarada numa conduta adutora	40
Fig. 2.25. - Tempo de deteção, localização e reparação e volume perdido numa fuga não declarada num ramal de ligação	40
Fig. 2.26. - Perdas reais em percentagem da água entrada no sistema em 2015	40
Fig. 2.27. - Curva característica de um contador	41
Fig. 2.28. - Água não faturada em percentagem da água entrada no sistema em 2015	42
Fig. 2.29. - Identificação do Nível Económico de Perdas, NEP	43

Fig. 2.30. - Quatro pilares da gestão de perdas reais	44
Fig. 2.31. - Elementos de um sistema SCADA	45
Fig. 2.32. - Divisão da rede de distribuição em ZMC	46
Fig. 2.33. - Ilustração da realização de um teste de pressão zero	49
Fig. 2.34. - Propagação do ruído de fuga e sondagem com vareta de escuta	51
Fig. 2.35. - Esquema de funcionamento de um correlador acústico.....	51
Fig. 2.36. - Fases do desenvolvimento de um modelo	54
Fig. 2.37. - Interface do EPANET	54
Fig. 4.1. - Logótipo da Águas de Gaia, EM, SA	57
Fig. 4.2. - Rede de distribuição de água em Vila Nova de Gaia	58
Fig. 4.3. - Evolução de componentes do balanço hídrico da Águas de Gaia entre 2011 e 2015.....	60
Fig. 4.4. - Sistema de telegestão, tipo SCADA, da Águas de Gaia, EM, SA.....	61
Fig. 4.5. - Substituição de conduta na Águas de Gaia, EM, SA	61
Fig. 5.1. - Identificação dos clientes associados ao reservatório da Rasa em 2015 no SIG da Águas de Gaia	63
Fig. 5.2. - Mapa utilizado na procura de oportunidades de definição de ZMC	64
Fig. 5.3. - ZMC definida na zona de Canidelo e S. Pedro da Afurada.....	65
Fig. 5.4. - Caudalímetro.....	67
Fig. 5.5. - <i>Datalogger</i>	68
Fig. 5.6. - Identificação dos consumidores associados à ZMC no SIG da Águas de Gaia	68
Fig. 5.7. - Distribuição dos diâmetros das condutas na ZMC proposta	69
Fig. 5.8. - Identificação das válvulas de seccionamento a fechar.....	70
Fig. 5.9. - Distribuição ilustrativa das cotas na área em estudo	70
Fig. 5.10. - Identificação do ponto de consumo crítico da ZMC.....	71
Fig. 5.11. - Localização do ponto de consumo crítico.....	72
Fig. 5.12. - Estudo da pressão no ponto de consumo crítico ao nível do terreno	73
Fig. 5.13. - Possível problema de caudal na Zona 2, anexa à ZMC definida	75
Fig. 5.14. - Proposta 1	77
Fig. 5.15. - Proposta 2	79
Fig. 5.16. - Zona de ligação entre ZMC e Zona 2 (situação atual)	80
Fig. 5.17. - Zona de ligação entre ZMC e Zona 2 (proposta).....	80
Fig. 5.18. - Distribuição dos diâmetros das condutas na ZMC definida na Proposta 2	81
Fig. 5.19. - Proposta 3	83

Fig. 5.20. - Prolongamento da conduta existente ao longo da Avenida dos Escultores, com um diâmetro de 160mm.....	84
Fig. 5.21. - Linhas de cota na área da ZMC.....	86
Fig. 5.22. - Caudal instantâneo medido nos caudalímetros instalados na Rua de Bustes e na Avenida Jardins da Arrábida durante o período de estudo (m ³ /hora).....	87
Fig. 5.23. – Caudal instantâneo total (m ³ /hora).....	88

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. - Peso volúmico e massa volúmica da água a diferentes temperaturas em unidades SI	17
Quadro 2.2. - Viscosidade da água a diferentes temperaturas	18
Quadro 2.3. - Modelos de gestão de serviços de água e resíduos de titularidade municipal ou intermunicipal	25
Quadro 2.4. - Indicadores de desempenho do serviço de abastecimento público de água: adequação da interface com os utilizadores	29
Quadro 2.5. – Indicadores de desempenho do serviço de abastecimento público de água: sustentabilidade da gestão do serviço	29
Quadro 2.6. – Indicadores de desempenho do serviço de abastecimento público de água: sustentabilidade ambiental	30
Quadro 2.7. – Análise SWOT do setor, integrada no “PENSAAR 2020”	34
Quadro 2.8. – Componentes do Balanço Hídrico	36
Quadro 2.9. – Classificação das fugas quanto à localização	39
Quadro 2.10. – Classificação das fugas quanto ao tipo	39
Quadro 2.11. – Classificação das ZMC quanto ao número de clientes	47
Quadro 4.1. – Balanço Hídrico da Águas de Gaia, EM, SA, referente ao ano de 2015	59
Quadro 4.2. – Comprimento da rede de abastecimento da Águas de Gaia, EM, SA	62
Quadro 5.1. – Exemplo de informação disponível no SIG da Águas de Gaia	64
Quadro 5.2. – Caudal máximo estimado escoado pela conduta de entrada da ZMC	66
Quadro 5.3. – Caudal médio anual	67
Quadro 5.4. – Caudal máximo estimado escoado pela conduta de entrada da Zona 2	75
Quadro 5.5. – Caudal médio anual associado à Zona 2	76
Quadro 5.6. – Consumos autorizados estimados	89
Quadro 5.7. – Volume perdas reais	89
Quadro 5.8. – Perdas reais inevitáveis	90
Quadro 5.9. – Determinação do ILI	91

SÍMBOLOS

A – Área interna de uma conduta [mm^2]
D – Diâmetro interno de uma conduta [mm]
F – Força tangencial
g – Aceleração da gravidade
H – Pressão mínima regulamentar [kPa]; Energia
j – Perda de carga unitária
k – Coeficiente de perda de carga localizada
l – Distância entre dois pontos
Lm – comprimento da rede [km]
Lp – comprimento médio dos ramais [km]
n – Número de pisos acima do solo
Nc – Número de ramais
p – Pressão
Pmed – pressão média de operação na zona em estudo [mca]
Q – Caudal
r – Distância entre 2 planos
Re – Número de Reynolds [-]
S – Área de superfície planar
S₁ – Área da secção 1
S₂ – Área da secção 2
v - Velocidade
V – Velocidade [m/s]
V₁ – Velocidade do escoamento na secção 1
V₂ – Velocidade do escoamento na secção 2
z – Cota de uma partícula em relação a plano de referência
Z – Cota altimétrica [m]
 γ - Peso volúmico da água [N/m^3]
 ΔH – perda de energia entre dois pontos
 $\Delta H_{\text{cont.}}$ - Perda de carga contínua entre dois pontos
 $\Delta H_{\text{loc.}}$ – Perda de carga localizada
 λ – Coeficiente de resistência de Darcy-Weisbach
 μ – Coeficiente de viscosidade dinâmica ou absoluta [N.s/m^2]

ρ – Massa volúmica da água [Kg/m³]

ν – Coeficiente de viscosidade cinemática [m²/s]

τ – Tensão tangencial

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

3T – Tarifas, Taxas, Transferências

ADSL – *Asymmetric Digital Subscriber Line*

AES – Água entrada no sistema

AF – Água faturada

ANF – Água não faturada

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BH – Balanço Hídrico

CARL – *Current Annual Real Losses*

DMA – District metered area(s)

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

EG – Entidade(s) gestora(s)

EM – Empresa Municipal

EPA – *United States Environmental Protection Agency*

EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA

ETA – Estação de tratamento de água

GPRS – *General Packet Radio Service*

ILI – *Infrastructure Leakage Index*

IWA – *International Water Association*

NEP – Nível económico de perdas

PCC – Ponto de Consumo Crítico

PEAASAR II – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013

PEAD – Polietileno de alta densidade

PEMD – Polietileno de média densidade

PVC – Policloreto de vinilo

SA – Sociedade anónima

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SI – Sistema Internacional de Unidades

SIG – Sistema(s) de informação geográfica

UARL – *Unavoidable Annual Real Losses*

VRP – Válvula redutora de pressão

ZMC – Zona(s) de medição e controlo

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

A gestão competente das entidades gestoras de água é um aspeto fundamental para a sustentabilidade económico-financeira e ambiental de um país. Num futuro que se perspetiva incerto, quer pelo enquadramento geopolítico, quer pelos efeitos antropogénicos no meio ambiente, a água tenderá a ser um bem cada vez mais valorizado e as entidades gestoras serão chamadas a fazer uma gestão mais eficiente dos recursos ambientais e económicos. Neste contexto, as perdas de água ganham especial importância e a sua redução poderá ser um fator decisivo para o sucesso do setor. O aumento da fiabilidade e da segurança é um dos grandes desafios para o futuro dos sistemas e vai ditar a sua capacidade de resposta a acontecimentos extremos, como os períodos de seca ou os fluxos migratórios de grande escala. Um grande volume de perdas resulta na necessidade de captar, tratar e transportar um maior volume de água, aumentando a pressão sobre os recursos hídricos e os custos de operação do serviço. Por outro lado, a existência de fugas nas condutas pode afetar a qualidade e segurança do serviço, diminuindo a pressão e podendo facilitar a contaminação da água tratada por substâncias nocivas para a saúde pública.

As perdas de água não têm todas a mesma natureza, fazendo-se a distinção entre perdas reais e perdas aparentes. Considera-se, em geral, que as perdas reais resultam de perdas físicas ao longo do processo de produção e distribuição da água potável (e.g. fugas nas condutas e ligações, extravasamento de reservatórios) e que as perdas aparentes resultam de volumes de água cedidos que, não sendo cobrados, não geram receita para a entidade gestora (e.g. furtos, erros de medição). Da mesma forma, existem consumos autorizados que, embora não constituam perdas propriamente ditas, não são faturados (e.g. utilizações públicas, bombeiros). Em conjunto, estas três parcelas constituem aquilo a que se chama a “Água não faturada”, ANF. A redução deste volume constitui um dos desafios crónicos do setor.

Nos países desenvolvidos, a reabilitação dos sistemas de abastecimento, que tem vindo a acontecer de forma gradual, constitui uma oportunidade para discutir e estudar estes cenários, existindo ao mesmo tempo, em consequência da revolução tecnológica, uma pressão crescente para as entidades gestoras se

transformarem, na procura de soluções mais tecnológicas e de uma interface com os clientes mais interativa e adaptada aos dias de hoje. Em muitos países em desenvolvimento, a pobreza generalizada, associada à instabilidade social e política, tem dificultado a implementação e manutenção de sistemas de abastecimento, apesar da crescente sensibilização e mobilização da comunidade internacional.

O abastecimento de água potável é um dos pilares de qualquer sociedade saudável e próspera, influenciando diretamente a saúde e o bem-estar da sua população, a produtividade das suas indústrias e da sua agricultura. Constitui, por isso, um serviço público de elevada importância e responsabilidade social e requer uma abordagem ética e ponderada por parte de todos os intervenientes.

1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação compreende os seguintes capítulos:

Capítulo 1

Capítulo introdutório. Apresentação do âmbito geral da dissertação.

Capítulo 2

Capítulo de revisão da literatura. Introdução e caracterização dos sistemas de abastecimento de água: enquadramento histórico, etapas do processo de produção da água potável, órgãos auxiliares. Introdução aos conceitos de “alta” e “baixa”. Caracterização da água e dos escoamentos. O setor do abastecimento de água em Portugal: ponto da situação e plano estratégico. Definição de perdas em sistemas de abastecimento: introdução ao Balanço Hídrico (BH) e aos conceitos de perdas reais e perdas aparentes. Definição de estratégias de redução da Água Não Faturada (ANF): introdução ao Nível Económico de Perdas (NEP). Gestão das perdas reais: monitorização e redução. Zonas de Medição e Controlo (ZMC): critérios de definição, verificação e operação. Introdução à modelação computacional e ao EPANET.

Capítulo 3

Definição do âmbito e objetivos da presente dissertação.

Capítulo 4

Breve introdução à Águas de Gaia, EM, SA e à gestão de perdas de água no concelho de Vila Nova de Gaia.

Capítulo 5

Introdução à área em estudo, afeta ao reservatório da Rasa em Vila Nova de Gaia. Definição de metodologia a seguir e projeto de definição de uma ZMC. Avaliação de possíveis problemas, proposta e avaliação de alternativas. Implementação e monitorização dos caudais cedidos a uma ZMC.

Capítulo 6

Capítulo final. Conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2

REVISÃO DE LITERATURA - SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

As primeiras instalações hidráulicas remontam à Mesopotâmia e Antigo Egito e coincidem com a fundação das primeiras vilas e cidades. Até há cerca de dez mil anos o Homem vivia em pequenas comunidades nómadas que privilegiavam a caça e a coleta de alimentos existentes na natureza. A descoberta e o domínio da agricultura e da pecuária, bem como a aspiração a um modo de vida mais estável, levou estas pequenas comunidades a fixarem-se, nomeadamente nas margens dos rios, surgindo a necessidade da criação de canais de irrigação que permitissem direccionar o escoamento para os campos agrícolas e para uso público. Estes canais, dos quais ainda existem vestígios, constituem os antepassados mais longínquos dos sistemas de abastecimento modernos. Os avanços nesta área foram acompanhando o crescimento destas cidades, que se traduzia em problemas hidráulicos cada vez mais complexos. Ao mesmo tempo, a utilização de novos materiais e a invenção de novas tecnologias permitiram construir e operar sistemas cada vez mais avançados. Foi na Grécia Antiga que se utilizaram pela primeira vez tubos enterrados para abastecimento de água. Nestes sistemas, a água era conduzida por gravidade da nascente, através de canais e aquedutos, até a fontes públicas na cidade. Em tudo semelhante à dos sistemas modernos, esta metodologia demonstra a preocupação em fornecer água com qualidade (melhor na nascente do que nos cursos de água), bem como em aproveitar a pressão existente, fruto do desnível entre a nascente e as cidades. Os Romanos foram os principais responsáveis pela disseminação destes conhecimentos por toda a Europa. Com a queda do seu império verificou-se, no entanto, uma degradação das condições de abastecimento e de saneamento e, conseqüentemente, uma degradação da saúde pública, com várias epidemias a assolarem a Europa na Idade Média. Foi já perto do século XX que, impulsionados por uma crescente consciencialização pública e pelo aparecimento de novas tecnologias, que antecederam a revolução industrial, surgiram os primeiros sistemas de abastecimento modernos (Mays, 2000).

2.2. CARACTERIZAÇÃO

2.2.1. CONSTITUIÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água, tal como o nome indica, devem ser capazes de fornecer água com qualidade aceitável a uma determinada população ou entidade, de acordo com as suas necessidades. Para tal, é necessário aceder a uma fonte, à superfície ou em profundidade, da qual é extraída a água, num processo a que se dá o nome de captação. A água captada é posteriormente sujeita a tratamento em estações especializadas. Este tratamento tem como objetivo a obtenção de um produto adaptado ao consumo humano, a água potável. A água é depois transportada em condutas adutoras até reservatórios, antes de ser distribuída. Contudo, nem toda a água captada é distribuída, existindo perdas durante o processo, bem como possibilidade de transferências de água entre sistemas. Nesse sentido, o seccionamento entre etapas, através da medição de caudais, é essencial para um controlo efetivo do processo, permitindo obter dados fidedignos para executar balanços hídricos e estimar as perdas em cada etapa. Na Fig.2.1. apresenta-se esquematizado o processo acima descrito.

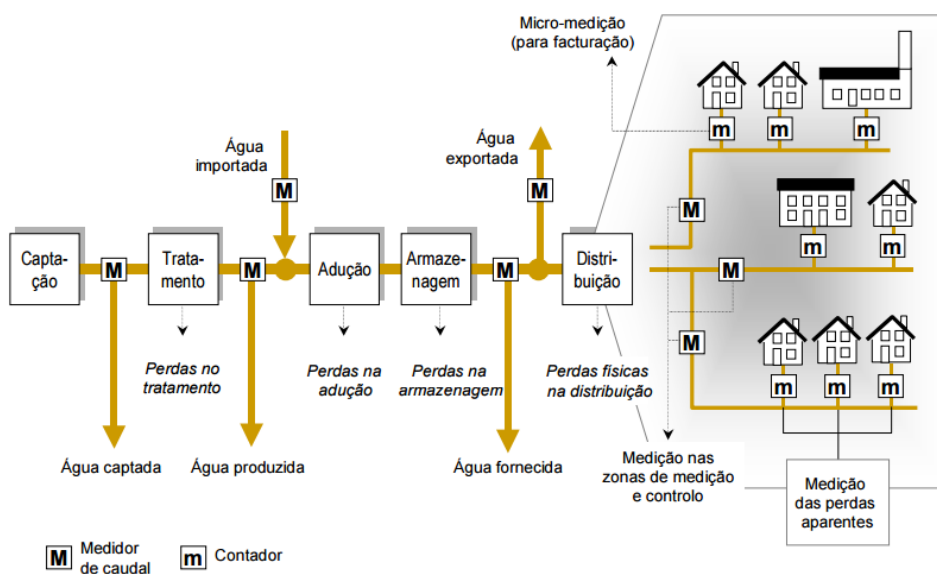


Fig.2.1. - Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com os componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal (Coelho, Loureiro et al., 2006)

2.2.1.1. Captação

Como referido, a água introduzida nos sistemas pode ter várias origens. Embora em número existam mais captações subterrâneas, estima-se que cerca de 67% da água introduzida na rede em Portugal no ano de 2015 provinha de origens superficiais (ERSAR, 2016). Estas apresentam a vantagem de serem facilmente acessíveis e de, em geral, disponibilizarem maiores quantidades de água. Por outro lado, tendem a fornecer água de pior qualidade, sendo mais suscetíveis a fatores de poluição externos. As

captações superficiais podem ser realizadas em albufeiras ou diretamente em cursos de água, sem influência de qualquer obra de retenção. As captações em albufeira caracterizam-se pela estagnação das massas de água, o que afeta a sua qualidade. Nesse sentido, deve ter-se em conta o nível a que é feita a extração (qualidade da água estratificada), o assoreamento ou erosão das albufeiras, e a eutrofização, causada pelo excesso de nutrientes na água. Por outro lado, nas captações sem obra de retenção deve estudar-se o impacto que a estrutura de captação terá no escoamento e na morfologia dos rios. As captações têm efeitos nefastos sobre os recursos hídricos, alterando as condições de escoamento e aumentando a pressão sobre os ecossistemas fluviais. A escolha do tipo de estrutura de captação deve incorporar a análise destas condicionantes. Entre as estruturas de captação destacam-se:

- Captação em torre – Estrutura em torre, adequada a captações de nível variável. A água é captada através de janelas na sua superfície que permitem a recolha nos níveis mais adequados. A água é depois bombada recorrendo a grupos elevatórios no interior da estrutura;
- Captação em poço – A estrutura de captação encontra-se enterrada na margem da albufeira, fazendo-se a tomada de água por condutas. A água é depois bombada recorrendo a grupos elevatórios no interior da estrutura;
- Captação mista – Estrutura em torre parcialmente enterrada na margem da albufeira, representando uma mistura entre os dois métodos anteriores;
- Captação flutuante – Recorre a uma plataforma flutuante que acompanha variações do nível da água. A água é bombada recorrendo a grupos elevatórios que assentam ou estão suspensos na plataforma;
- Captação no corpo da barragem – Estrutura de captação desenhada no corpo da barragem, com funcionamento similar às captações em torre;
- Captação em canal derivado – Recorre a um canal que deriva a água do seu leito normal;
- Captação em canal lateral – Estrutura utilizada em captações sem capacidade de regularização.

A captação de água subterrânea consiste na sua extração de formações geológicas permeáveis, os aquíferos. A qualidade desta água é geralmente superior devido a um processo de filtração natural e ao facto de ser menos suscetível a fatores de poluição externos. Por outro lado, nem sempre está disponível em grandes quantidades e a sua extração é mais difícil, requerendo equipamento mais avançado. As captações subterrâneas podem ser classificadas como horizontais (e.g. drenos, galerias), verticais (e.g. poços, furos) ou mistas (Pacheco Figueiredo, 2015).

2.2.1.2. Tratamento

O tratamento em estações de tratamento de água, ETA, tem como objetivo principal a produção de água própria para o consumo humano, tal como é definida na legislação. O processo de tratamento consiste na adequação das propriedades da água bruta aos limites estabelecidos para os vários parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. Existem em Portugal 261 estações de tratamento (ERSAR, 2016). O tratamento de água em ETA é bastante complexo, sendo apresentado neste trabalho de forma muito simplificada.

A qualidade da água varia consoante a localização da captação e, consequentemente, também o tratamento está dependente da qualidade da água na origem. Em geral, é comum fazer-se uma distinção entre o tratamento de água de origem superficial e de origem subterrânea, como demonstram as Fig.2.2. e Fig.2.3. O tratamento de água é geralmente segmentado em três etapas: um tratamento físico, um tratamento químico e um tratamento biológico.



Fig.2.2. - Esquema-tipo de tratamento de água de origem superficial em Portugal (Vieira, Rosa et al., 2007)

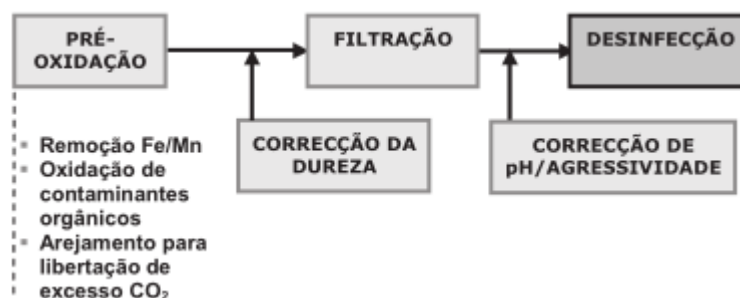


Fig.2.3. - Esquema-tipo de tratamento de água de origem subterrânea em Portugal (Vieira, Rosa et al., 2007)

O tratamento físico tem como objetivo a remoção de partículas sólidas da massa de água. Engloba, por exemplo, a fase da decantação, onde se procede à remoção das partículas sólidas em suspensão e de eventuais partículas que não tenham sido ainda removidas. Durante o tratamento químico, entre outros procedimentos, é realizada uma correção do pH, por adição de bases (e.g. cal hidratada) ou ácidos (e.g. ácido sulfúrico), e uma cloração da água com vista à sua desinfecção, precavendo o risco de contaminação no seu percurso até ao cliente (Tentúgal Valente, 2015).

2.2.1.3. Elevação e transporte

O transporte da água após o tratamento é geralmente feito em condutas adutoras sob pressão, por gravidade ou, em alternativa, com recurso a grupos elevatórios. Existem em Portugal 2 313 estações elevatórias, das quais 494 são geridas por entidades gestoras em alta e 1819 por entidades gestoras em baixa (ERSAR, 2016).

2.2.1.4. Armazenamento

O armazenamento da água tratada é feito em reservatórios. O recurso a estes dispositivos permite a regularização dos caudais afluentes e cedidos, enchendo ou esvaziando consoante as solicitações. Para além disso, estabelecem uma reserva de água que pode ser fundamental em situações de interrupção do sistema de abastecimento a montante, aumentando a fiabilidade do sistema, e permitem equilibrar as pressões na rede e regularizar o funcionamento dos grupos elevatórios. Existem em Portugal 8 732 reservatórios, com uma capacidade total de 5 070 452 m³, o que, em média, corresponde a 1,35 dias de abastecimento (ERSAR, 2016). Os reservatórios são geralmente classificados consoante a sua função, o nível da sua soleira e a sua localização. A classificação quanto à função distingue os reservatórios de distribuição e os reservatórios de regularização. No segundo caso os reservatórios cumprem apenas a função de regularização de caudais. No que toca ao nível da soleira, os reservatórios podem considerar-se enterrados, semienterrados, apoiados ou elevados, como demonstra a Fig.2.4.

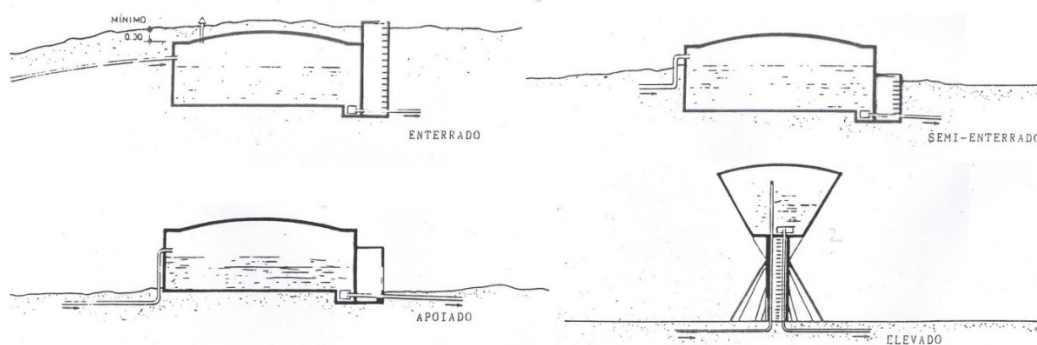


Fig.2.4. - Tipos de reservatórios quanto ao nível da soleira (Valente Neves, 2007)

Em termos da sua localização, podem classificar-se como reservatórios de origem, caso sejam os únicos a abastecer uma determinada rede, ou reservatórios de extremidade, se receberem caudais provenientes da própria rede. Os reservatórios podem ainda classificar-se quanto à sua forma, o número de células que os compõe, a sua capacidade ou o material de que são feitos (Valente Neves, 2007).

2.2.1.5. Distribuição

A distribuição é feita recorrendo a redes de condutas em geral enterradas no eixo da via pública, que transportam a água sob pressão dos reservatórios até aos utilizadores. A existência de redundâncias na rede, embora não seja regulamentar, é importante para aumentar a fiabilidade do sistema, fornecendo percursos alternativos para a água e assegurando a continuidade do abastecimento no caso de uma conduta ficar, por algum motivo, inoperável. A esse circuito fechado dá-se o nome de malha. As redes constituídas por malhas são geralmente designadas de emalhadas. Por sua vez, as redes sem redundâncias consideram-se ramificadas (Poças Martins, 2014).

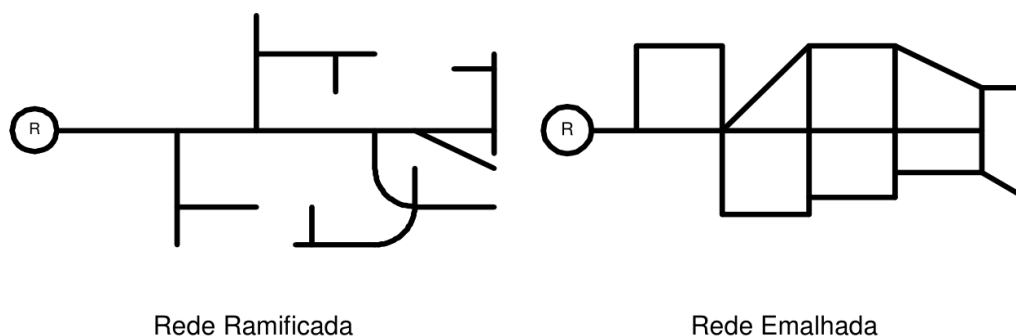


Fig.2.5. - Redes Ramificadas e Emalhadas (Valente Neves, 2007)

Em termos de infraestruturas, Portugal Continental conta com uma rede de abastecimento com cerca de 108 757 km, com 96% dos alojamentos a serem servidos por sistemas públicos de abastecimento de água. Anualmente são realizadas cerca de 508 mil análises à qualidade da água e 98,65% da água da torneira nestes serviços é controlada e de boa qualidade (ERSAR, 2016).

Dimensionamento, implantação e materiais – Decreto-lei n. °23/95, de 23 de agosto

No dimensionamento de sistemas de distribuição devem considerar-se os caudais diários médios anuais previstos no ano de início da exploração e no ano horizonte de projeto, afetados de um fator de ponta instantâneo, a que se adicionam os caudais de fugas e perdas.

Em termos do dimensionamento hidráulico, o Decreto-lei n. °23/95 de 23 de agosto, determina que:

- A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder o valor calculado por:

$$V = 0.127 \times D^{0.4} \quad (2.1.)$$

onde V é a velocidade limite em m/s e D o diâmetro da tubagem em mm;

- A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no ano de início de exploração do sistema não deve ser inferior a 0,30m/s e nas condutas onde não seja possível verificar este limite devem prever-se dispositivos adequados para descarga periódica;
- A pressão máxima, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização não deve ultrapassar os 600kPa medida ao nível do solo;
- Não é aceitável grande flutuação de pressões em cada nó do sistema, impondo-se uma variação máxima ao longo do dia de 300kPa;
- A pressão de serviço em qualquer dispositivo de utilização predial para o caudal de ponta não deve ser, em regra, inferior a 100kPa o que, na rede pública e ao nível do arruamento, corresponde aproximadamente a:

$$H = 100 + 40n \quad (2.2.)$$

onde H é a pressão mínima em kPa e n é o número de pisos, incluindo o rés-do-chão, acima do solo.

O mesmo Decreto-Lei estipula que os diâmetros nominais das condutas de distribuição não podem ser inferiores a 60mm, em aglomerados com menos de 20 000 habitantes e 80mm, em aglomerados com mais de 20 000 habitantes. Para além disso, são apresentados diâmetros mínimos para as situações em que é necessário assegurar o combate de incêndios, em função do risco da zona.

A implantação das condutas de distribuição deve ser articulada com a das demais infraestruturas. As condutas devem ser implantadas, se possível, fora das faixas de rodagem e em ambos os lados dos arruamentos, a uma distância nunca inferior a 0,80m dos limites das propriedades. As condutas de distribuição devem ser implantadas num plano superior ao dos coletores de águas residuais e a uma distância não inferior a 1m, de maneira a dificultar possíveis contaminações.

A profundidade das condutas não deve ser inferior a 0,80m, medida entre a geratriz exterior superior da conduta e o nível do pavimento. Em casos em que tal seja impossível, as condutas devem ser convenientemente protegidas mecânica, térmica e sanitariamente.

As condutas de distribuição podem ser de policloreto de vinilo (PVC), betão armado, polietileno de média (PEMD) ou alta densidade (PEAD), poliéster reforçado com fibra de vidro, ferro fundido, aço ou outros materiais que cumpram os requisitos.

Ramais de ligação

Os ramais de ligação asseguram a ligação entre a rede pública e o limite das propriedades a servir. O diâmetro nominal mínimo em ramais de ligação é de 20mm.

2.2.1.6. Órgãos auxiliares

A utilização de órgãos auxiliares é fundamental para a segurança e operação dos sistemas de abastecimento. A contínua investigação nesta área tem proporcionado o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais avançados e com as mais diversas funções.

Órgãos de Manobra e Segurança

- Válvulas de Seccionamento – Permitem isolar trechos da rede, minimizando os efeitos de eventuais interrupções no abastecimento. De acordo com o Decreto-Lei 23/95 devem ser

colocadas nos ramais de ligação, junto de acessórios que possam ter de ser colocados fora de serviço, ao longo da rede, permitindo isolar áreas com um máximo de 500 habitantes, ao longo de condutas da rede de distribuição sem serviço de percurso, com espaçamentos não superiores a 1000 metros, para além de nos cruzamentos e entroncamentos principais. Existem vários tipos de válvulas de seccionamento, destacando-se a “válvula de cunha” e a “válvula de borboleta” (Valente Neves, 2007).



Fig.2.6. - Válvula de Seccionamento (TALIS, 2016)

- Descargas de Fundo – Permitem o esvaziamento de troços de conduta e de partes de rede situados entre válvulas de seccionamento, permitindo a sua reparação, limpeza ou substituição. Devem ser instaladas nos pontos baixos da rede ou em pontos médios de condutas extensas com o mesmo sentido de inclinação de modo a diminuir o tempo de esvaziamento, sendo colocadas a montante ou a jusante de válvulas de seccionamento, consoante se trate respetivamente de um troço descendente ou ascendente de uma conduta (Valente Neves, 2007).
- Válvulas de Retenção – Têm como objetivo evitar a inversão do sentido do escoamento, devendo ser colocadas imediatamente a jusante de cada grupo elevatório (Valente Neves, 2007).



Fig.2.7. - Válvula de retenção (TALIS, 2016)

- Ventosas – Permitem a expulsão do ar acumulado nos pontos altos da rede e a admissão de ar quando ocorrem depressões nas condutas. Devem ser colocadas nos pontos altos e nas condutas de extensão superior a 1000m a montante ou a jusante das válvulas de seccionamento consoante se encontrem respetivamente em troços ascendentes ou descendentes. Para além disso, devem colocar-se a jusante de condutas descendentes pouco inclinadas, se estas forem seguidas de condutas descendentes mais inclinadas. O seu diâmetro não deve ser inferior a 20mm e a um oitavo do diâmetro da conduta onde é instalada (Valente Neves, 2007).



Fig.2.8. - Ventosa (TALIS, 2016)

Órgãos de Regulação e Controlo

- Válvulas de Controlo de Caudal
 - Válvulas Reguladoras de Caudal - Permitem limitar o máximo caudal escoado a um valor pré-definido, independentemente da variação das solicitações e da pressão (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).
 - Válvula de Sobrevelocidade - Permitem, por questões de segurança, interromper o escoamento caso se verifiquem velocidades excessivas (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).
- Válvulas Redutoras de Pressão (VRP)
 - Tipo 1 - Permitem manter a pressão constante a jusante, limitando-a a um limite máximo pré-definido, independentemente das variações de pressão a montante ou do caudal, desde que a pressão montante se mantenha superior à regulada aquando da instalação da válvula (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).
 - Tipo 2 – Permitem limitar a pressão a jusante, estabelecendo um limite proporcional relativamente à pressão a montante, independentemente da variação do caudal (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).



Fig.2.9. - Válvula redutora de pressão do tipo 1 (TALIS, 2016)

- Câmaras de Perda de Carga – Permitem a redução da pressão até ao valor da pressão atmosférica através de um reservatório com superfície livre (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).
- Válvulas sustentadoras de pressão
 - Válvulas altimétricas – Permitem limitar a pressão mínima a montante a um valor mínimo pré-definido, independentemente da variação das solicitações e do caudal.
 - Válvulas de alívio de pressão – Permitem o alívio rápido da pressão quando esta atinge um limite máximo pré-definido.
 - Válvulas Sustentadoras de Pressão Diferencial – Permitem limitar a diferença entre a pressão a montante e a jusante a um limite mínimo pré-definido, independentemente da variação do caudal e da pressão (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).



Fig.2.10. - Válvula de alívio de pressão (TALIS, 2016)

- Válvulas de Controlo de Nível – Permitem fazer a operação dos reservatórios em função dos volumes que se pretendem ter disponíveis. É possível, por exemplo, fazer a regulação de forma

a ter o reservatório sempre cheio, em que os grupos elevatórios são acionados assim que o nível no reservatório se encontra abaixo do definido como o nível máximo. Pode ainda fazer-se uma regulação estabelecendo dois níveis, um máximo e um mínimo, não havendo mudança do estado dos grupos elevatórios entre os dois níveis. Em ambos os casos a operação é feita com recurso a um flutuador que comunica o seu nível com a válvula (Tentúgal Valente e Pacheco Figueiredo, 2015).



Fig.2.11. - Válvula com flutuador TALIS, 2016

Hidrantes

Os hidrantes correspondem às bocas de incêndio e marcos de água, sendo o seu uso destinado exclusivamente às corporações de bombeiros locais. A sua localização deve ser determinada em articulação com estes, estando sujeita a limites de espaçamento máximos, em função do grau de risco de incêndio da zona.



Fig.2.12. - Marco de incêndio (FUCOLI-SOMEPAL S.A., 2016)

2.2.2. COMPONENTES EM ALTA E EM BAIXA

Segundo o Decreto-lei 379/93, a designação “em alta” serve para caracterizar as componentes dos sistemas a “montante” da distribuição de água. Nesse sentido, incorpora as fases de captação, transporte e tratamento da água bruta, cedendo-a aos sistemas em baixa. Por seu lado, a designação “em baixa” engloba as fases de transporte, armazenamento em reservatórios urbanos e distribuição da água, estabelecendo a ligação entre a componente “em alta” e o consumidor final.

2.2.3. CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO

O conhecimento profundo das condições de escoamento é fundamental para a adequada conceção e operação de sistemas de abastecimento de água. Como referido, o escoamento nestes sistemas faz-se sob pressão em tubagens enterradas, apresentando assim a vantagem de ser menos vulnerável a fatores de poluição externos. A pressão na rede resulta do desnível natural entre a origem e o destino da água. Quando tal não é possível recorre-se a grupos elevatórios que, introduzindo energia no sistema, permitem elevar a água até à cota pretendida. Contudo, ao longo de todo o percurso o escoamento vai sofrendo perdas de energia.

2.2.3.1. Propriedades da água

Do ponto de vista mecânico, a água é um fluido incompressível, apresentando a capacidade dos fluídos de se deformar indefinidamente quando sujeita a esforços tangenciais e não sofrendo uma redução de volume quando sujeita a um aumento de pressão. A água pode ainda ser vista como um fluído newtoniano, ou de viscosidade newtoniana, o que significa a existência de uma linearidade quase pura entre as tensões tangenciais aplicadas e a velocidade de deformação angular (Novais Barbosa, 1985).

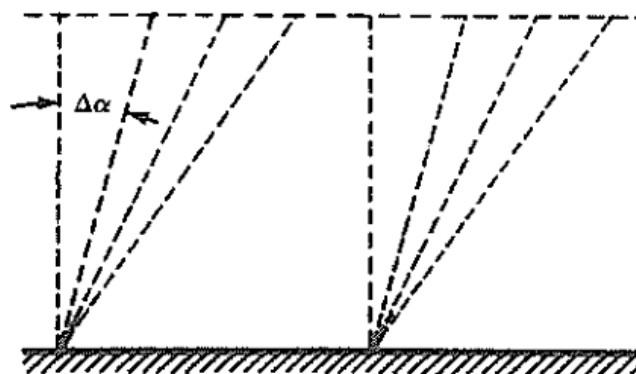


Fig.2.13. - Deformação angular de um fluído (Novais Barbosa, 1985)

A água pode ser caracterizada por várias propriedades mecânicas que ajudam a compreender o seu comportamento. Entre elas, o peso volúmico (γ) e a massa volúmica (ρ). Tal como o nome indica, o peso volúmico corresponde ao peso por unidade de volume e a massa volúmica à massa por unidade de volume. Ambas as grandezas dependem da temperatura da água, conforme se constata no seguinte quadro:

Quadro 2.1. - Peso volúmico e massa volúmica da água a diferentes temperaturas em unidades SI (Novais Barbosa, 1985)

Temperatura	γ	ρ
°C	N/m ³	Kg/m ³
0	9809	999.9
4	9810	1000
20	9792	998.2
40	9733	992.2
60	9645	983.2
80	9533	971.8
100	9402	958.4

Como se verifica pela análise do quadro, a água apresenta peso e massa volúmcicos máximos para uma temperatura de 4°C. Nesse sentido, os valores de 9810 N/m³ e 1000 Kg/m³, respetivamente, são geralmente usados como referência.

A água apresenta ainda viscosidade, uma propriedade associada à resistência à deformação dos fluídos em movimento a uma dada temperatura. Considerando dois elementos planares paralelos de área ∂S e a uma distância infinitesimal ∂r , em que um se desloca com velocidade $\vec{v}$ e outro com velocidade $\vec{v} + \partial \vec{v}$ na mesma direção, verificou-se que o mais rápido tende a arrastar o mais lento, gerando-se uma força tangencial $\partial \vec{F}$ cuja intensidade é, em fluídos newtonianos, proporcional à área ∂S e ao gradiente das velocidades segundo a normal (Novais Barbosa, 1985).

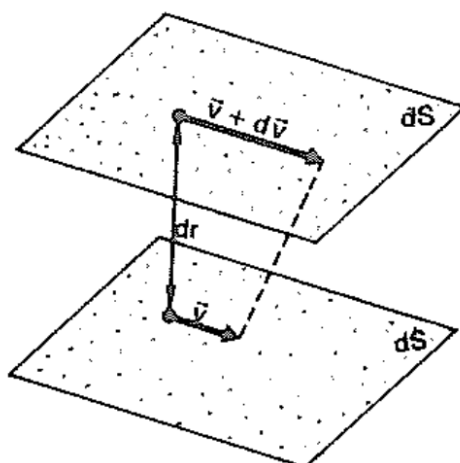


Fig.2.14. - Definição do coeficiente de viscosidade (Novais Barbosa, 1985)

$$\partial F = \mu \cdot \partial S \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \quad (2.3.)$$

Sendo que $\frac{\partial F}{\partial S}$ pode ser dado por τ , que representa a tensão tangencial. O coeficiente de proporcionalidade μ , também designado coeficiente de viscosidade dinâmica ou absoluta pode, então, ser definido como:

$$\mu = \tau \cdot \frac{dr}{dv} \quad (2.4.)$$

A viscosidade pode ainda ser dada pelo coeficiente de viscosidade cinemática, ν , independente da massa volúmica do fluído, sendo dado por:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.5.)$$

Quadro 2.2. - Viscosidade da água a diferentes temperaturas (Novais Barbosa, 1985)

Temperatura	Viscosidade cinemática (ν)	Viscosidade dinâmica ou absoluta (μ)
°C	m^2/s	$N.s/m^2$
0	1.78×10^{-6}	1.78×10^{-3}
4	1.56×10^{-6}	1.56×10^{-3}
10	1.31×10^{-6}	1.31×10^{-3}

20	1.01×10^{-6}	1.01×10^{-3}
30	0.81×10^{-6}	0.81×10^{-3}
40	0.66×10^{-6}	0.66×10^{-3}
50	0.56×10^{-6}	0.55×10^{-3}
60	0.47×10^{-6}	0.41×10^{-3}
80	0.36×10^{-6}	0.35×10^{-3}
100	0.28×10^{-6}	0.27×10^{-3}

2.2.3.2. Classificação dos escoamentos

Escoamentos permanentes e não permanentes - Um escoamento diz-se permanente quando todas as variáveis que o caracterizam são independentes do tempo. Se, pelo menos, uma das variáveis variar com o tempo, o escoamento diz-se não-permanente. Os escoamentos permanentes podem ainda caracterizar-se como variados, se a sua velocidade variar ao longo da trajetória, ou uniformes, se a velocidade se mantiver constante.

Escoamentos rotacionais ou irrotacionais - Classificação associada à ocorrência de rotação nas partículas em movimento.

Escoamentos laminares ou turbulentos - A classificação dos escoamentos como laminares ou turbulentos está associada à ordem de grandeza da sua velocidade. Os escoamentos laminares estão associados a velocidades inferiores, tendo-se verificado o aparecimento de camadas de fluido sobrepostas. O aumento da velocidade é responsável pela instabilidade destas formações laminares e, após um período de transição, o escoamento diz-se turbulento. Nos escoamentos turbulentos verifica-se uma dissipação completa da estrutura em lâminas e variações bruscas das características do escoamento.

Num tubo, o tipo de escoamento, laminar ou turbulento, pode ser determinado através do número de Reynolds, Re , parâmetro adimensional que relaciona a velocidade de escoamento (V), o diâmetro do tubo (D) e a viscosidade do fluido (ν).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.6.)$$

Escoamentos exteriores ou interiores – Tal como o nome indica os escoamentos interiores dão-se quando o fluido é total ou parcialmente envolvido por fronteiras sólidas. No caso dos escoamentos

exteriores o fluído em movimento envolve por completo as fronteiras sólidas que constituem os limites do escoamento. O escoamento em sistemas de abastecimento urbanos é, de forma geral, interior.

Escoamentos sob pressão, com superfície livre ou em meios porosos – Nos escoamentos sob pressão, tal como o nome indica, os fluídos exercem pressão sobre as fronteiras do escoamento. Este tipo de escoamento dá-se, geralmente, no interior de tubos, como no caso dos sistemas de abastecimento urbanos. Nos escoamentos com superfície livre o fluído escoar em contacto permanente com a atmosfera. São os escoamentos verificados em canais e rios. Em meios porosos, o escoamento verificado reúne características dos escoamentos interiores e exteriores (Novais Barbosa, 1985).

2.2.3.3. Equações gerais do movimento de fluídos em sistemas de abastecimento

Lei da Conservação da Massa

A lei da conservação da massa para o escoamento de um fluído incompressível através de um tubo pode ser traduzida pela equação de continuidade. Considerando duas secções, S_1 e S_2 , a quantidade de fluído que entra pela secção S_1 tem de ser igual à quantidade de fluído que sai pela secção S_2 (Novais Barbosa, 1985).



Fig.2.15 - Aplicação da equação de continuidade ao escoamento no interior de um tubo (Novais Barbosa, 1985)

A quantidade de fluído é dada pelo caudal, Q , ou seja, o volume que atravessa uma dada secção de controlo por unidade de tempo. O caudal é ainda dado pelo produto da área, S , da secção, pela velocidade, V , do fluído:

$$Q = VS = \text{constante} \Leftrightarrow V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad (2.7.)$$

Lei da Conservação da Energia – Teorema de Bernoulli

A Lei da Conservação da Energia estipula que a diferença de energia entre dois pontos da rede corresponde às perdas de carga no trajeto entre eles. Segundo a Teoria de Bernoulli, a energia mecânica de uma partícula é dada pela soma das energias potenciais de posição, piezométrica e cinética:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.8.)$$

A energia potencial de posição é dada por z , que corresponde à cota da partícula em relação a um dado plano horizontal de referência. A altura piezométrica, dada por p/γ , corresponde à energia potencial de pressão da partícula por unidade de peso. À soma da cota com a altura piezométrica é usual chamar-se cota piezométrica. A altura cinética é dada por $v^2/2g$, o que representa a energia cinética por unidade de peso de uma partícula animada de velocidade v . À linha que une os pontos definidos pela cota H em cada secção do escoamento dá-se o nome de linha de energia, ou seja, a diferença da cota da linha de energia entre dois pontos corresponde à perda de carga nesse trajeto (Novais Barbosa, 1985).

A perda de energia ou perda de carga (ΔH) entre dois pontos, 1 e 2, é então dada por:

$$\Delta H_{1-2} = H_2 - H_1 = \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)_2 - \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)_1 \quad (2.9.)$$

A perda de carga entre dois pontos pode também ser definida por duas componentes, uma contínua, que acontece ao longo do percurso, resultante da fricção entre a massa líquida e as paredes das tubagens, e uma localizada, resultante do atravessamento, pelo escoamento, de equipamentos ou singularidades existentes na rede (e.g. válvulas, curvas).

$$\Delta H = \Delta H_{cont.} + \sum \Delta H_{loc.} \quad (2.10.)$$

A perda de carga contínua entre dois pontos é dada pelo produto de um valor j , designado perda de carga unitária, pelo comprimento do troço de conduta entre eles.

$$\Delta H_{cont.} = j \cdot l \quad (2.11.)$$

Onde a perda de carga unitária, j , é dada por:

$$j = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.12.)$$

Onde D é o diâmetro do tubo, $v^2/2g$ é a altura cinética e λ é um coeficiente de resistência que depende das características do fluido e da conduta e pode ser obtido de forma iterativa, através da expressão de *Colebrook-White*:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7D} \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.13.)$$

A perda de carga localizada provocada por uma certa singularidade é dada pelo produto da altura cinética por um coeficiente de perda de carga localizada, k , que depende da geometria da singularidade (Novais Barbosa, 1985):

$$\Delta H_{loc.} = k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.14.)$$

2.2.3.4. Leis da continuidade em redes

Da aplicação das leis da conservação da massa e conservação da energia a uma rede de distribuição resultam as seguintes premissas (Poças Martins, 2014):

- A soma dos caudais afluentes e cedidos por um qualquer nó da rede, num determinado momento, é igual a zero.

$$\sum Q = 0 \quad (2.15.)$$

- A soma das perdas de carga nos tubos de cada malha é nula.

$$\sum \Delta H = 0 \quad (2.16.)$$

2.3. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR EM PORTUGAL

O setor de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais desempenha um serviço público de extrema importância para o país, influenciando a qualidade de vida das pessoas, a produtividade das empresas e a sustentabilidade do meio ambiente. A acessibilidade dos serviços rondava em 2011 95% da população, em linha com os objetivos traçados no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais, PEAASAR.

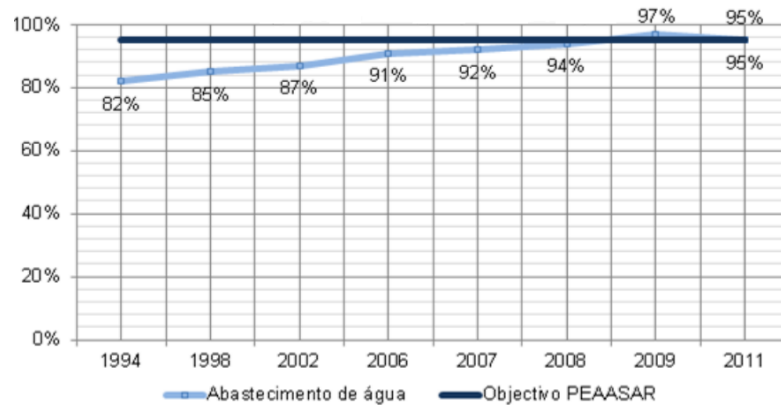


Fig.2.16. - Acessibilidade dos serviços de abastecimento de água em Portugal (1994-2011) (retirado do PENSAAR 2020)

Enquanto serviço público, os Serviços de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais devem respeitar e promover os seguintes princípios (Marques, 2011):

- Universalidade de acesso ao serviço – Todos os cidadãos devem ter acesso ao serviço em condições de igualdade (preço e qualidade), independentemente da localização geográfica ou condição social;
- Equidade – Todos os utilizadores devem ser considerados em condições de igualdade, ainda que, para se cumprir o princípio da universalidade de acesso, se tenham de estabelecer regimes de proporcionalidade no que se refere às tarifas;
- Acessibilidade – Os preços devem ser acessíveis a todas as pessoas e deve garantir-se que as populações com baixos rendimentos ou com necessidades sociais especiais não são privadas de aceder ao serviço;
- Continuidade – O serviço deve ser prestado de forma continuada, admitindo-se a sua interrupção temporária em situações pontuais ou justificadas atempadamente;
- Adaptabilidade – Os Serviços devem evoluir e adaptar-se, de forma a responder às necessidades dos utilizadores;
- Transparência – A realização do serviço deve ser pautada pela transparência. Os processos de decisão devem ser públicos e publicitados e o valor das tarifas deve ser claro e justificado;
- Participação – Os diferentes investidores e os utilizadores devem participar nas decisões dos operadores e reguladores, fazendo sugestões, críticas e comentários;
- Resolução de conflitos – Os utilizadores devem dispor de mecanismos de resolução de litígios e o regulador deve promover a mediação e conciliação desses conflitos.

Os operadores devem procurar compatibilizar estes princípios com a procura da sustentabilidade financeira e ambiental dos serviços. Para tal, deve procurar estabelecer-se uma política de tarifas sustentável, que evite o endividamento excessivo, e adotar-se uma política ambiental que promova a sustentabilidade dos recursos hídricos e ambientais (ERSAR, 2016). Neste âmbito, é realizado anualmente o “Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal”. Desenvolvido pela

ERSAR, este relatório constitui um importante instrumento para a compreensão e caracterização do setor em Portugal, apresentando dados concretos sobre o setor.

2.3.1. PRINCIPAIS INTERVENIENTES

2.3.1.1. Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR)

A ERSAR tem como objetivos assegurar a sustentabilidade social dos serviços (acesso, qualidade e razoabilidade do preço), assegurando os direitos dos utilizadores. Deve ainda assegurar a sustentabilidade económica, infraestrutural e de recursos humanos das EG e assegurar a sustentabilidade ambiental, com vista à preservação dos recursos ambientais e à prevenção da poluição. O modelo de regulação imposto pela ERSAR assenta em duas vertentes: uma regulação estrutural do setor, ajudando na clarificação das suas regras de funcionamento, monitorizando estratégias, e uma regulação do comportamento das entidades gestoras (EG), monitorizando o seu cumprimento da legislação e dos contratos assinados, a qualidade do serviço, a interface com os utilizadores e a sua situação económica. A ERSAR é ainda responsável por avaliar e comparar o desempenho das EG, tendo como objetivo promover a competição saudável entre si (ERSAR, 2016).

2.3.1.2. Entidades da administração central

Entre as entidades da administração central, destacam-se a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), que tem como objetivo a promoção e o desenvolvimento de políticas de sustentabilidade ambiental, auxiliando na sua implementação, e ainda as diversas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional, as Inspeções-Gerais, o Conselho Nacional da Água, a Direção Geral de Saúde, entre outras entidades (ERSAR, 2016).

2.3.1.3. Entidades prestadoras de serviços

As entidades prestadoras de serviços são as responsáveis pela produção de água potável, da captação à distribuição, fazendo-se uma distinção entre entidades gestoras (EG) em alta e em baixa, consoante sejam responsáveis pelas componentes em alta ou em baixa dos sistemas de distribuição. As entidades gestoras podem ter titularidade estatal, como acontece no caso da EPAL (Empresa Pública das Águas Livres, SA), responsável pela gestão urbana da água no concelho de Lisboa. Na generalidade dos casos, porém, os sistemas têm titularidade municipal, ou seja, são os municípios os responsáveis pela sua gestão ou delegação a entidade gestora competente, privada ou pública. A legislação portuguesa contempla, no Decreto-Lei n.º 92/2013 de 11 de julho, a possibilidade de se adotar um de três modelos de gestão: um modelo de gestão direta, um modelo de gestão delegada ou um modelo de gestão concessionada.

No **modelo de gestão direta** o sistema está sobre tutela do município, sendo operado através dos respetivos serviços municipais, municipalizados ou intermunicipalizados. A diferença entre os serviços municipais e os municipalizados consiste na maior autonomia administrativa e financeira dos últimos. Ambos são, no entanto, serviços integrados no município. Nos **modelos de gestão delegada** o sistema é operado por empresas criadas ou designadas para o efeito pelos municípios. Este tipo de modelo

pressupõe a assinatura de um contrato de gestão que defina os objetivos a prosseguir pela empresa e a política de tarifas a aplicar e contempla a possibilidade de se constituírem parcerias público-privadas, através de contratação pública, mas mantendo sempre influência pública dominante. Nos **modelos de gestão concessionada** os municípios, ou associações de municípios, atribuem a gestão do respetivo sistema a uma empresa de capitais públicos ou privados. Nestes modelos são assinados contratos de concessão que fixam os direitos e obrigações de ambas as partes. No caso de concessões municipais, o prazo máximo de concessão é de 30 anos. A opção de concessionar deve ser justificada por estudos de viabilidade financeira (ERSAR, 2016).

Quadro 2.3. - Modelos de gestão de serviços de água e resíduos de titularidade municipal ou intermunicipal (ERSAR, 2016)

Modelo	Entidade gestora	Tipo de colaboração
Gestão direta	Serviços municipais	Não aplicável
	Serviços municipalizados ou intermunicipalizados	Colaboração entre dois ou mais municípios no caso de serviços intermunicipalizados
	Associação de municípios	Constituição de uma pessoa coletiva de direito público integrada por vários municípios
Gestão delegada	Empresa constituída em parceria com o Estado (integrada no setor empresarial local ou do Estado)	Participação do Estado e municípios no capital social da entidade gestora da parceria
	Empresa do setor empresarial local sem participação do Estado (constituída nos termos da lei comercial)	Eventual participação de vários municípios no capital social da entidade gestora, no caso de serviço intermunicipal, podendo ocorrer participação minoritária de capitais privados
	Junta de freguesia e associação de utilizadores	Acordos ou protocolos de delegação entre município e junta de freguesia ou associação de utilizadores

Gestão concessionada	Entidade concessionária municipal	Parceria Público-Privada (municípios e outras entidades privadas)
----------------------	-----------------------------------	---

Entidades Gestoras em alta

As entidades gestoras em alta são responsáveis pelas componentes em alta dos sistemas de abastecimento, da captação da água até à sua entrega a entidades gestoras em baixa. Como se verifica na Fig.2.17., as concessões multimunicipais são o modelo de gestão predominante em Portugal Continental, abrangendo 174 municípios, com uma população total superior a 5 milhões de habitantes. A opção por este tipo de modelo começou a ganhar peso na segunda metade da década de 1990, sendo hoje, claramente, o modelo de gestão preferencial nas entidades gestoras em alta (ERSAR, 2016).



Fig.2.17. - Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de abastecimento de água em alta em 2015 (ERSAR, 2016)

Entidades Gestoras em baixa

As entidades gestoras em baixa são as responsáveis pela componente em baixa dos sistemas, desde a receção da água das entidades gestoras em alta até à sua distribuição pelos clientes. Como se verifica na Fig.2.18., a situação atual, no que diz respeito aos modelos de gestão adotados, é bastante heterogénea. O modelo de gestão direta continua a ser predominante em Portugal, abrangendo cerca de 70% do total de municípios e mais de metade da população. A opção por outros modelos de gestão tem-se verificado predominantemente no litoral, nomeadamente nos grandes centros urbanos (ERSAR, 2016).

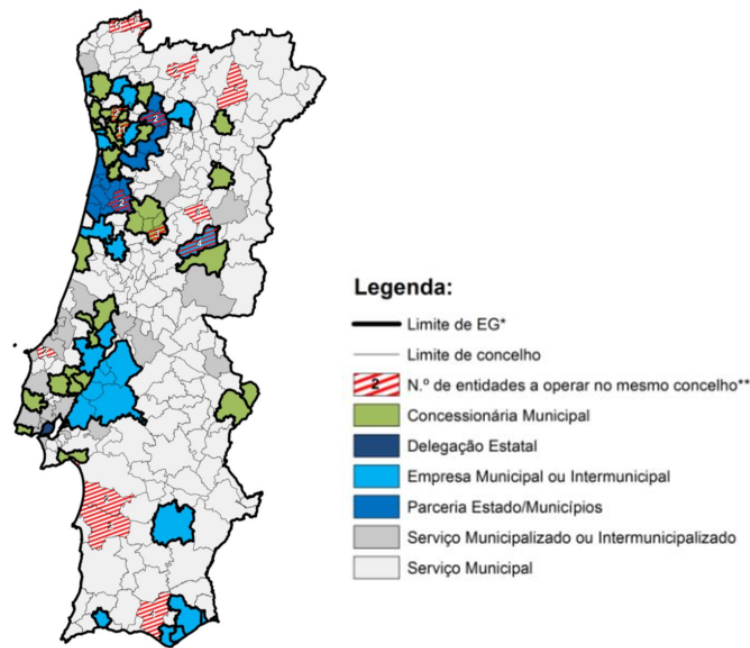


Fig.2.18. - Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de abastecimento de água em baixa em 2015 (ERSAR, 2016)

2.3.2. FINANCIAMENTO DAS EG EM BAIXA

O modelo de financiamento das entidades gestoras em baixa assenta no que é geralmente designado de 3T: Tarifas, Taxas e Transferências. As tarifas constituem a mensalidade paga pelos clientes. Em geral, são compostas por um valor fixo e um por valor variável, em função do volume consumido pelo cliente. Idealmente, o valor das tarifas deveria cobrir os custos de investimento e operação do sistema. A política de tarifas nos sistemas de tutela municipal é muito variável e pode recorrer, entre outros, a tarifários sociais ou regimes de pagamento em função do número de elementos do agregado familiar, de modo a garantir que o seu pagamento é acessível a todos. As taxas correspondem aos impostos pagos pelos contribuintes ao Estado. Por seu lado, as transferências podem corresponder a fundos comunitários, suportados pelos contribuintes europeus, ou a empréstimos bancários. O setor caracteriza-se pela necessidade de um grande investimento inicial e é comum o recurso a transferências na fase de construção dos sistemas, sendo estas amortizadas ao longo do tempo (Poças Martins, 2014).

Disparidade entre os custos do serviço e tarifários

O custo dos serviços de abastecimento de água em Portugal varia amplamente com a localização dos mesmos. É, em geral, no interior do país, onde existe menos população e esta se encontra mais dispersa, que a operação dos serviços representa maiores custos por metro cúbico distribuído e *per capita*. Isto resulta de o mesmo comprimento de rede, construído e mantido, abastecer, em geral, menos pessoas no interior do que no litoral do País, fruto de uma menor densidade populacional. Ao mesmo tempo, a

existência de menos população no interior, impossibilita o aproveitamento das economias de escala e suas mais valias.

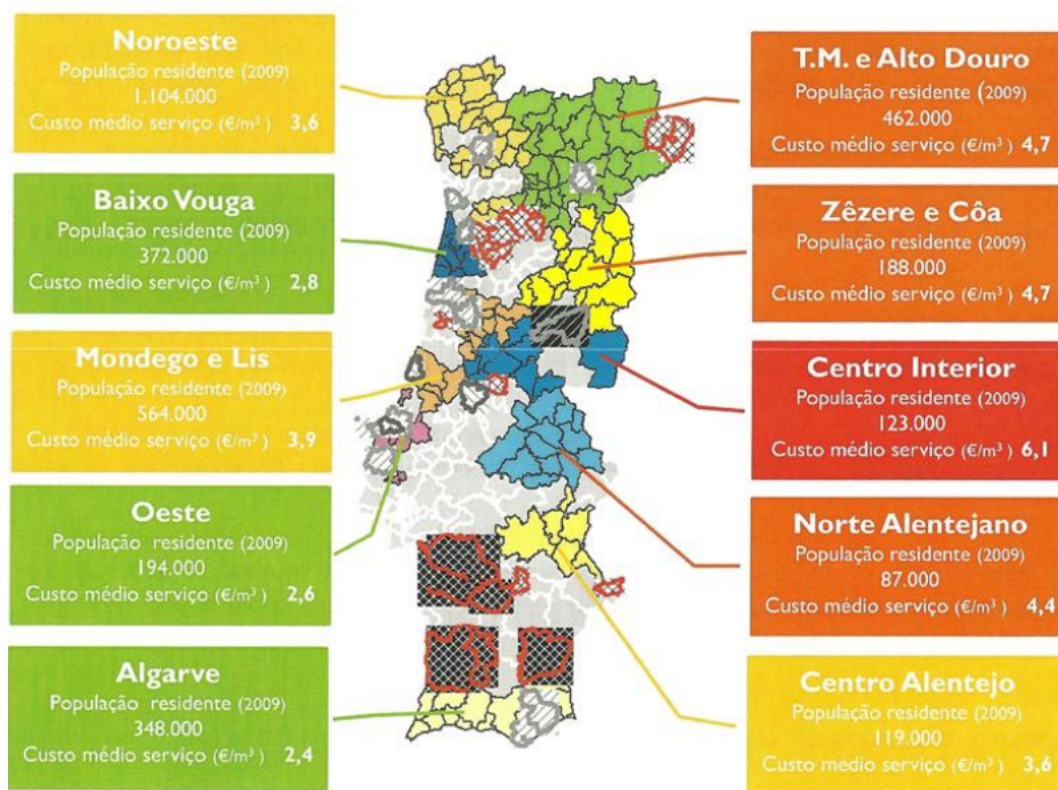


Fig.2.19. - Disparidade entre os custos de serviço em Portugal Continental (Magalhães e Bessa, 2012)

Contudo, e tendo em conta os rendimentos familiares inferiores verificados, os concelhos do interior tendem a praticar tarifas mais baixas, verificando-se uma maior concentração de EG financeiramente insustentáveis nestas regiões (Magalhães e Bessa, 2012).

2.3.3. INDICADORES DE DESEMPENHO

A avaliação da qualidade dos serviços de água é feita recorrendo a vários indicadores de desempenho, concentrando-se em três polos da atuação das EG: a adequação da interface com os utilizadores, a sustentabilidade da gestão do serviço e a sustentabilidade ambiental (ERSAR, 2016).

Quadro 2.4. - Indicadores de desempenho do Serviço de Abastecimento Público de Água: Adequação da interface com os utilizadores (ERSAR, 2016)

		Indicador
Adequação da interface com os utilizadores	Acessibilidade de serviço aos utilizadores	Acessibilidade física do serviço (%)
		Acessibilidade económica do serviço (%)
	Qualidade do serviço prestado aos utilizadores	Ocorrência de falhas no abastecimento [n. %/(1000 ramais.ano)] ou [n. %/(ponto de entrega.ano)]
		Água Segura (%)
		Resposta a reclamações e sugestões (%)

Quadro 2.5. - Indicadores de desempenho do Serviço de Abastecimento Público de Água: Sustentabilidade da gestão do serviço (ERSAR, 2016)

Sustentabilidade da gestão do serviço	Sustentabilidade Económica	Cobertura dos gastos totais
		Adesão ao serviço (%)
		Água não faturada (%)
	Sustentabilidade Infraestrutural	Adequação da capacidade de tratamento (%)
		Reabilitação de condutas (%/ano)
		Ocorrência de avarias em condutas (n. %/(100 km.ano)]
	Produtividade dos recursos humanos	Adequação dos recursos humanos [n. %/(1000 ramais.ano)] ou [n. %/(10 ⁶ m ³ .ano)]

Quadro 2.6. - Indicadores de desempenho do Serviço de Abastecimento Público de Água: Sustentabilidade ambiental (ERSAR, 2016)

Sustentabilidade ambiental	Eficiência na utilização de recursos ambientais	Perdas reais de água [$l/(ramal.dia)$] ou [$m^3/(km.ano)$]
		Cumprimento do licenciamento das captações (%)
		Eficiência energética de instalações elevatórias [$kWh/(m^3.100\ m)$]
	Eficiência na prevenção da poluição	Destino de lamas do tratamento (%)

2.3.4. PLANO ESTRATÉGICO – PENSAAR 2020

O “PENSAAR 2020 – Uma nova estratégia para o setor de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais” é um plano desenvolvido, por despacho do então Secretário de Estado do Ambiente e do Ordenamento do Território, com o objetivo de estabelecer o enquadramento estratégico do setor do abastecimento de água e do saneamento de águas residuais para o período 2014-2020. Desenvolvido por uma Comissão de Acompanhamento, da qual fazem parte a Agência Portuguesa do Ambiente e a Águas de Portugal, entre outras entidades ligadas ao setor, este documento vem dar continuidade ao trabalho desenvolvido no “PEAASAR II - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais”, que esteve em vigor entre 2007 e 2013. O “PENSAAR 2020” foi concebido com o objetivo principal de melhorar a performance do setor, ao serviço da população e da economia do País. Nesse sentido, pretende-se um setor capaz de prestar serviços de qualidade e sustentáveis em termos ambientais. Com isto em mente, definiram-se 5 eixos estratégicos:

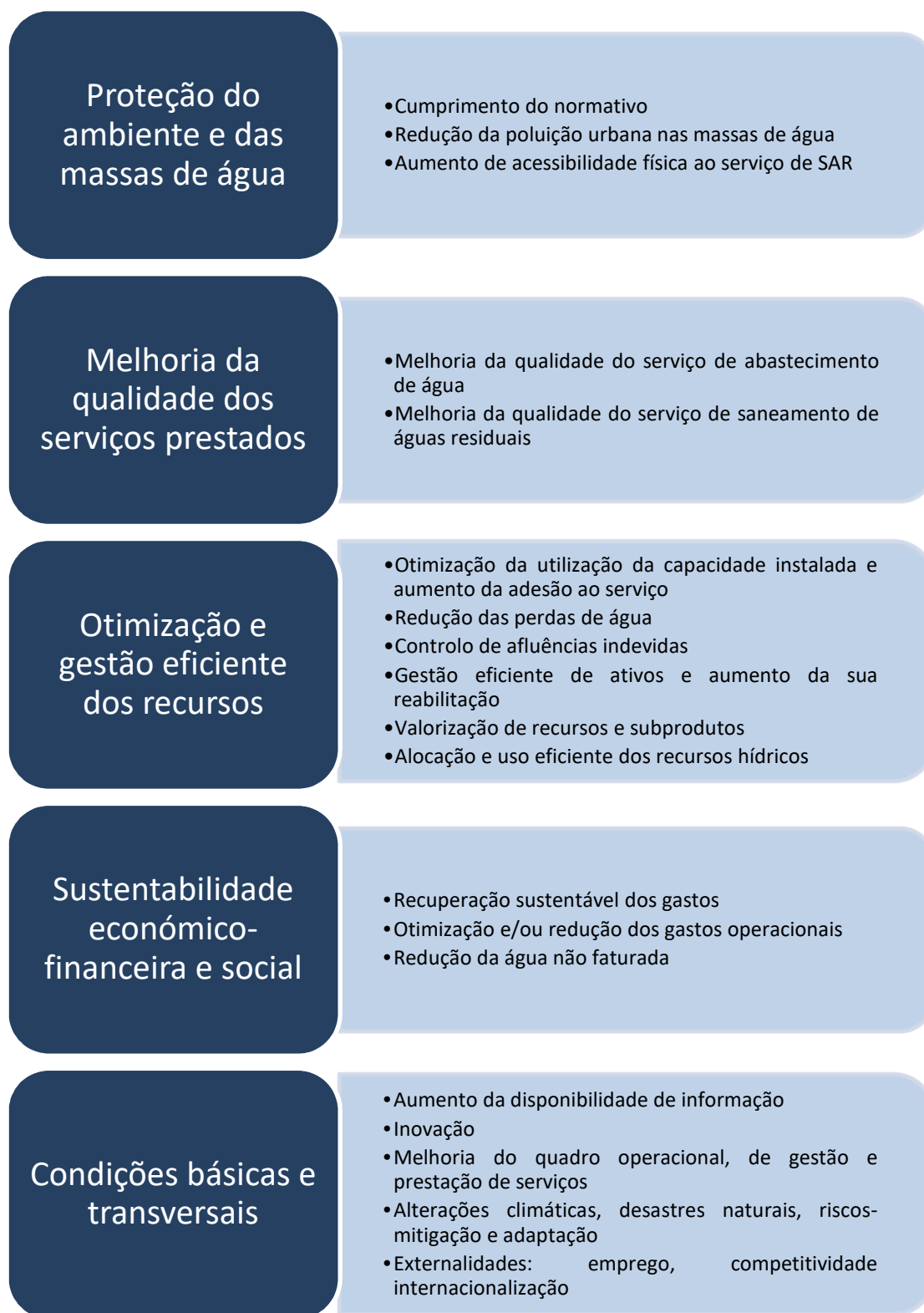


Fig.2.20. - Cinco eixos estratégicos do PensaAR 2020

Numa fase posterior, definiu-se um Plano de Ação, do qual fazem parte medidas concretas, ações, investimentos, recursos, com vista à concretização dos objetivos operacionais definidos. Foram definidas as ações e projetos prioritários com vista a facilitar a mobilização dos fundos comunitários, assim que estes estejam disponíveis, bem como se definiram ações de carácter transversal. Procedeu-se à análise dos investimentos previstos em termos económicos, financeiros e sociais e avaliou-se a proveniência dos recursos disponíveis (3T) e a capacidade do setor em gerar recursos que assegurem o seu autofinanciamento. A dificuldade das EG em se autofinanciarem é responsável pelas dificuldades em conseguirem condições favoráveis quando recorrem ao endividamento. A prática de valores de tarifas adequados é determinante para o sucesso desta estratégia. Por fim, definiu-se um plano de gestão com vista à monitorização, atualização e avaliação do seu desempenho (retirado do PENSAAR 2020).

2.3.5. ANÁLISE SWOT DO SETOR – PENSAAR 2020

A evolução do setor tem sido positiva, mas continuam a existir vários operadores pouco eficientes, verificando-se a existência de sistemas com perdas crónicas, a dependência em excesso de transferências do Estado e a prática de tarifas excessivas. Para além disso, em muitos casos, não se tem conseguido fazer uma renovação gradual dos sistemas, o que, para além de afetar a qualidade e segurança do serviço, pode resultar na necessidade de mais transferências no futuro. Em alguns casos, o problema da ineficiência não está associado a uma gestão desadequada, mas à conceção dos próprios sistemas. Como referido, os serviços de municípios com baixa densidade populacional, sobretudo do interior do país, representam, para os seus habitantes, maiores custos *per capita* e, consequentemente, requerem a prática de tarifas mais elevadas. Esses serviços acabam por recorrer ao Estado, quase cronicamente, para se financiarem. Nesse contexto, tem-se apelado à solidariedade regional dos portugueses e tem-se procurado promover uma maior integração horizontal dos sistemas em baixa, agrupando-os em soluções intermunicipais, de forma a potenciar economias de escala e mais-valias ambientais.

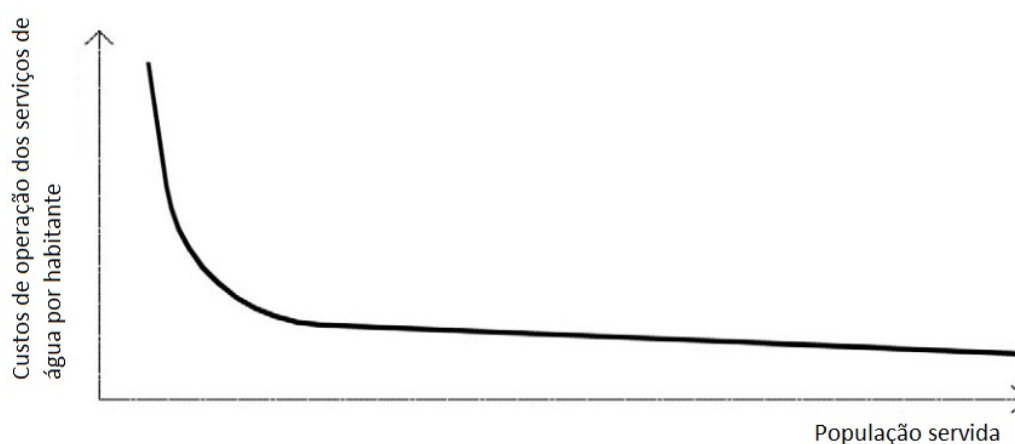


Fig.2.21. - Economias de escala de serviços de água (adaptado de Poças Martins, 2014)

Ao mesmo tempo, existe um crescente interesse na verticalização dos serviços e potencialização das economias de processo. A incorporação, na mesma entidade gestora, de várias atividades integradas na cadeia de valor de um setor traz benefícios ao nível da sua gestão. Nesse sentido, considera-se que estamos perante uma verticalização total quando as vertentes em alta e em baixa do serviço de abastecimento público de água são executadas pela mesma entidade gestora na totalidade do concelho. Quando tal acontece apenas em parte do concelho a verticalização diz-se parcial. Por outro lado, o agrupamento dos serviços de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos sólidos urbanos, potencializando economias de gama, é cada vez mais comum e traz benefícios na sua gestão.

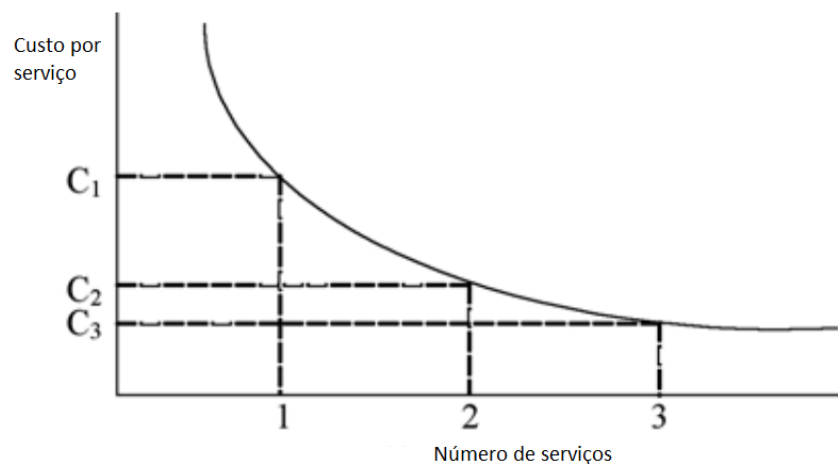


Fig.2.22. - Economias de gama (adaptado de Hofstrand, 2007)

O setor do abastecimento de água apresenta várias oportunidades e pontos onde é possível melhorar. A sua dinâmica e as suas características particulares fazem deste um setor que necessita de investimentos contínuos, tanto na reabilitação, como na gestão dos serviços. Nesse contexto, é possível dizer que o setor do abastecimento está um pouco à margem das recessões que afetam os países e os mercados. A análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) que a seguir se apresenta está enquadrada no plano estratégico definido no PENSAAR 2020.

Quadro 2.7. - Análise SWOT do Setor (adaptado do PENSAAR 2020)

Pontos Fortes (Strengths)	Pontos Fracos (Weaknesses)
- Experiência na gestão de sistemas e conhecimentos sobre diversos modelos de gestão; - Recursos humanos qualificados; - Ativos existentes e níveis de atendimento satisfatórios; - Regulação do setor competente e independente; - Tarifas praticadas são, em média, acessíveis; - Ambiente de competitividade e vontade de melhorar entre as empresas do setor.	- Existência de várias empresas de pequena dimensão e problemas daí decorrentes; - Ineficiência crónica de várias empresas; - Falta de conhecimento sobre os sistemas e a sua operação; - Insustentabilidade económico-financeira, recorrência em excesso a transferências; - Opinião pública sobre os serviços nem sempre favorável; - Baixa adesão aos sistemas em zonas suburbanas; - Reabilitação insuficiente dos sistemas; - Frac capacidade de endividamento.
Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
- Aproveitamento das economias de escala e gama; - Clima de exigência profissional e de melhoria do desempenho do setor; - Apoio de fundos comunitários continuado; - Maior ênfase na sustentabilidade económica e ambiental dos sistemas e da sociedade em geral; - Aposta na inovação e internacionalização dos sistemas.	- Contexto macroeconómico adverso e incapacidade para realizar investimentos; - Setor fortemente condicionado pelas políticas públicas; - Pressão sobre a diminuição dos recursos humanos; - Clima de desconfiança na participação privada no setor, resultante de operações mal concebidas no passado; - Impacto das alterações climáticas e exigências ambientais crescentes; - Variações populacionais e o seu impacto na procura destes sistemas no futuro.

2.4. DEFINIÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

2.4.1. BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico constitui um importante instrumento para a monitorização da performance dos sistemas de abastecimento, facilitando a deteção dos seus problemas e a delineação de estratégias para o futuro. A sua execução, que constitui uma espécie de auditoria aos sistemas de abastecimento, deve ter em conta as indicações da *International Water Association*, IWA. O balanço hídrico distingue e define os vários volumes de água, perdidos ou abastecidos, medidos ou não medidos, faturados ou não faturados, associados a um sistema de abastecimento, em função do volume entrado no sistema ou parte do sistema, num dado período de tempo (Alegre, Hirner et al., 2004):

Água entrada no sistema, AES – Volume de água introduzido no sistema durante o período em estudo.

Consumo autorizado – Volume de água, medido ou não medido, fornecido aos consumidores registados e a outros que estejam implicitamente ou explicitamente autorizados a fazê-lo durante o período em estudo. Esta parcela pode compreender água utilizada no combate a incêndios, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, entre outros.

Perdas de água – Água entrada no sistema que não se enquadra no consumo autorizado, podendo ser dividida em perdas aparentes e perdas reais.

Perdas reais – Perdas físicas do sistema ao longo de todo o processo, correspondentes a fugas nas condutas e nas ligações, extravasamento e fugas em reservatórios. O volume de perdas reais é influenciado por diversos fatores, incluindo o comprimento da rede, o número de ligações, a pressão média na rede e o tempo de deteção e reparação das roturas.

Perdas aparentes – Perdas de água que ocorrem devido a erros nos sistemas de medição (e.g. contadores) ou decorrentes de consumos não autorizados (e.g. ligações clandestinas, furtos).

Água não faturada, ANF – Parcela que integra as perdas de água e os consumos autorizados não faturados. Volume de água que não gera receitas económicas para a EG.

Quadro 2.8. - Componentes do Balanço Hídrico (Alegre, Hirner et al., 2004)

	Consumo autorizado [m ³ /ano]	Consumo autorizado faturado [m ³ /ano]	Consumo autorizado medido [m ³ /ano]	Água faturada [m ³ /ano]
			Consumo autorizado não medido [m ³ /ano]	
Água entrada no sistema - AES [m ³ /ano]	Consumo autorizado [m ³ /ano]	Consumo autorizado não faturado [m ³ /ano]	Consumo não faturado medido [m ³ /ano]	Água não faturada – ANF [m ³ /ano]
			Consumo não faturado não medido [m ³ /ano]	
		Perdas aparentes [m ³ /ano]	Consumo não autorizado [m ³ /ano]	
			Perdas de água por erros de medição [m ³ /ano]	
Perdas de água [m ³ /ano]		Perdas reais [m ³ /ano]	Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]	
			Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]	
			Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) [m ³ /ano]	

Metodologia de Cálculo

A execução do balanço hídrico de um sistema para um determinado período requer a medição de alguns volumes e a estimativa de outros com base em fórmulas empíricas. Inicialmente, devem ser bem definidos os limites do sistema a auditar, bem como o período de referência. O volume de água entrado no sistema deve ser determinado tendo em conta a água captada e eventuais transferências de água com outras entidades. No caso de existir uma separação de entidades entre “alta” e “baixa”, o volume entrado

no sistema em “baixa” corresponde ao volume adquirido à entidade em “alta”, devendo colocar-se um dispositivo de medição na fronteira entre os dois.

Os consumos autorizados faturados correspondem à soma dos volumes cedidos a clientes para consumo doméstico, de comércio, industrial, etc., determinados recorrendo a instrumentos de medição. No caso de não ser possível a sua medição, estes consumos devem ser estimados cuidadosamente. Deve procurar-se uma medição universal dos consumos autorizados, faturados e não faturados, com vista a uma maior precisão na execução do balanço hídrico e, conseqüentemente, um maior entendimento do comportamento geral do sistema. A medição destes consumos contribui ainda para uma maior consciencialização dos utentes para os seus gastos, incentivando a criação de políticas de poupança.

A água não faturada, ANF, deve ser calculada, subtraindo a água faturada, AF, à água entrada no sistema, AES. Proceda-se, então, à avaliação da parcela correspondente às perdas aparentes. A quantificação dos consumos não autorizados e dos erros de medição deve ser feita com cuidado, recorrendo a um dos métodos existentes.

Então, subtraindo as perdas aparentes às perdas totais, obtém-se o volume de perdas reais que deve ser comparado com o obtido através de outros métodos (e.g. análise de caudais noturnos, avaliação da frequência e duração das roturas, modelação) (Alegre, Hirner et al., 2004). Nesse sentido são consideradas duas abordagens distintas para a determinação das perdas reais em sistemas de abastecimento.

Abordagem *Top-Down* para o cálculo das perdas reais

A abordagem *Top-Down*, isto é, do maior para o menor, parte do Volume de Água Entrado no Sistema, AES, ao qual subtrai a soma dos consumos autorizados e das perdas aparentes para determinar o volume de perdas reais:

$$\text{Volume perdas Reais} = \text{AES} - (\text{Consumo autorizado} + \text{Perdas aparentes}) \quad (2.17.)$$

A quantificação das perdas aparentes é difícil, pelo que é aconselhável o cruzamento com resultados obtidos recorrendo a outras abordagens (EPAL Technical Solutions, 2015).

Abordagem *Bottom-Up* para cálculo das perdas reais

A abordagem *Bottom-Up*, isto é, do menor para o maior, tem por base a análise dos caudais noturnos em Zonas de Medição e Controlo, sendo aplicável a sistemas setorizados. Os valores registados entre as duas e as quatro horas da manhã são, em geral, considerados indicativos dos caudais de perdas reais para cada setor. No entanto, é aconselhável estimar os consumos noturnos autorizados, que devem ser

subtraídos do valor de caudal obtido. Ao mesmo tempo, a consideração de um “Fator noite-dia”, que tenha em conta as variações de pressão ao longo dia, é importante para a obtenção de resultados mais fiáveis. Então, por extrapolação, é estimado o volume diário de perdas reais (EPAL Technical Solutions, 2015).

$$\text{Volume perdas Reais} = (\text{Consumo mínimo noturno} - \text{Consumo autorizado}) \times f_{\text{noite-dia}} \quad (2.18.)$$

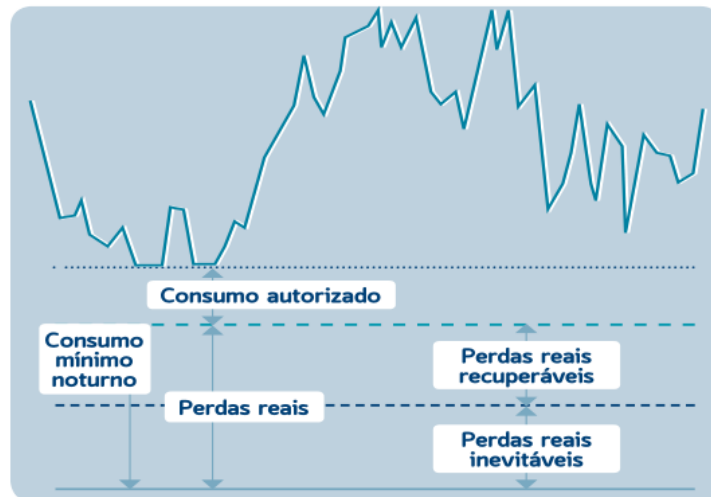


Fig.2.23. - Abordagem *Bottom-Up* para determinação das perdas reais (EPAL Technical Solutions, 2015)

2.4.2. PERDAS REAIS

O volume de perdas reais varia grandemente de sistema para sistema, sendo sensível a diversos fatores como a idade, estado e material das condutas, a frequência das roturas, a pressão média de serviço, o número e comprimento dos tubos, o comprimento da rede, o tipo de solo (afeta o tempo de deteção de roturas) e a percentagem de tempo em que o sistema está pressurizado.

O volume total perdido devido a uma fuga resulta, entre outros fatores, do tempo que demora a sua deteção, localização e reparação. De facto, nem sempre um maior caudal de fuga resulta num maior volume perdido. As fugas de menor caudal e, consequentemente, de deteção mais difícil, podem atuar durante longos períodos de tempo antes de serem detetadas, acabando por resultar em maiores volumes perdidos. Nesse sentido, podem classificar-se as fugas consoante a sua localização e o seu tipo, ou seja, a sua propensão para serem ou não detetadas e reportadas (Farley, Wyeth et al., 2008).

Quadro 2.9. - Classificação das fugas quanto à localização (Fallis, Hübschen et al., 2011)

Localização	Descrição
Fugas nas condutas de adução e distribuição	Podem ocorrer em tubos (roturas devido a causas externas, corrosão, etc.), nas ligações ou nas válvulas.
Fugas nos ramais de ligação	Nas ligações até os contadores dos clientes. Apresentam, em geral, baixos caudais.
Fugas e extravasamento de reservatórios	Ocorrem por má operação ou manutenção dos reservatórios e órgãos acessórios.

Quadro 2.10. - Classificação das fugas quanto ao tipo (Fallis, Hübschen et al., 2011)

Tipo	Descrição
Fugas declaradas	Resultam, em geral, de roturas repentinas das ligações. A deteção visual é possível devido ao aparecimento de água à superfície do terreno.
Fugas não declaradas	Por definição têm caudais superiores a 250l/h a 50 m de pressão. No entanto, pelas condições do terreno, não aparecem à superfície.
Fugas de base	Por definição têm caudais inferiores a 250l/h a 50 m de pressão. A sua deteção é muito difícil e em geral só são eliminadas aquando da substituição dos elementos onde se encontram.

Sendo assim, uma rotura nas condutas de adução resulta numa fuga de caudal elevado, mas que, em geral, e devido à rápida deteção e reparação, atua num curto espaço de tempo, não originando necessariamente um grande volume perdido.



Fig.2.24. - Tempo de atuação e volume perdido numa fuga declarada numa conduta adutora (adaptado de Farley, Wyeth et al., 2008)

Embora tenha um caudal inferior, uma fuga num ramal de ligação, não sendo declarada, pode resultar num volume perdido muito superior ao fim de algum tempo (Farley, Wyeth et al., 2008).

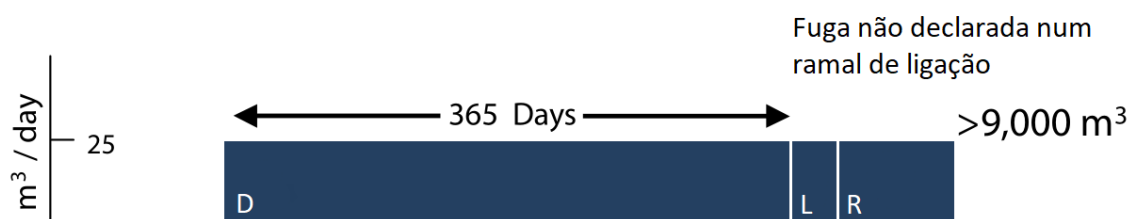


Fig.2.25. - Tempo de deteção, localização e reparação e volume perdido numa fuga não declarada num ramal de ligação (adaptado de Farley, Wyeth et al., 2008)

As perdas reais continuam a ser problema para a sustentabilidade das EG, com algumas das principais cidades do país a reportarem perdas reais superiores a 20% da água entrada no sistema em 2015:

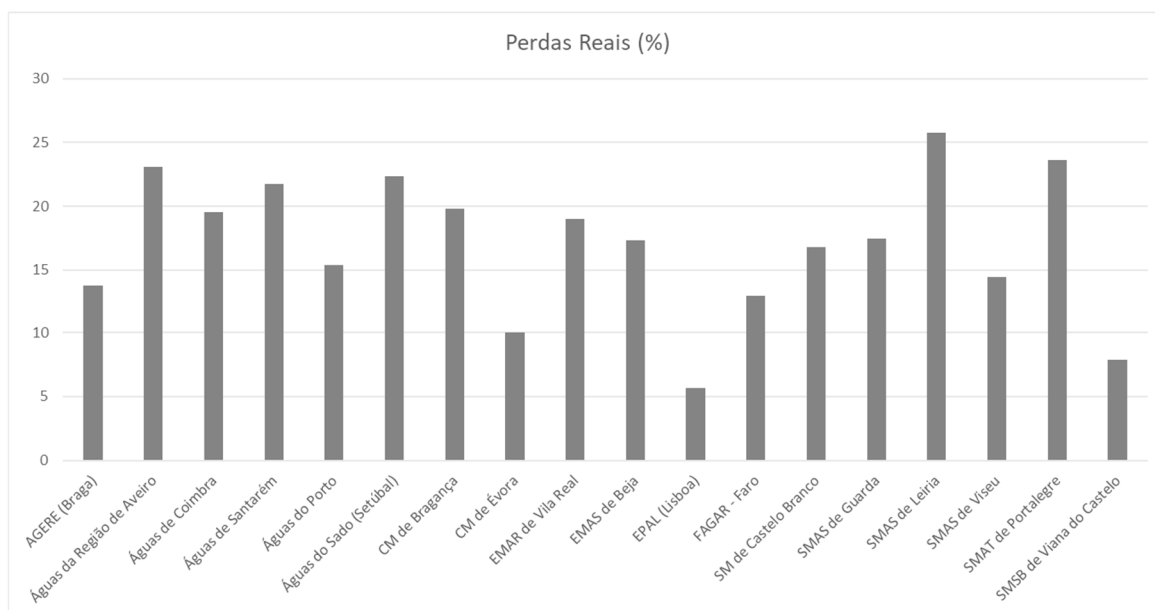


Fig.2.26. - Perdas reais em percentagem da água entrada no sistema em 2015 (adaptado de ERSAR, 2016)

2.4.3. PERDAS APARENTES

As perdas aparentes estão, em geral, associadas a três fatores: imprecisão dos contadores, intervenções ilícitas (e.g. ligações, vandalismo) e subfaturação por erros, deliberados ou não, na transferência dos dados das leituras (e.g. leituras fictícias, erros no software, etc.).

Os contadores de água são equipamentos de medição de caudais líquidos. A medição do caudal pode ser feita mecanicamente de forma direta, por medição do volume, ou indireta, por medição da velocidade. Todos os contadores têm curvas de erro associadas à partida, no entanto, com o passar do tempo, os erros tendem a passar dos limites razoáveis e uma substituição dos equipamentos é aconselhável (EPAL Technical Solutions, 2015).

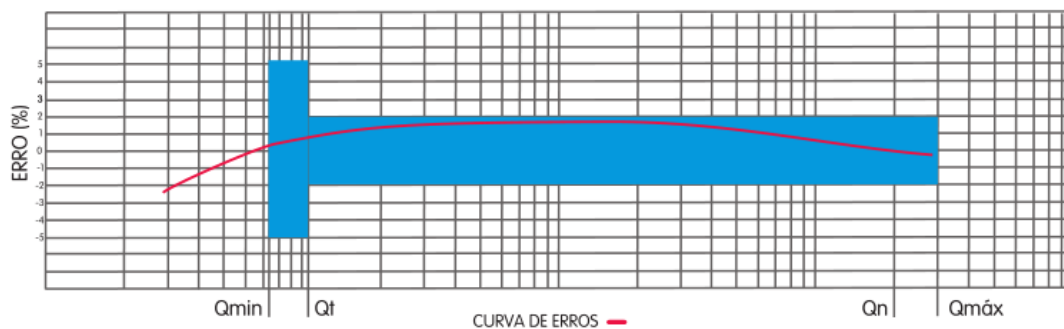


Fig.2.27. - Curva característica de um contador (RESOPRE, 2017).

2.4.4. INDICADORES DE PERDAS

Vários indicadores foram e têm sido desenvolvidos com vista à avaliação da qualidade dos serviços no que toca às perdas. O valor da água não faturada como percentagem do volume entrado no sistema pode ser utilizado numa primeira abordagem, embora não faça a distinção entre perdas aparentes e perdas reais. No que toca às últimas, um dos indicadores mais utilizados é o ILI, *Infrastructure Leakage Index*, que relaciona as perdas reais existentes anuais, *Current Annual Real Losses* ou CARL, com o conceito de perdas reais inevitáveis no mesmo período, *Unavoidable Annual Real Losses* ou UARL (Poças Martins, 2014):

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (2.19.)$$

onde o valor de UARL foi definido empiricamente como:

$$UARL(l/ramal/hora) = [18 \times (Lm/Nc) + 0.8 + 25 \times Lp] \times Pmed/24 \quad (2.20.)$$

E Lm , Nc , Lp , e $Pmed$ são, respetivamente, o comprimento da rede em km, o número de ramais, o comprimento médio dos ramais em km e a pressão média de operação na zona em estudo em metros (EPAL Technical Solutions, 2015). O ILI tem ainda a vantagem de considerar a pressão média de serviço, que influencia bastante o valor das perdas reais. Valores de ILI inferiores a 1,5 são considerados excelentes (Poças Martins, 2014). No que diz respeito às perdas aparentes, um bom indicador pode ser, por exemplo, a aplicação dos resultados dos ensaios metrológicos aos contadores da rede de distribuição sobre o volume total de água medido e faturado (EPAL Technical Solutions, 2015). Ao mesmo tempo, pode simplesmente apresentar-se os resultados em percentagem do consumo autorizado (Poças Martins, 2014).

2.5. ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DA ÁGUA NÃO FATURADA

Como referido, a redução da ANF constitui um dos objetivos crónicos do setor, sendo preponderante para a sustentabilidade das EG. Em algumas das principais cidades do país, mais de 30% da água entrada no sistema não é faturada, como se pode observar na Fig.2.28.

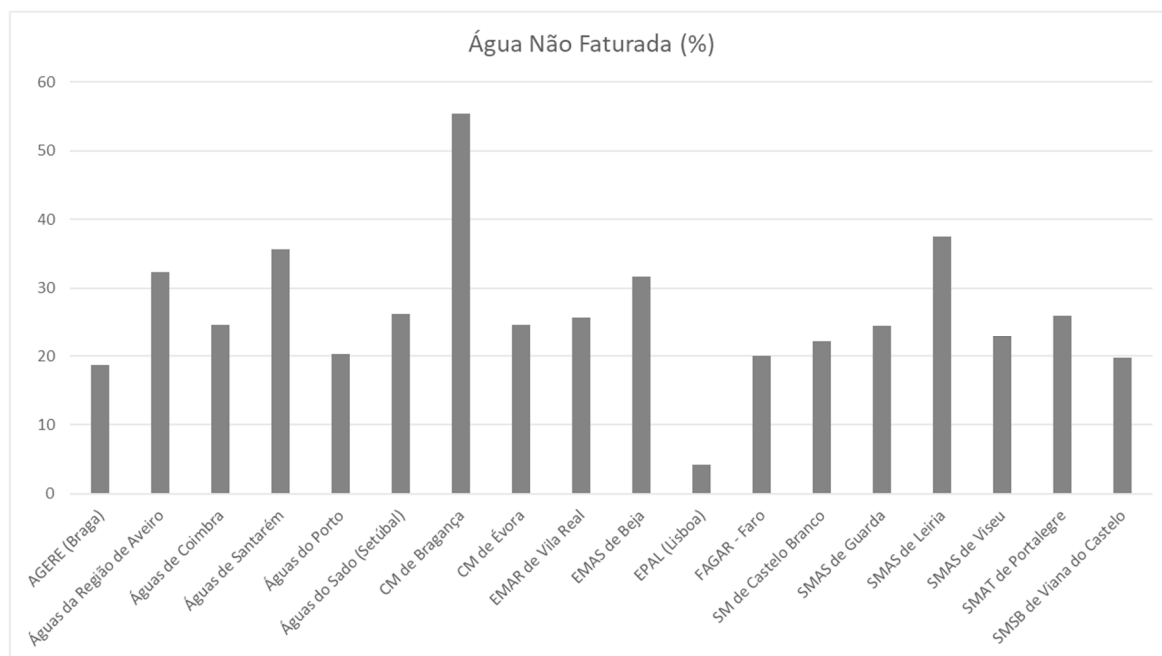


Fig.2.28. - Água não faturada em percentagem da água entrada no sistema em 2015 (ERSAR, 2016)

A estratégia de redução da ANF deve ser precedida da execução de um ou vários balanços hídricos que permitam avaliar a magnitude do problema e o seu contexto, bem como a definição de objetivos

estratégicos. De uma maneira geral, a redução da ANF é conseguida através da redução das perdas reais e aparentes. Para além disso, podem ser tomadas medidas que incidam sobre os consumos autorizados não faturados como a sua medição e, se possível, a sua faturação. O processo de redução da ANF deve ser acompanhado de análises custo-benefício que ajudem a estabelecer ações prioritárias. A definição de um valor de ANF a atingir pode não ser a melhor opção pois, a partir de certo ponto, o custo dos investimentos necessários será superior aos dividendos que daí resultam. A este valor mínimo, que faz sentido do ponto de vista económico, dá-se o nome de Nível Económico de Perdas (NEP). Consequentemente, considera-se que um volume de perdas igual a zero é um objetivo utópico e, na generalidade dos sistemas, sem grande interesse prático (Poças Martins, 2014).

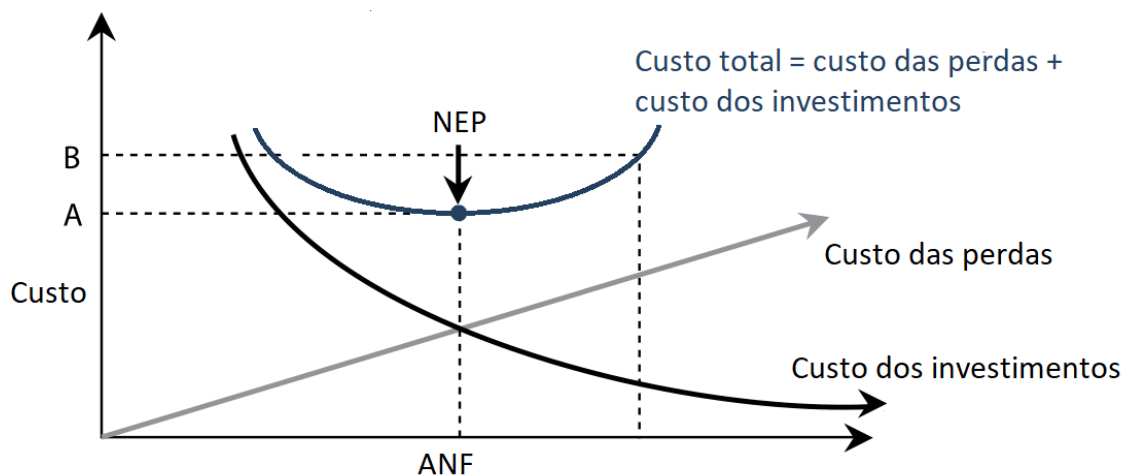


Fig.2.29. - Identificação do Nível Económico de Perdas, NEP (adaptado de Farley, Wyeth et al., 2008)

2.6. GESTÃO DAS PERDAS REAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

A diminuição e gestão das perdas reais são fatores preponderantes para o sucesso dos sistemas. Nesse sentido, são geralmente considerados quatro campos de atuação na sua gestão: o aumento da velocidade e da qualidade das reparações em caso de rotura, a maior eficácia na gestão da pressão, a criação e manutenção de um controlo ativo de fugas e uma gestão adequada dos ativos da empresa (Poças Martins, 2014).



Fig.2.30. - Quatro pilares da gestão de perdas reais (adaptado de Poças Martins, 2014)

2.6.1. MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

A gestão eficiente das perdas compreende a sua monitorização e controlo. Como referido, os balanços hídricos permitem conhecer o panorama geral dos sistemas e avaliar a grandeza das perdas. Existem, porém, outras medidas que, não só facilitam e aumentam a fiabilidade dos balanços hídricos, como permitem a monitorização e operação dos sistemas de forma mais tecnológica e eficiente. A implementação de sistemas de telegestão e a setorização da rede em zonas de medição e controlo são algumas dessas medidas.

2.6.1.1. Sistemas de telegestão – SCADA

Sistemas de telegestão, ou sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), fornecem informação atualizada acerca do sistema aos operadores. Consoante os dispositivos de medição instalados na rede, é possível obter o nível de água nos reservatórios, a pressão em determinados pontos, os caudais, entre outras grandezas. Um sistema SCADA corresponde ao conjunto dos instrumentos de medição, sistemas de comunicação, hardware e software necessários para monitorizar o sistema de forma remota (ASCE, 1991). A implementação de sistemas SCADA permite ainda a operação, à distância, de dispositivos instalados na rede como grupos elevatórios e válvulas.

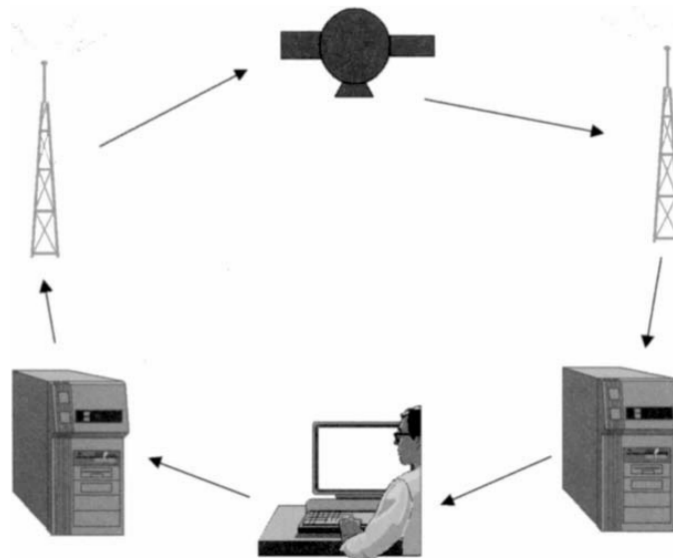


Fig.2.31. - Elementos de um sistema SCADA (Mays, 2000)

Numa primeira fase, informação hidráulica sobre o sistema é recolhida pelos dispositivos de medição instalados na rede. A informação é, então, transmitida para uma central de controlo via rádio, fibra ótica, ADSL, GPRS ou outro sistema de comunicação. Na central de controlo, um software estabelece a interface entre o operador e o sistema, permitindo a sua monitorização visual e a operação dos dispositivos instalados na rede. No sentido inverso, a informação introduzida pelo operador, relativa à operação dos dispositivos, é transmitida aos mesmos. A implementação de sistemas SCADA permite ainda a implementação de avisos de alarme em situações de crise (e.g. quando o abastecimento a um reservatório é cortado), agilizando a tomada das medidas necessárias (Mays, 2000).

2.6.1.2. Zonas de Medição e Controlo (ZMC)

Uma Zona de Medição e Controlo (ZMC) ou *District Metered Area* (DMA) corresponde a uma área bem delimitada dentro de uma rede de abastecimento na qual é possível avaliar continuamente os consumos e caudais através de instrumentos de medição colocados nas suas entradas e saídas. A sectorização e monitorização autónoma de cada ZMC facilita a deteção de fugas e o controlo das perdas. Sabendo o volume introduzido em cada zona e, comparando esse valor com o consumido pelos clientes, é possível estimar as perdas em cada setor. Ao mesmo tempo, como referido no ponto 2.4.1.1., é possível estimar o volume de perdas em cada zona através do consumo mínimo noturno. Para esse feito, devem ser instalados medidores de caudal nos troços que fazem a ligação entre cada setor e a restante rede, possibilitando a medição contínua de todo o caudal entrado e saído em cada zona. Quanto menor a dimensão das ZMC, mais eficaz será a deteção das fugas. A divisão da rede pode ser feita recorrendo a válvulas de seccionamento, constituindo linhas de fronteira fictícia entre uma zona e as outras. A sectorização permite ainda a implementação de políticas de gestão da pressão mais eficientes e adaptadas,

nomeadamente através da colocação de válvulas redutoras de pressão na entrada das ZMC, constituindo zonas de pressão controlada (EPAL Technical Solutions, 2015).

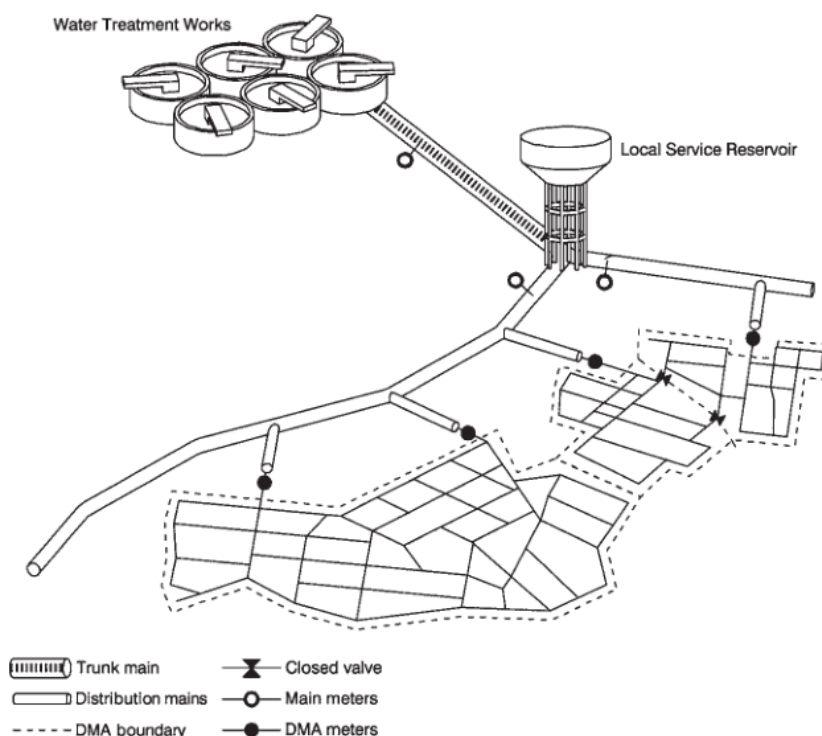


Fig.2.32. - Divisão da rede de distribuição em ZMC (Poças Martins, 2014)

Critérios de definição de ZMC

A definição de ZMC requer o conhecimento profundo da rede, das condições hidráulicas (pressão e caudal) e características topográficas que podem servir de fronteira natural (e.g. rios, autoestradas). Caso não seja possível isolar completamente a ZMC, deve procurar minimizar-se o número de caudalímetros e válvulas de seccionamento utilizadas (APDA, 2014). A definição de ZMC é um processo iterativo e complexo, que pode alterar as condições hidráulicas verificadas na restante rede e mesmo condicionar o abastecimento aos clientes. Nesse sentido, um estudo global dos impactos da sua definição, se possível recorrendo a modelos numéricos robustos, é importante para auxiliar o processo de setorização. Alguns dos critérios que devem ser tidos em conta aquando do dimensionamento de ZMC são (EPAL Technical Solutions, 2015):

- **Área e número de clientes:** a definição da área da ZMC representa um compromisso entre critérios hidráulicos, práticos e económicos. Como referido, a definição de menores ZMC apresenta benefícios ao nível da deteção e localização de fugas, aumentando a eficácia da estratégia de redução de perdas e permitindo, de um modo geral, a manutenção de um nível de perdas inferior. No entanto, menores ZMC representam também maiores custos, pois requerem a aquisição e manutenção de um maior número de válvulas e caudalímetros. Em zonas urbanas,

é comum considerar-se ZMC com 500 a 3000 clientes. De forma análoga, estudos apontam para um comprimento ideal da rede na ZMC entre 5 e 10km e para um caudal médio consumido entre os 1000 e os 1200m³/dia (EPAL Technical Solutions, 2015). O estabelecimento de ZMC com mais do que 3000 clientes dificulta a estratégia de análise dos caudais noturnos e a deteção de pequenas roturas. Nesse sentido, a EPAL propõe a seguinte classificação para a dimensão das ZMC:

Quadro 2.11. - Classificação das ZMC quanto ao número de clientes (EPAL Technical Solutions, 2015).

Pequenas	Menos de 1000 clientes
Médias	Entre 1000 e 3000 clientes
Grandes	Mais de 3000 clientes

Em blocos de apartamentos, onde a densidade de ramais é, em geral, inferior pode dimensionar-se as ZMC por quilómetro de tubo (Morrison, Tooms et al., 2007). A definição da dimensão de ZMC deve ainda ter em conta a existência de grandes consumidores. No caso de estes apresentarem elevados consumos durante a noite, o seu caudal deve ser medido individualmente.

- **Variação das cotas topográficas do traçado da rede e dos pontos de abastecimento:** Deve procurar aproveitar-se a existência de planos topográficos, minimizando a diferença de cotas entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo de cada ZMC. O aproveitamento destes patamares favorece a estabilidade das pressões e facilita o seu controlo e redução, nomeadamente através de válvulas redutoras de pressão, instaladas à entrada das ZMC. O estudo das pressões numa ZMC pode ser bastante complexo, sobretudo quando a sua implantação envolve o fecho de várias válvulas e quando zonas contíguas se encontram em planos altimétricos diferentes. Nesse sentido, deve iniciar-se o processo de setorização da rede pelas zonas que já se encontram naturalmente isoladas, a que se dá o nome de ZMC naturais.
- **Recursos disponíveis:** O processo de definição e monitorização de ZMC está dependente dos meios financeiros, técnicos e humanos disponíveis e, ao mesmo tempo, do nível de perdas que se pretende atingir. O alcance e manutenção do Nível Económico de Perdas requer um investimento contínuo em infraestruturas, recursos humanos e equipamentos, o que se torna incomportável para algumas das EG.
- **Qualidade da água:** O eventual fecho de válvulas de seccionamento aumenta o número de extremos da rede onde a velocidade da água tende a diminuir, e podendo mesmo estagnar, o que pode resultar na degradação da sua qualidade. Esta situação é tão mais problemática quanto maior for o comprimento dessas condutas. Nesse sentido, deve procurar minimizar-se o número de válvulas a fechar ou estudar-se a sua posição mais favorável. Quando tal não for possível, podem ainda equacionar-se descargas regulares da água nesses extremos.

Metodologia de definição de ZMC

A definição de ZMC não constitui, necessariamente, um processo linear e de etapas bem definidas, pelo que qualquer metodologia deve ser adaptada ao caso em questão. O processo de definição de ZMC deve ser sustentado pelo máximo de informação sobre a rede e a área em estudo possível. Ao mesmo tempo, um conhecimento empírico, sustentado pela participação em projetos semelhantes, deve ser igualmente valorizado. A metodologia que a seguir se apresenta é baseada na metodologia desenvolvida pela EPAL no seu “Controlo Ativo de Perdas de Água”.

- a) Definição de uma ZMC provisória tendo em conta os critérios anteriormente definidos e o tipo de ZMC que se pretende implementar. Desenho deve ser sustentado por algum conhecimento da rede e deve procurar garantir-se a manutenção da qualidade do abastecimento aos clientes;
- b) Identificação dos reservatórios de influência e suas cotas altimétricas;
- c) Definição das entradas e saídas da ZMC e dos caudalímetros a instalar;
- d) Identificação dos clientes abastecidos e do volume de água faturada. Identificação de grandes consumidores e avaliação dos seus consumos noturnos. Nos casos em que se justifique deve proceder-se à instalação de sistemas de medição de caudal próprios;
- e) Avaliação do comprimento total das condutas e tubagens da ZMC;
- f) Identificação das válvulas limite e das manobras a realizar, com vista à implantação da ZMC;
- g) Avaliação da possibilidade de estabelecer zonas de pressão controlada e caracterização das válvulas redutoras de pressão a instalar;
- h) Estimativa da pressão no ponto de entrada, no ponto de pressão máxima, no ponto de pressão média, no ponto de pressão crítica e no ponto de consumo crítico (cliente onde a pressão por gravidade é menor);
- i) Identificação e avaliação dos extremos sem consumo originados pelo fecho das válvulas da ZMC. Projetar dispositivos de descarga caso seja necessário proceder ao seu esvaziamento sistemático;
- j) Avaliação da condição das instalações existentes através de auditorias no terreno. Verificar estado das válvulas de seccionamento;
- k) Identificar e verificar operacionalidade de marcos e bocas de incêndio onde poderão ser instalados dispositivos de registo da pressão durante a implementação da ZMC;
- l) Identificação de novas edificações, que não tenham sido tidas em conta nos passos anteriores;
- m) Atualização dos SIG com acessórios e equipamentos não cadastrados;
- n) Validação do projeto da ZMC. O projeto deve ser avaliado pelos responsáveis das diversas áreas e discutido antes da sua validação. Em casos mais complexos, os modelos numéricos, desde que devidamente calibrados, são um instrumento importante no apoio à validação de ZMC.

Implementação e Validação

A ZMC deve ser implementada durante o período de maior consumo, de forma a garantir o valor da pressão regulamentar durante o resto do dia. Para isso, a implementação deve ser acompanhada da

medição, em tempo real, das pressões no ponto médio e no ponto crítico (EPAL Technical Solutions, 2015). Após a implementação da ZMC, é conveniente validar as suas fronteiras, garantindo o fecho ou monitorização de todas as entradas e saídas. Nesse sentido, pode fazer-se um teste de pressão zero, fechando todas as entradas monitorizadas e verificando se a pressão desce rapidamente. Caso tal não ocorra, é expectável que existam outras entradas de água não declaradas (APDA, 2014).

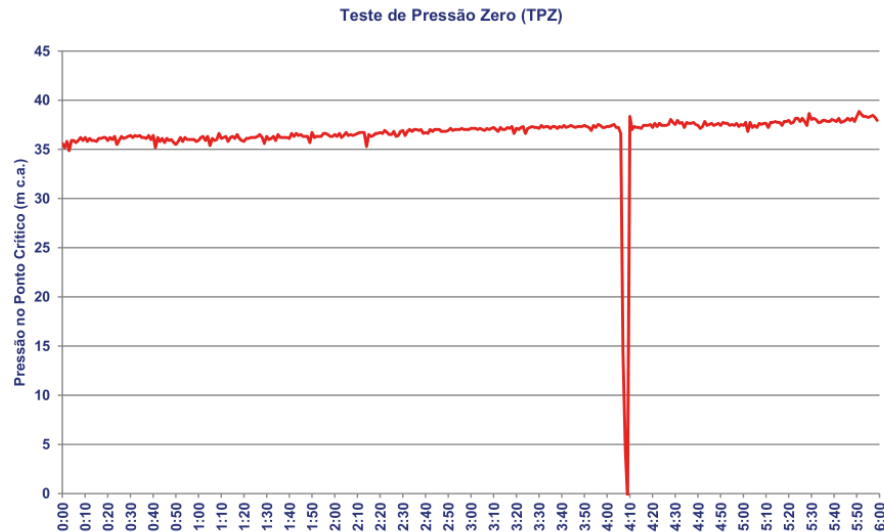


Fig.2.33. - Ilustração da realização de um teste de pressão zero (EPAL Technical Solutions, 2015)

Operação

Após a estabilização dos dados, pode iniciar-se então o processo de monitorização e recolha dos mesmos. Estes serão, posteriormente, tratados e analisados, com vista à realização de balanços hídricos, que permitem estimar as perdas existentes na ZMC (ver 2.4.1.1. – Abordagem *Bottom-Up* para cálculo das perdas reais), e ao estabelecimento de ações prioritárias de controlo ativo de fugas (EPAL Technical Solutions, 2015). Ao mesmo tempo deve ter-se em atenção eventuais variações bruscas nos caudais noturnos registados, que podem indicar a existência de novas roturas no setor monitorizado.

2.6.2. RAPIDEZ E QUALIDADE DAS REPARAÇÕES

A rapidez e a qualidade das reparações de fugas são determinantes para a redução do volume de perdas em sistemas de abastecimento. As reparações devem ser feitas o mais rápido possível e, ao mesmo tempo, com qualidade suficiente, de modo a evitar a recorrência dos problemas na rede. A rapidez e a qualidade das reparações estão dependentes da qualidade dos materiais, das valências e disponibilidade dos técnicos e, implicitamente, da existência de fundos e mobilização política das organizações (Farley, Wyeth et al., 2008).

2.6.3. CONTROLO ATIVO DE FUGAS

O controlo ativo de fugas consiste num conjunto de estratégias e medidas sistemáticas de monitorização e deteção de fugas, com vista ao controlo de perdas em sistemas de abastecimento (EPAL Technical Solutions, 2015). O controlo ativo de fugas compreende a monitorização dos caudais entrados nas ZMC e a sua comparação com os valores cobrados aos clientes que nelas residem, bem como a análise dos caudais noturnos, o que permite perceber a magnitude das perdas por setor (ver 2.4.1.1. – Abordagem *Bottom-Up* para cálculo das perdas reais). Nesse sentido, a implementação de sistemas de telemetria e telegestão, que permitem o envio de informação de forma remota, constitui um passo fundamental para o sucesso do controlo ativo de fugas.

Após o conhecimento da existência de uma fuga num determinado setor da rede, é conveniente determinar a sua localização exata, de modo a minimizar o esforço técnico e financeiro envolvido na sua reparação (EPAL Technical Solutions, 2015). Numa primeira fase, deve procurar restringir-se à área de busca recorrendo, para isso, a um dos seguintes métodos (EPAL Technical Solutions, 2015):

- Subzonamento interno da ZMC através de válvulas e dispositivos medidores de caudal;
- Teste de fecho sequencial – É realizado um fecho sequencial de válvulas internas e observados os caudais medidos. A redução significativa do caudal durante uma manobra de fecho poderá ser indicativa de fugas ou caudais desconhecidos na zona associada;
- Mapeamento de pressões – Instalação de vários dispositivos medidores de pressão na ZMC e comparação dos registos.

Na sequência da localização aproximada da fuga, são realizadas sondagens com vista à sua determinação exata. Alguns dos métodos mais utilizados são (EPAL Technical Solutions, 2015):

- Sondagem acústica – Tem como fundamento o ruído emitido por uma fuga numa conduta sob pressão e recorre aos seguintes equipamentos:
 - *Loggers* acústicos – Dispositivos constituídos por um sensor acústico e um dispositivo de armazenamento utilizado para monitorizar ruídos de fuga, não requerendo a presença de técnicos para o seu registo. Os equipamentos são instalados durante o dia e programados para funcionar, em geral, durante o período noturno, quando as interferências sonoras são menores e a pressão na rede é maior. Os resultados podem ser obtidos via rádio, por unidades de patrulhamento ou viaturas.
 - Varetas de escuta – Dispositivos utilizados para auscultação dos componentes da rede, na procura dos sons caracterizadores das fugas. Quando esta é feita ao nível do solo, é usual recorrer-se a geofones, microfones de solo preparados para o efeito.

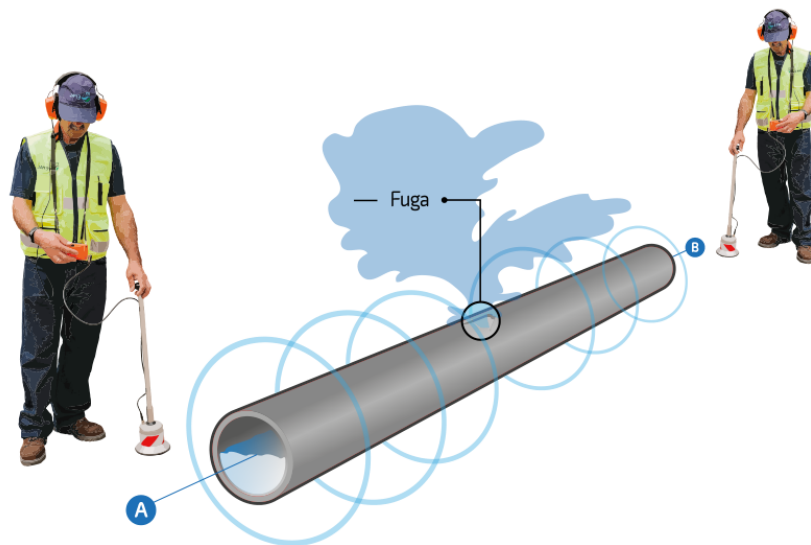


Fig.2.34. - Propagação do ruído de fuga e sondagem com vareta de escuta (EPAL Technical Solutions, 2015)

- Correlação acústica
 - Correlacionadores do ruído de fuga - Dispositivos que, calculando o tempo de atraso entre dois sinais acústicos, permitem a determinação do local exato da fuga.

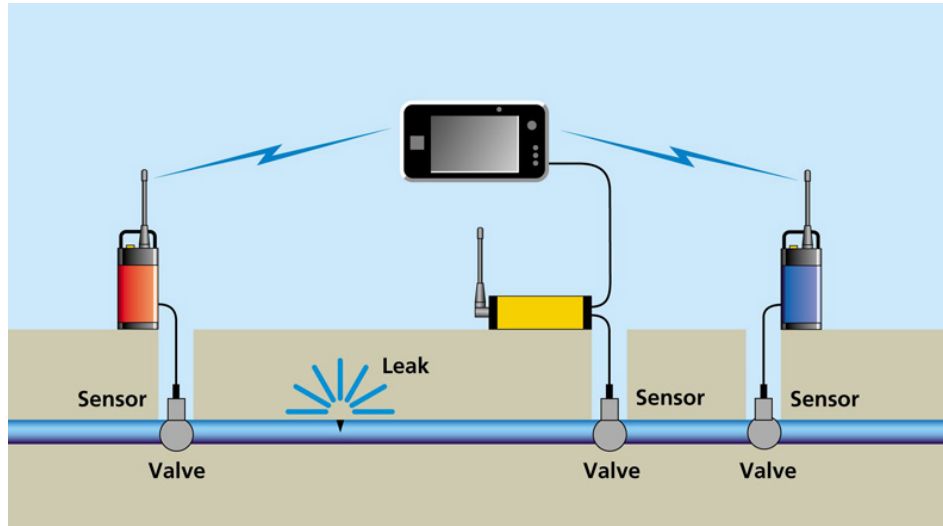


Fig.2.35. - Esquema de funcionamento de um correlador acústico (Perta, 2017)

- Injeção de gás – Tal como o nome indica, esta técnica compreende a injeção de gás sob pressão em troços da rede, sendo, para isso, necessário suspender o abastecimento temporariamente. A libertação do gás através da fuga deixa vestígios que podem ser detetados recorrendo a aparelhos próprios. O hélio e uma mistura de hidrogénio e azoto são regularmente utilizados neste processo.

- Ensaios de estanqueidade em reservatórios e condutas – Processo utilizado na deteção de fugas em reservatórios, por exemplo, através do estudo das variações de pressão ao longo da sua altura.

2.6.4. GESTÃO DA PRESSÃO DE SERVIÇO

O volume de perdas de água é altamente influenciado pela pressão dentro das condutas. Estudos indicam que o caudal de fuga varia com a pressão segundo a seguinte razão:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{N1} \quad (2.21.)$$

Onde Q_1 e Q_0 correspondem aos caudais de fuga nas condutas onde se verificam as pressões p_1 e p_0 , respetivamente. De facto, tem-se verificado que a relação existente entre caudal de fuga e pressão não é perfeitamente linear, sendo afetada de um parâmetro, $N1$, que costuma variar entre 0,5 e 1,5, e que depende do material da conduta, das condições de operação, eventuais estragos na conduta, entre outros fatores (Thornton, 2005). A pressão atua no volume de perdas em três níveis: no consumo dos clientes, nos caudais de fuga e na frequência de roturas. Pressões elevadas nos sistemas resultam, em geral, num maior consumo por parte dos clientes, no aumento dos caudais de fuga e no aumento da frequência de roturas. É com isto em mente que se procura fazer uma gestão adequada da pressão nos sistemas de abastecimento. Esta gestão engloba, para além de um profundo conhecimento da rede e potenciais problemas, a identificação dos tipos de clientes e respetivos consumos, a monitorização dos caudais e pressão em vários pontos da rede, a simulação informática de possíveis alterações na operação do sistema, a identificação de válvulas de controlo, análises custo-benefício, entre outros (Farley, Wyeth et al., 2008).

A redução das pressões é particularmente interessante à noite, quando estas são superiores, fruto do reduzido consumo durante esta parte do dia. Existem vários métodos de diminuir a pressão em sistemas de abastecimento. Para além das já mencionadas válvulas redutoras de pressão, são ainda utilizados tanques de redução de pressão e bombas de velocidade variável (Farley, Wyeth et al., 2008). O recurso a válvulas redutoras de pressão é o método mais utilizado devido à sua relativamente fácil operação e representando, em geral, um menor esforço financeiro. Estas válvulas podem ser operadas diretamente, por controlo remoto, ou indiretamente, através de temporizadores programados para responder aos padrões de consumo (Poças Martins, 2014).

A gestão de pressões em redes existentes deve compreender ainda uma análise global da situação que procure oportunidades, nomeadamente no que toca ao aproveitamento da pressão induzida por gravidade em detrimento da utilização de grupos elevatórios, responsáveis por grandes consumos de energia elétrica.

A estratégia de gestão de pressões deve ter sempre em conta a qualidade do serviço que se pretende prestar. Para além de poder causar problemas no acesso em pontos críticos da rede (e.g. edifícios altos e sem reservatório próprio, pontos a cota mais elevada), a manutenção de pressões baixas facilita a contaminação da água por agentes externos e pode dificultar a localização de fugas, diminuindo a eficácia das sondagens acústicas.

2.6.5. GESTÃO DE ATIVOS

A gestão de ativos compreende a boa operação e manutenção do serviço e suas infraestruturas. Este processo engloba a decisão de reparar, substituir ou, possivelmente, não agir em caso de anomalias nos equipamentos, com vista à minimização dos custos ao longo da sua vida. A escolha de equipamentos adequados é igualmente importante. O tipo e o tamanho do modelo devem ser adequados à utilização que se pretende dar e todos os custos envolvidos devem ser ponderados. Esta análise requer um profundo conhecimento do estado das infraestruturas e histórico de avarias e deve compreender a definição de investimentos prioritários. Simultaneamente, a gestão de ativos engloba a operação do sistema, na procura de soluções mais eficientes (Farley, Wyeth et al., 2008). Os Sistemas de Informação Geográfica, SIG, podem ser utilizados, com sucesso, no mapeamento e histórico de avarias e definição de investimentos a fazer.

2.7. MODELAÇÃO NUMÉRICA - EPANET

A análise dos caudais em redes foi uma das primeiras aplicações dos computadores na engenharia civil. O cálculo de redes emalhadas complexas obrigava à aplicação de vários métodos iterativos e à dispensa de longos períodos na sua resolução. Hoje em dia, porém, com recurso a computadores, é possível resolver estes problemas em alguns segundos. A utilização de programas de simulação apresenta diversas vantagens: permite, tal como o nome indica, simular vários cenários de operação, facilitando a sua otimização e, ao mesmo tempo ajudando a perceber a resposta do sistema a diversos cenários no presente e, sobretudo, no futuro. Ao mesmo tempo, permite testar as diversas alternativas antes de se efetuar alterações físicas ao sistema, poupando tempo e dinheiro. O uso de modelos de computador em sistemas de abastecimento de água pode ser dividido em duas partes (Walski, 1983): uma parte computacional, que incorpora o cálculo propriamente dito, e uma parte correspondente aos dados sobre os componentes físicos do sistema, consumos dos clientes e características da operação do sistema, a introduzir no programa. A modelação de um sistema compreende diversos passos. Numa primeira abordagem, deve estabelecer-se o que se pretende obter com o recurso à modelação do sistema. Os componentes físicos do sistema a modelar são, então, introduzidos no software, através da interface por este disponibilizada. Um dos passos mais importantes para o sucesso da modelação é a recolha de dados. Estes devem permitir a caracterização, o mais exhaustiva possível, da rede, da sua operação e dos consumos dos clientes, de forma a obter resultados fidedignos, passíveis de serem tomados como boas aproximações. Antes de correr qualquer simulação é fundamental calibrar o modelo com observações feitas no terreno. Quando o modelo estiver calibrado, pode então correr-se o programa e documentar os

resultados (Mays, 2000). De uma forma geral, a metodologia de desenvolvimento de um modelo compreende os seguintes passos:

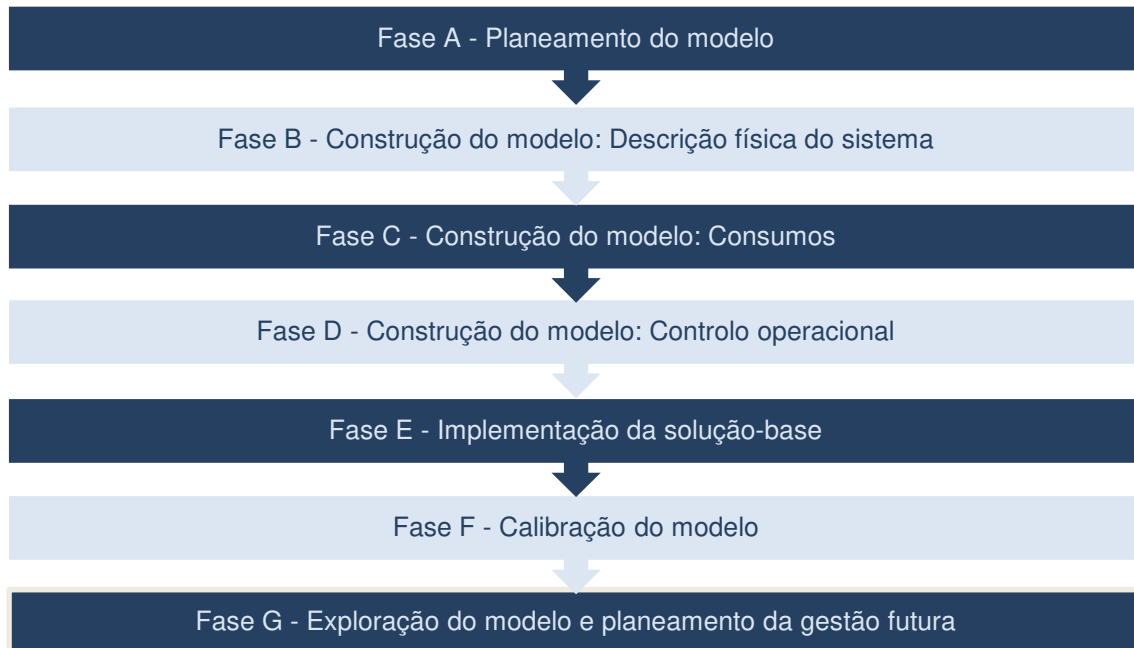


Fig.2.36. - Fases do desenvolvimento de um modelo (Coelho, Loureiro et al., 2006)

O EPANET é um exemplo de um programa de modelação e simulação. Desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA), uma agência governamental dos Estados Unidos da América, o EPANET é um software de domínio público e de acesso gratuito criado em 1993, com vista à resolução de problemas hidráulicos em redes pressurizadas.

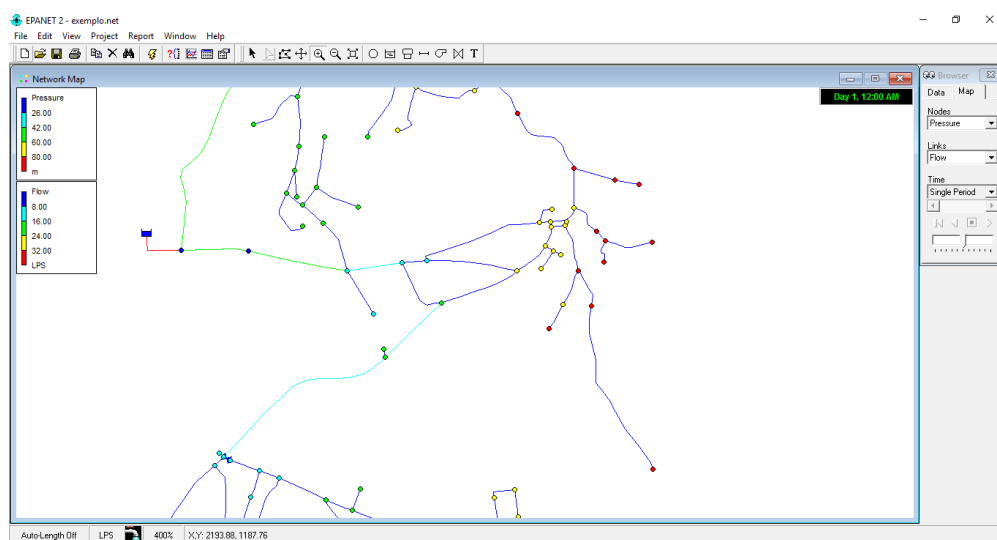


Fig.2.37. - Interface do EPANET

3

ÂMBITO E OBJETIVOS

3.1. ÂMBITO

A revisão bibliográfica dá conta de um setor em mudança. As EG, impulsionadas por uma opinião pública cada vez mais atenta e exigente, são chamadas a fazer uma gestão sustentável dos recursos naturais e financeiros. As perdas reais de água continuam a ser um problema, constituindo um obstáculo na procura dessa sustentabilidade e, embora muito tenha vindo a ser feito nesse capítulo, existe uma grande margem para melhorar a nível nacional. Ao mesmo tempo, novos equipamentos e metodologias têm vindo a ser implementados com sucesso a nível internacional. A gestão das perdas reais é possível e, por vezes, grandes saltos qualitativos no desempenho das EG podem ser conseguidos sem grandes investimentos. A procura dessas oportunidades constitui, em si, uma oportunidade que deve ser explorada e estudada.

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente empresarial, na Águas de Gaia, E.M., SA.

3.2. OBJETIVOS

O objetivo da dissertação consiste na identificação de oportunidades de redução das perdas reais na rede de distribuição da empresa Águas de Gaia, E.M., SA, tendo em conta os custos e benefícios e as prioridades da empresa.

Nesse sentido, e posteriormente, definiu-se como objetivos:

- Identificação de oportunidades de delimitação de ZMC na rede do reservatório da Rasa da Águas de Gaia, EM, SA;
- Projeto de definição de uma ZMC;
- Acompanhamento da implementação do projeto da ZMC definida;
- Monitorização do caudal entrado e saído na ZMC definida e estimativa das perdas reais.

4

GESTÃO DE PERDAS NA ÁGUAS DE GAIA, EM, SA

4.1. ENQUADRAMENTO

A Águas de Gaia, EM, SA é uma empresa municipal criada em 1998, substituindo os Serviços de Água Municipalizados então existentes, com vista a uma maior autonomia perante a autarquia e a uma gestão integrada do ciclo urbano da água no concelho. Localizado no litoral norte de Portugal, o concelho de Vila Nova de Gaia tinha, aquando do censo de 2011, uma população residente de 302 298 habitantes e sendo, por isso, o terceiro concelho mais populoso do país e o mais populoso da região Norte. Com 132 542 clientes de água e 129 716 clientes de saneamento em 2015, a Águas de Gaia apresentava taxas de cobertura de 97,3% e 95,3%, respetivamente (Águas de Gaia, 2016).



Fig.4.1. - Logótipo da Águas de Gaia, EM , SA (Águas de Gaia, 2016)

A empresa está hoje presente em diversas áreas de atividade incluindo, para além da distribuição de água no concelho, a drenagem de águas residuais, a drenagem de águas pluviais, a recolha de resíduos sólidos urbanos, a limpeza e manutenção dos rios e ribeiras e a gestão de zonas balneares e praias. Em termos de infraestruturas de distribuição, a empresa dispunha em 2015 de uma rede com 1493 km de extensão e 32 reservatórios de distribuição, associados a 32 zonas de distribuição, com uma capacidade total de reserva suficiente para, em média, atender às necessidades da população durante 48 horas (Águas de Gaia, 2016).

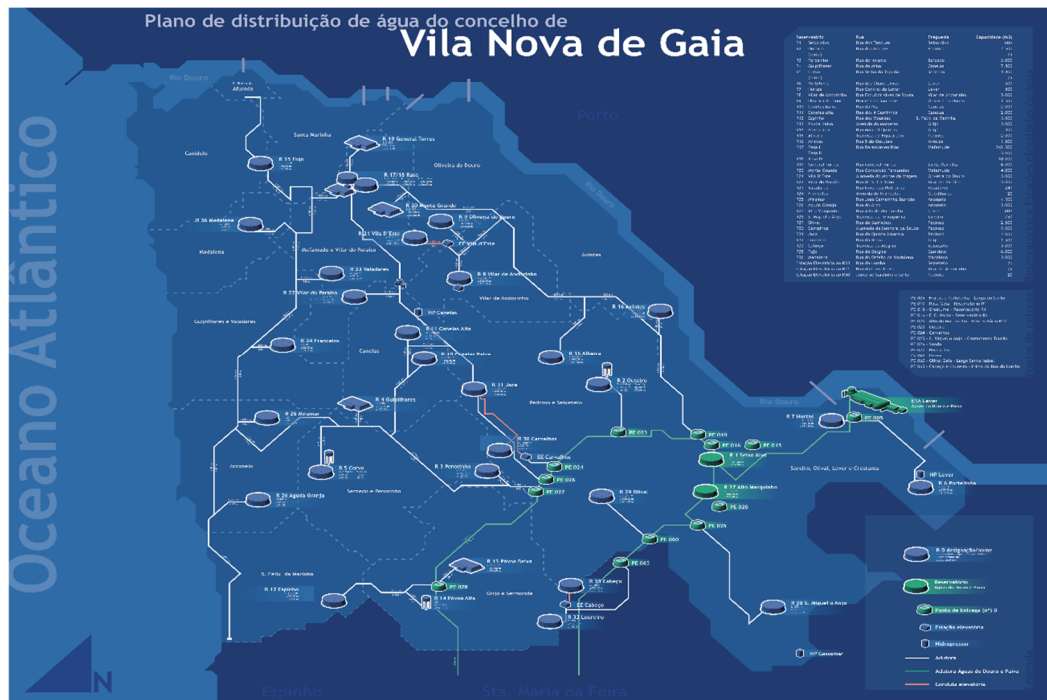


Fig.4.2. - Rede de distribuição de água em Vila Nova de Gaia (Águas de Gaia, 2017)

A Águas de Gaia EM, SA adquire a água, previamente captada e tratada, à Águas do Douro e Paiva, SA, sendo responsável pelo seu armazenamento em reservatórios urbanos e pela sua distribuição pelos clientes do concelho de Vila Nova de Gaia.

4.2. BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico da Águas, EM, SA está integrado no “Relatório e Contas” anual da empresa, que pode ser consultado no seu sítio da internet.

Quadro 4.1. - Balanço hídrico da Águas de Gaia, EM, SA, referente ao ano de 2015 (Águas de Gaia, 2016)

Água Entrada no Sistema 18 585 181 m³ [100%]	Consumo Autorizado 14 593 202 m³ [78,5%]	Consumo autorizado faturado 13 176 952 m³ [70,9%]	Consumo autorizado medido 7 740 110 m³ [41,6%]	Água faturada 13 176 952 m³ [70,9%]
			Consumo autorizado não medido (estimado) 5 436 842 m³ [29,3%]	
		Consumo autorizado não faturado 1 416 250 m³ [7,6%]	Consumo não faturado não medido 1 416 250 m³ [7,6%]	
			Consumo não autorizado 174 262 m³ [0,9%]	
		Perdas aparentes 1 029 180 m³ [5,5%]	Perdas de água por erros de medição 854 918 m³ [4,6%]	Água não faturada 5 408 231 m³ [29,1%]
	Perdas de água 3 991 979 m³ [21,5%]		Fugas reservatórios e adutoras 184 154 m³ [1,0%]	
		Perdas reais 2 962 799 m³ [15,9%]	Fugas na rede 607 710 m³ [3,3%]	
			Fugas nas ligações 1 775 467 m³ [9,6%]	
			Roturas 395 468 m³ [2,1%]	

4.3. GESTÃO DE PERDAS

Aquando da criação da Águas de Gaia, EM, SA, em 1998, o serviço de abastecimento de água apresentava uma percentagem de ANF elevada, que rondava 40% da água entrada no sistema. A política

de redução de ANF adotada na altura permitiu uma redução considerável nos anos subsequentes. Esta política assentou, sobretudo, na rápida reparação das roturas visíveis existentes e na criação de um controlo ativo de fugas, com vista à reparação de roturas invisíveis. No que toca à gestão da pressão, as condições topográficas existentes e a inexistência de estações elevatórias próprias em edifícios de grande altura impossibilitaram a sua redução (Poças Martins, 2014).

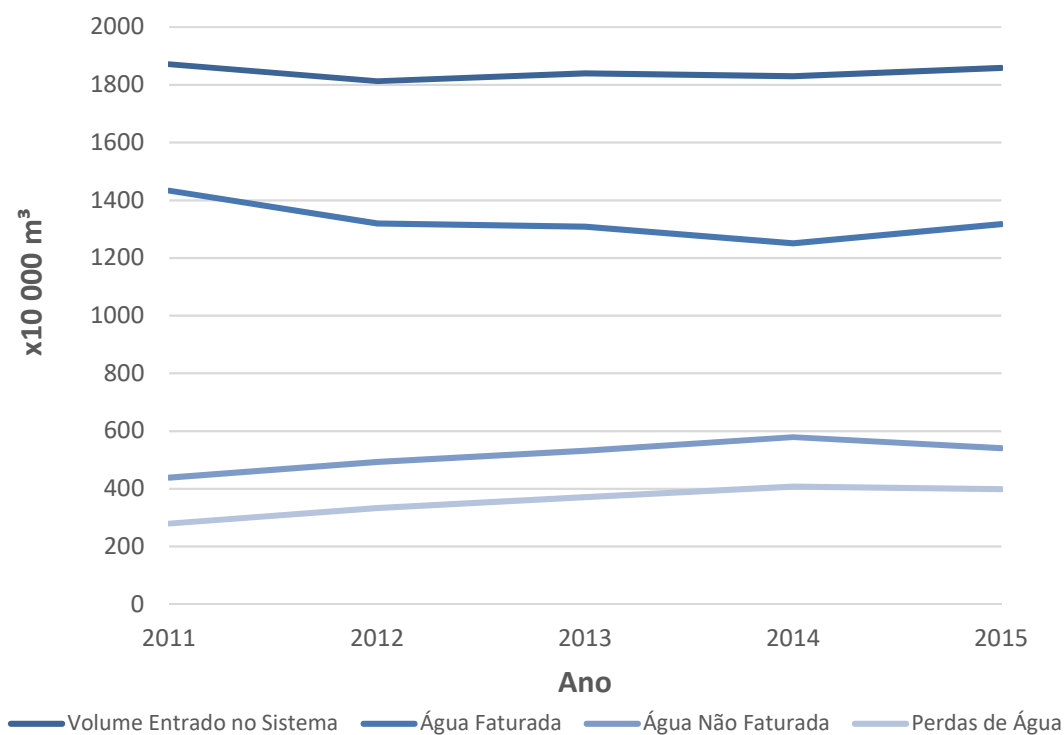


Fig.4.3. - Evolução de componentes do balanço hídrico entre 2011 e 2015 (Águas de Gaia, 2016)

Nos últimos anos a ANF apresentava uma tendência de crescimento que, no entanto, foi quebrada em 2015, resultando de campanhas de substituição dos contadores mais antigos e consequente redução das perdas por erros de medição em cerca de 115 000m³ (Águas de Gaia, 2016). No que toca às perdas reais, a Águas de Gaia tem realizado um esforço no sentido de instalar mais ZMC, nas quais, através de um sistema de telegestão com obtenção de dados em tempo real, é possível analisar os caudais noturnos, o que permite facilitar a deteção e localização de roturas. Quando tal acontece, são realizadas sondagens acústicas com equipamentos de deteção, procedendo-se à localização exata das roturas e, posteriormente, à sua reparação.



Fig.4.4. - Sistema de telegestão, tipo SCADA, da Águas de Gaia, EM, SA (18 de maio de 2017)

Em consonância com o que se tem verificado no resto do país, e apresentando uma taxa de cobertura elevada, a construção de novas ligações apresenta em Vila Nova de Gaia uma tendência decrescente. Por outro lado, existe um esforço continuado na substituição dos troços da rede mais degradados e, nesse sentido, o histórico de avarias tem permitido a definição de investimentos prioritários.



Fig.4.5. - Substituição de conduta na Águas de Gaia, EM, SA (24 de março de 2017)

Quadro 4.2. - Comprimento da rede de abastecimento da Águas Gaia, EM, SA (Águas de Gaia, 2016)

Rede de Água (km)				
Ano	Existente	Nova	Antiga	Substituída
2011	1476,4	1,6		2,1
2012	1480,4	4,0		6,5
2013	1490,5	10,1		1,1
2014	1492,3	1,8		3,7
2015	1493,4	1,1		1,4

Enquadrada na sua estratégia de redução de perdas de energia, a Águas de Gaia tem vindo a apostar na substituição de equipamentos elétricos e mecânicos desgastados ou pouco eficientes, optando por equipamentos com maior rendimento. Desde 2008, os reservatórios da Águas de Gaia têm vindo a ser equipados com painéis fotovoltaicos, o que tem permitido a redução da energia adquirida e a injeção de energia de fontes renováveis na rede pública, com ganhos financeiros consideráveis para a empresa.

5

DEFINIÇÃO DOS LIMITES DE ZMC

5.1. ENQUADRAMENTO

O reservatório em estudo, localizado no complexo da Rasa, é um reservatório retangular semienterrado e tem uma capacidade de cerca de 5000m³, que permite abastecer mais de 30 000 clientes no concelho de Vila Nova de Gaia. O reservatório é composto por duas células com 2500m³ e a lâmina de água atinge, no seu interior, uma altura máxima de 5 metros. Contudo, e tendo em conta a importância deste reservatório, em condições normais de funcionamento a lâmina de água ronda geralmente os 4 metros de altura. A soleira do reservatório encontra-se a uma cota de 134 metros. Os clientes abastecidos pelo reservatório da Rasa encontram-se identificados num Sistema de Informação Digital, SIG, onde, para além da sua localização, é possível consultar o Número de Polícia, o Código de Prédio, entre outras informações.

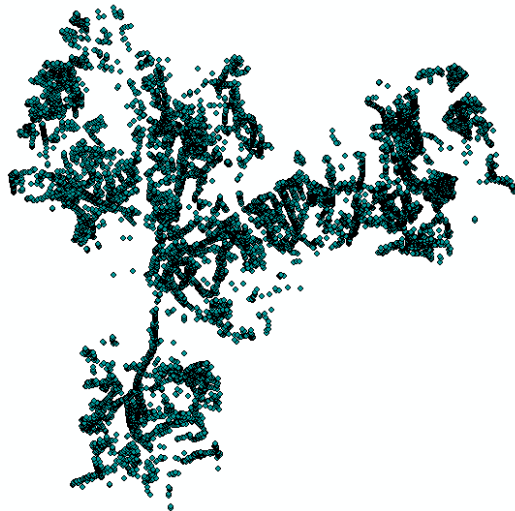


Fig.5.1. - Identificação dos clientes associados ao reservatório da Rasa em 2015 no SIG da Águas de Gaia

Quadro 5.1. - Exemplo de informação disponível no SIG da Águas de Gaia EM, SA

Sistema	Identificação do sistema de abastecimento em questão. No caso, o de Vila Nova de Gaia.
Subsistema	Identificação do subsistema em questão. No caso, o associado ao reservatório da Rasa.
Número de Polícia	Identificação do número de polícia associado a cada cliente.
Código de Prédio	Código alfanumérico único atribuído a cada cliente.
Consumos	Consumos associados a cada Código de Prédio em 2015 em m ³ /ano.

5.2. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

A procura de oportunidades de definição de ZMC teve por base os critérios definidos em 2.6.1.2. e seguiu aproximadamente a metodologia aí apresentada. Para tal, recorreu-se a um mapa da área em estudo, onde se encontram identificadas as condutas e outros dispositivos hidráulicos existentes e suas características, bem como as curvas de nível do terreno.



Fig.5.2. - Mapa utilizado na procura de oportunidades de definição de ZMC (26 de abril de 2017)

a) Definição e caracterização de uma ZMC provisória

O primeiro passo do processo de definição de ZMC consistiu no esboço, no mapa disponibilizado, dos limites de uma ZMC na rede do reservatório da Rasa. Este processo teve por base a procura de zonas da rede, total ou parcialmente isoladas, ou seja, com o mínimo de ligações à restante rede. Definiu-se, então, uma área, na zona de Canidelo e S. Pedro da Afurada, potencialmente interessante como ZMC. A ZMC proposta encontra-se limitada a oeste pela área abastecida pelo reservatório do Fojo. Como referido, a ZMC é abastecida exclusivamente pelo reservatório da Rasa, em Vila Nova de Gaia, cuja soleira se encontra a uma cota de aproximadamente 134 metros.



Fig.5.3. - ZMC definida na zona de Canidelo e S. Pedro da Afurada (Google Earth)

b) Entradas e saídas da ZMC

A zona definida está ligada à restante rede por três condutas, uma de 200mm de diâmetro, na Rua de Bustes, uma de 90mm de diâmetro, na Rua Abílio de Azevedo, e outra de 75mm de diâmetro, na Rua Pedra Alta, sendo que se pretende estudar a possibilidade de isolar a ZMC, suprimindo o abastecimento pelas duas últimas, como demonstra a Fig.5.3. Embora o conceito de ZMC contemple a possibilidade da existência de mais do que uma ligação à restante rede, desde que o caudal entrado e saído seja devidamente medido, na prática esta consideração dificulta a operação e monitorização da ZMC e das perdas aí existentes. O abastecimento à ZMC passaria a ser feito, então, exclusivamente pela conduta de 200mm de diâmetro. De maneira a estudar viabilidade desta solução, calculou-se o caudal máximo que esta conduta pode escoar em condições de segurança.

$$Q_{m\acute{a}x} = V_{m\acute{a}x} \times A \quad (5.1.)$$

Onde A é a área da superfície onde se vai processar o escoamento e $V_{m\acute{a}x}$ é a velocidade máxima recomendada pela legislação (ver 2.2.1.5.), podendo ser determinadas através das seguintes expressões:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (5.2.)$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0.127 \times D^{0,4} \quad (5.3.)$$

Onde D é o diâmetro interno da conduta em mm, que deve ter em conta o estado atual da conduta e eventuais deposições calcárias nas suas paredes. Não se possuindo informação suficiente para considerar, com precisão, este fenómeno, considerou-se um diâmetro interno de 184,6 mm para a conduta de PVC PN10 de 200mm de diâmetro externo (FERSIL, 2009):

Quadro 5.2. – Caudal máximo estimado escoado pela conduta de entrada da ZMC

Dext.	D	V _{máx}	Área	Q _{máx}	
mm	mm	m/s	m ²	m ³ /s	l/s
200	184,6	1,02	0.0268	0.0274	27,4

Esta conduta deve estar preparada para escoar o caudal de ponta associado aos consumidores existentes na área em estudo. Esse caudal, que tem em conta as variações do consumo ao longo do dia, pode ser dado por:

$$Q_{ponta} = Q_{m\acute{e}dio\ anual} \times f_{ponta} + Q_{perdas} \quad (5.4.)$$

Onde f_{ponta} é um fator de ponta horário, obtido em função do nº habitantes abastecidos, P , que pode ser calculado recorrendo à seguinte expressão:

$$f_{ponta\ horário} = 2 + \frac{70}{\sqrt{P}} \quad (5.5.)$$

Tendo em conta a falta de informação sobre o número de pessoas que possam residir ou coincidir na área, dado a existência de alguns equipamentos públicos, e não se tendo informação sobre as perdas associadas, optou-se por comparar o caudal máximo escoado com o caudal médio anual, referente ao ano de 2015.

Quadro 5.3. - Caudal médio anual

Nº de clientes	Consumo total anual 2015	Caudal médio anual 2015
	m³/ano	l/s
540	100618	3.19

A disparidade entre o caudal máximo escoado pela conduta e o caudal médio anual resultante dos consumos na ZMC deixa antever, mesmo com as simplificações consideradas, que a conduta existente é mais do que suficiente para abastecer os clientes na área questão. Um estudo do caudal mais complexo poderia ser realizado, com o objetivo de perceber se existirão problemas de natureza semelhante noutras condutas da ZMC. Um caudalímetro de 200mm e um *datalogger* seriam, neste contexto, instalados na entrada da ZMC, com o objetivo de medir os volumes entrados na mesma e transmitir os dados ao sistema de telegestão da Águas de Gaia, EM, SA em tempo real.



Fig. 5.4.– Caudalímetro (RESOPRE, 2017)



Fig.5.5. – Datalogger (Sofrel Lacroix, 2017)

c) Dimensão

Em termos de dimensão, e segundo dados de 2015, a ZMC definida abastece cerca de 540 clientes numa área de cerca de 0,3km². A ZMC proposta apresenta, portanto, um tamanho razoável para uma zona urbana, encontrando-se dentro dos valores propostos na bibliografia consultada e classificando-se como uma ZMC pequena, de acordo com a classificação proposta pela EPAL.

A ZMC está inserida numa zona predominantemente habitacional de Vila Nova de Gaia, embora existam alguns estabelecimentos comerciais de pequena dimensão e uma grande superfície comercial, especializada na venda de móveis. Os consumos registados no ano de 2015 apontam para um consumo médio que ronda os 275 m³/dia na totalidade da ZMC, o que fica abaixo dos valores propostos na revisão bibliográfica. No que toca à existência de grandes consumidores, destaca-se a presença da superfície comercial de grande dimensão, não sendo de esperar, contudo, que venha a apresentar elevados consumos durante a noite.

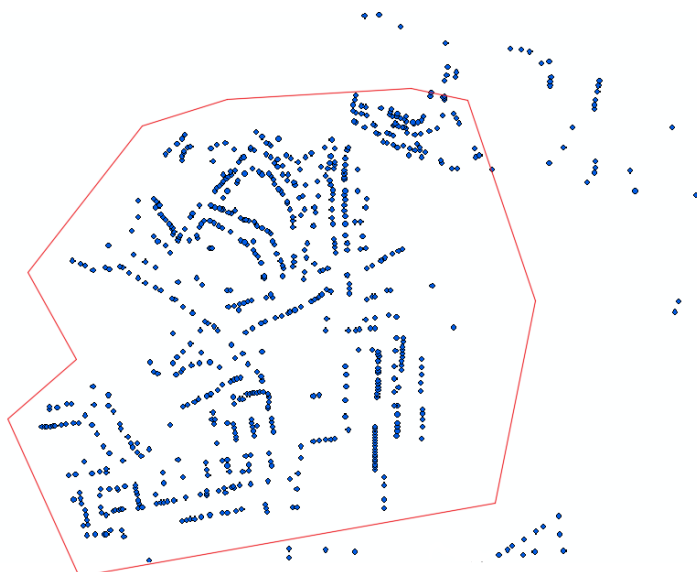


Fig.5.6. - Identificação dos consumidores associados à ZMC no SIG da Águas de Gaia

d) Comprimento total e diâmetro das condutas

A ZMC encontra-se abastecida por uma extensão total de rede de cerca de 5 km, o que constitui um tamanho adequado para a definição de uma ZMC. As condutas apresentam diâmetros entre os 75mm e os 200mm. As condutas de PVC PN10, correspondente a uma resistência a pressões até 10 bar, encontram-se distribuídas da seguinte forma:

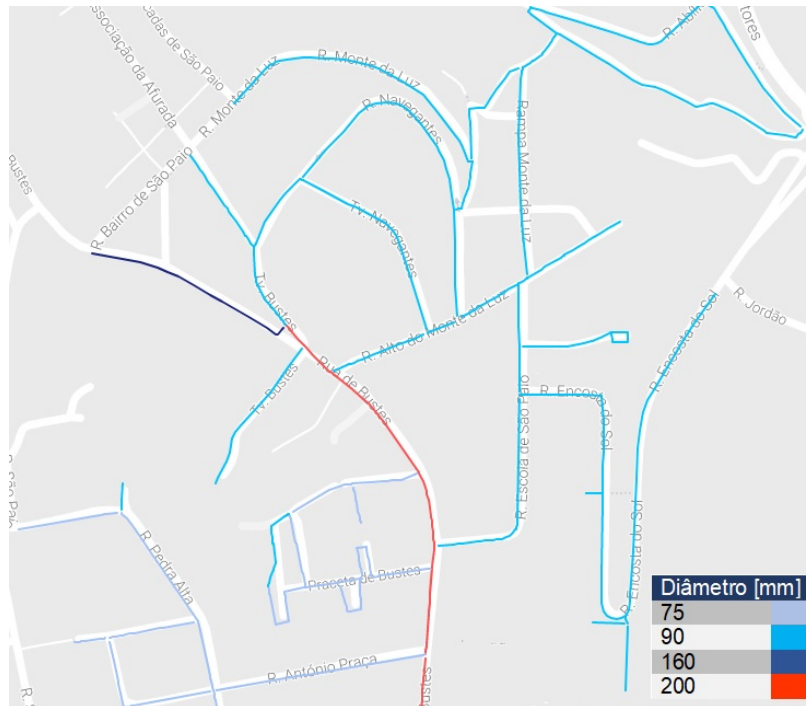


Fig.5.7. - Distribuição dos diâmetros das condutas na ZMC proposta (GOOGLE MAPS)

Ao longo da rede estão ainda instaladas várias válvulas de seccionamento que, embora abertas, provocam perdas de carga pontuais no escoamento.

e) Válvulas limite

A área definida como potencial ZMC integra 5 válvulas limite, que fazem a separação entre a rede abastecida pelo reservatório do Fojo e a rede abastecida pelo reservatório da Rasa. A implementação da ZMC obrigaria ao fecho de três válvulas de seccionamento: na Rua Bustes, na Rua Abílio de Azevedo e na Rua Dr. Ribeiro de Magalhães, respetivamente.



Fig.5.8. – Identificação das válvulas de seccionamento a fechar (GOOGLE MAPS)

f) Zonas de pressão controlada

As cotas altimétricas na ZMC definida variam entre os 74 metros, junto à entrada da ZMC, e os 26 metros, nas margens de um pequeno curso de água, o que resulta num desnível de 48 metros entre o ponto mais alto e o mais baixo. A variabilidade apresentada constitui um obstáculo à gestão eficiente das pressões. Ainda assim, pode considerar-se o subzonamento da ZMC em vários patamares, recorrendo a válvulas redutoras de pressão.

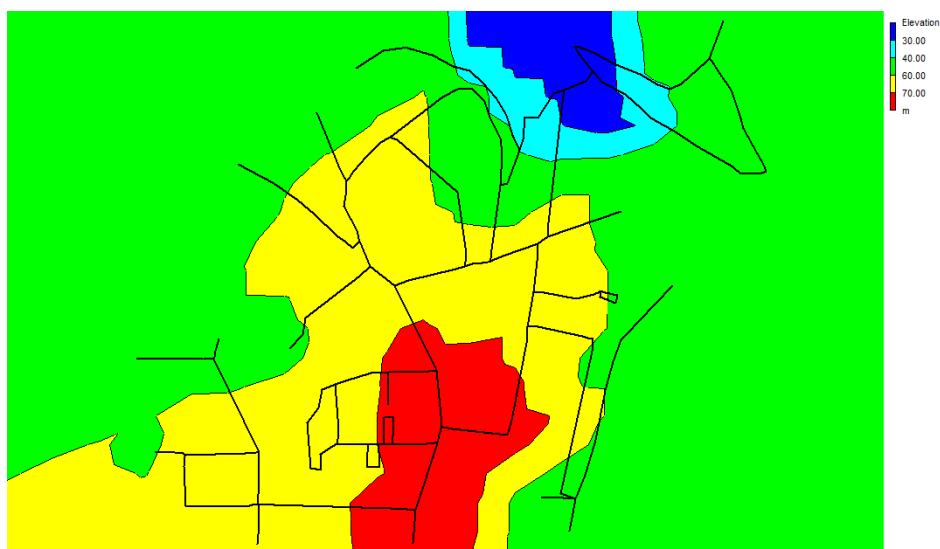


Fig.5.9. - Distribuição ilustrativa das cotas na área em estudo (EPANET)

g) Pressão

Determinação do ponto de consumo crítico

Tendo por objetivo a identificação do ponto de consumo crítico dentro da ZMC definida, realizou-se um estudo das pressões máximas. Para tal, considerou-se que as pressões à noite correspondiam sensivelmente às pressões estáticas, resultantes do desnível entre os pontos de consumo e a lâmina de água no reservatório que os abastece. Esta metodologia, sendo bastante simples, permite a identificação do ponto de consumo crítico, ou seja, o cliente a maior cota dentro da ZMC e onde a pressão será, consequentemente, a menor.

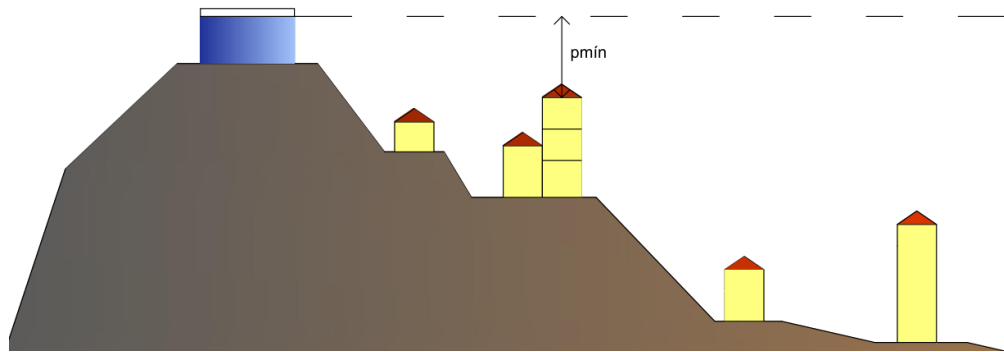


Fig.5.10. - Identificação do ponto de consumo crítico da ZMC

A determinação do ponto de consumo crítico partiu da informação disponível sobre os clientes acima descrita. Não se tendo informação sobre o andar ou cota dos clientes cadastrados, optou-se por estudar individualmente as características dos edifícios associados aos clientes existentes na ZMC. Assim sendo, tentou avaliar-se a cota, z , do terreno e o número, n , de pisos acima do solo para cada cliente, o que corresponde à pior das situações possíveis. Assumindo um pé-direito de 4 metros, conforme o estipulado no Decreto-Lei 23/ 95, de 23 de agosto (ver 2.2.1.5.), chegou-se, então, a um valor aproximado para a cota do cliente mais alto em cada prédio.

$$Z_{cliente+alto} = Z_{terreno} + 4n \quad (5.6.)$$

O desnível entre a lâmina de água no reservatório da Rasa e a cota do cliente mais alto corresponde à menor pressão que se vai fazer sentir nesse edifício. A menor das pressões obtidas na totalidade da ZMC corresponde, então, ao ponto crítico dentro da área em estudo.

$$p_{min} = Z_{lâmina\ no\ reservatório} - Z_{cliente+alto} \quad (5.7.)$$

Como referido, a lâmina de água no reservatório da Rasa ronda geralmente os 4 metros de altura e a sua soleira encontra-se à cota de 134 metros. Sendo assim, a cota da lâmina, em condições normais de funcionamento, é dada por:

$$Z_{lâmina\ no\ reservatório} = 134 + 4 = 138\ metros \quad (5.8.)$$

Nestas circunstâncias chegou-se a uma pressão, no ponto de consumo crítico (PCC), de 37mca. Numa zona onde a cota do terreno ronda os 73 metros, este ponto corresponde ao último piso de um edifício de 7 andares.

$$Z_{terreno} = 73\ metros \quad (5.9.)$$

$$p_{nível\ do\ terreno} = 138 - 73 = 65\ metros \quad (5.10.)$$

$$Z_{cliente+alto} = 73 + 4 \times 7 = 101\ metros \quad (5.11.)$$

$$p_{min} = 138 - 101 = 37\ mca \quad (5.12.)$$



Fig.5.11. - Localização do ponto de consumo crítico (GOOGLE EARTH)

Estudo das pressões ao longo do dia

Tendo como objetivo avaliar as pressões mínimas verificadas no ponto de consumo crítico, instalou-se, junto a este, um registador de pressão. Durante aproximadamente uma semana foram medidas as pressões ao nível do terreno, em intervalos regulares de 5 minutos, num total de 1769 registos.

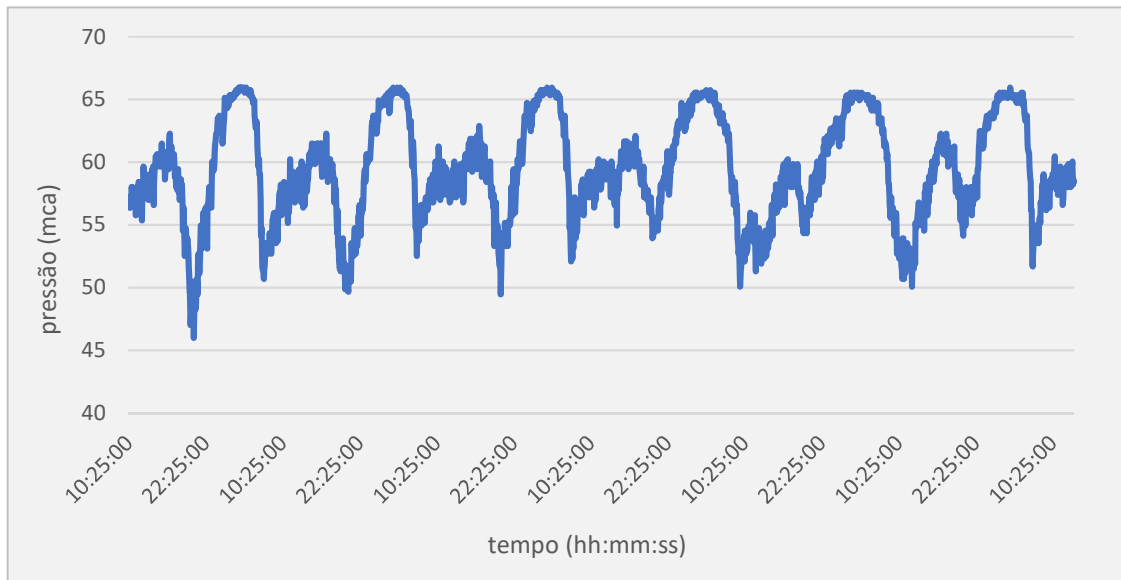


Fig.5.12. – Estudo da pressão no ponto de consumo crítico (A) ao nível do terreno

O registo teve início às 10:25 do dia 23 de maio de 2017, terça-feira, e terminou às 13:45 do dia 29 de maio de 2017, segunda-feira. A pressão média verificada durante o período de registo foi 59,42mca. Como seria de esperar, verificaram-se diariamente dois picos de pressão mais baixa, um ao início da manhã e outro ao final da tarde. Este fenómeno, resultante duma acentuação dos consumos nestas horas, acabou por ter maior expressão ao final da tarde, tendo a pressão mínima registada sido 46,00mca, às 20:35 do dia 23 de maio. Como seria também de esperar, as pressões máximas verificaram-se durante a noite, atingindo valores próximos da pressão estática determinada no ponto anterior, ainda que não se tenha tido em conta as variações no nível do reservatório. A pressão máxima, ao nível do solo, atingida no período de estudo foi 65,95mca, que se verificou várias vezes durante a noite ao longo do estudo. Tendo em conta as considerações assumidas no ponto anterior, a pressão mínima registada ao nível do solo, traduz-se, ao nível do cliente mais alto, numa pressão de aproximadamente:

$$p_{min} = 46 - 4 \times 7 = 18 \text{ mca} \quad (5.13.)$$

Tendo em conta a necessidade de garantir uma pressão de cerca de 10mca ao nível do cliente mais alto, estipulada no Decreto-lei n. °23/95 de 23 de agosto (ver 2.2.1.5.), e a grande dimensão do diâmetro da

conduta que abastece o edifício em questão, a pressão verificada apresenta ainda alguma margem, pelo que não seriam de esperar problemas de pressão neste ponto, aquando da implementação da ZMC.

h) Qualidade da água

O fecho de três válvulas de seccionamento gera três novos extremos na rede, onde a qualidade da água pode vir a degradar-se. Um dos extremos não aparenta ter consumos associados, situação que deve ser verificada no terreno. Se assim for, pode considerar-se a supressão do abastecimento neste elemento da rede. Nos outros extremos existem vários consumidores ao longo do traçado das condutas, pelo que a situação merece mais cuidado. Numa fase inicial da implantação da ZMC deve procurar monitorizar-se a situação, nomeadamente junto dos clientes e, caso se verifique a existência de problemas, deve proceder-se ao planeamento de descargas sistemáticas nesses troços.

i) Auditoria às instalações existentes

A fase de auditorias é fundamental para assegurar a operacionalidade dos equipamentos antes da entrada em funcionamento da ZMC. No âmbito deste trabalho, e tendo em conta a dificuldade em implementar a ZMC inicialmente proposta, por razões que a seguir se explicam, optou-se por não realizar as devidas auditorias numa primeira fase. No caso em estudo, deveria ser assegurada a operacionalidade das válvulas a fechar e dos marcos de incêndio e pontos de medição a usar durante a implementação da ZMC.

j) Validação do projeto de ZMC

Na fase de validação, o impacto da ZMC na restante rede foi discutido e surgiram dúvidas sobre se seria possível, no caso da sua implantação, garantir a qualidade do abastecimento a uma área anexa.

5.3. AVALIAÇÃO DO PROBLEMA DE ABASTECIMENTO À ZONA ANEXA

Como referido anteriormente, a setorização da rede em ZMC levanta problemas complexos e requer o profundo conhecimento da rede e da sua operação. De facto, constatou-se na fase de validação do projeto de ZMC que a sua implementação poderia pôr em causa o abastecimento a uma zona anexa, a que, para efeitos práticos, se vai chamar Zona 2, visto passar a ser feito apenas por uma conduta de 90mm, conforme se demonstra na Fig.5.13. Isto resulta parcialmente do facto de se ter definido uma ZMC com um diâmetro de entrada considerável (200mm), o que, embora permita assegurar o abastecimento à ZMC, deixa antever a importância deste troço no abastecimento para além da área desta.



Fig.5.13. - Possível problema de caudal na Zona 2 (a azul claro), anexa à ZMC definida (a amarelo) (GOOGLE EARTH)

Tendo como objetivo averiguar a possibilidade de estabelecer a ZMC sem comprometer o abastecimento à Zona 2 procedeu-se a um estudo do caudal, tendo por base os volumes anuais abastecidos aos clientes no ano de 2015 e o caudal máximo escoado pela conduta existente, de forma análoga à realizada na alínea c) do ponto 5.2. Considerou-se um diâmetro interno de 81,4mm para a conduta de 90mm (FERSIL, 2009).

Quadro 5.4. – Caudal máximo estimado escoado pela conduta de entrada da Zona 2

Dext.	Dint.	Vmáx	Área	Qmáx	
Mm	mm	m/s	m ²	m ³ /s	l/s
90	81,4	0.738	0.00520	0.00384	3.84

A área em estudo insere-se na antiga freguesia de São Pedro da Afurada, agora União das Freguesias de Santa Marinha e São Pedro da Afurada. São Pedro da Afurada tem uma população de cerca de 3600 habitantes e uma área de 1km². A Zona 2, em estudo, com 0,26km², conta ainda com três unidades hoteleiras de grandes dimensões com 93, 95 e 108 quartos, respetivamente. Voltou a optar-se, como simplificação, por não considerar o fator de ponta e o volume de perdas nesta etapa.

Quadro 5.5. – Caudal médio anual associado à Zona 2

Nº de clientes	Consumo total anual 2015	Caudal médio anual 2015
	m³/ano	l/s
130	89875	2.85

Verifica-se que, mesmo não afetando o caudal médio de um fator de ponta e não considerando o caudal de perdas, a implementação da ZMC proposta poderia pôr em causa o abastecimento na Zona 2, sendo o valor do caudal médio de 2015 bastante próximo do caudal máximo escoado pela conduta de 90mm, sobretudo nas horas de maior consumo. Confirma-se então que, nestas condições, a ZMC proposta não é uma solução viável, ficando a sua validação dependente da consideração de propostas alternativas e, eventualmente, de alterações físicas à rede.

5.4. PROPOSTAS ALTERNATIVAS

Considerando a impossibilidade de se estabelecer a ZMC proposta, tentou definir-se propostas alternativas com vista à sua implementação. Foram consideradas três alternativas diferentes: a criação de uma ZMC conjunta com duas entradas/saídas distintas, a criação de uma ZMC conjunta com apenas uma entrada/saída e a implantação da proposta inicial, fazendo as alterações necessárias à rede e criando duas ZMC. Procurou fazer-se uma análise qualitativa das alternativas propostas, de maneira a tentar perceber qual seria a opção mais favorável neste contexto.

5.4.1. ZMC CONJUNTA COM DUAS ENTRADAS DISTINTAS

Do ponto de vista de esforço técnico, a criação de uma ZMC conjunta com duas entradas distintas seria a opção mais atrativa. Como referido, o conceito de ZMC permite a existência de mais do que uma entrada/saída, desde que todos os caudais entrados e saídos sejam devidamente medidos. A implementação desta proposta não requer alterações físicas profundas à rede, sendo apenas necessário proceder à aquisição e instalação de equipamentos de medição e comunicação e ao fecho de uma válvula de seccionamento já existente, na Rua Pedra Alta.



Fig.5.14. – Proposta 1 (GOOGLE MAPS)

Tendo como objetivo a implementação desta solução, devem ter-se em conta as seguintes etapas:

1. Aquisição de dois caudalímetros, a instalar na Rua de Bustes e na Avenida dos Escultores ou, em alternativa, na Alameda Jardins da Arrábida. Espera-se que o escoamento se faça sobretudo de fora para dentro da ZMC. Contudo, se possível, devem ser adquiridos caudalímetros eletromagnéticos, que permitam a medição do fluxo nos dois sentidos;
2. Aquisição de 2 *dataloggers* que permitam a captação e transmissão dos dados medidos nos caudalímetros, em tempo real, para o sistema de telegestão da Águas de Gaia;
3. Supressão do abastecimento pela conduta de 75mm de diâmetro, na rua Pedra Alta, fechando a válvula de seccionamento aí localizada. Este processo deve ser acompanhado da monitorização da pressão em vários pontos, entre eles, o ponto crítico da ZMC;
4. Instalação de caudalímetro nas condutas de entrada da ZMC definida, na Rua de Bustes e na Avenida dos Escultores. A instalação dos caudalímetros será acompanhada de cortes temporários no abastecimento das condutas, pelo que devem ser evitadas as horas de maior consumo e se deve procurar avisar os clientes possivelmente afetados;

5. Validação da ZMC. Deve procurar garantir-se que todas as entradas na ZMC se encontram fechadas ou monitorizadas. Nesse sentido, pode ser realizado um teste de pressão zero, suprimindo o abastecimento à ZMC e monitorizando a pressão no seu interior. Se a pressão descer rapidamente a ZMC encontra-se validada;
6. Monitorização do caudal entrado e saído na ZMC.

Aspetos positivos (+):

- **Tempo até entrada em serviço.** A partir do momento em que estejam garantidos os recursos financeiros para a aquisição do equipamento necessário, a execução desta proposta é relativamente simples e não deverá demorar muito tempo até entrar à sua entrada em serviço.
- **Dimensão.** A dimensão da ZMC conjunta encontra-se mais próxima dos valores propostos na bibliografia, abastecendo cerca de 670 clientes numa área superior a 0,5km². Em 2015 o consumo dos clientes na ZMC definida resultou num caudal médio superior a 500m³/dia.

Aspetos negativos (-):

- **Operação e monitorização das ZMC mais complexa.** Como referido anteriormente, o facto de as ZMC terem mais do que uma entrada/saída dificulta a sua monitorização e, consequentemente, a deteção de fugas. Ao mesmo tempo, a gestão da pressão na ZMC torna-se mais complexa, dificultando a redução da pressão através de válvulas redutoras de pressão.

5.4.2. ZMC CONJUNTA COM APENAS UMA ENTRADA - REFORÇO DA LIGAÇÃO ENTRE A ZMC INICIALMENTE PROPOSTA E A ZONA 2

A segunda proposta consiste no reforço da ligação entre a ZMC proposta inicialmente e a Zona 2, e na sua junção numa ZMC conjunta, unicamente abastecida pela conduta de 200mm na Rua de Bustes. O setor de ligação entre as duas zonas é constituído atualmente por condutas de 90mm de diâmetro, sendo a ligação, no limite, sustentada por uma conduta dessa dimensão, o que acontece em dois troços, na Rua Abílio de Azevedo e na Rua Calçada Monte da Luz. Como demonstrado em 5.3., uma conduta de 90mm não é suficiente para abastecer os clientes da Zona 2 com qualidade suficiente, pelo que não se poderá suprimir o abastecimento pela conduta localizada na Avenida dos Escultores sem aumentar a capacidade de escoamento da zona de ligação entre as duas áreas. O reforço desse troço poderia, então, consistir na substituição das condutas existentes por condutas de maior diâmetro ou, em alternativa, pela criação de novas ligações entre as duas zonas. Durante a avaliação de ambas as soluções, constatou-se que o troço de ligação existente tem um histórico de avarias considerável e, inclusive, a sua substituição tem sido ponderada pela Águas de Gaia. Nesse sentido, considerou-se a substituição por condutas de maior diâmetro como a opção mais interessante.



Fig.5.15. – Proposta 2 (GOOGLE MAPS)

O troço de ligação entre as duas zonas deve ser capaz de escoar o caudal de ponta associado aos consumos na Zona 2, que, em 2015 apresentou um caudal médio anual de 2,85l/s. Neste momento o abastecimento a esta zona é realizado por duas condutas de 90mm de diâmetro, pela Rua Abílio de Azevedo e pela Avenida dos Escultores, com um caudal máximo escoado em segurança de cerca de 7,7l/s. Tendo em conta alguns problemas verificados no abastecimento a esta zona e a possibilidade de os consumos aumentarem no futuro, pretende-se, na presente proposta, aumentar consideravelmente a capacidade de escoamento existente. Sendo assim, propõe-se que o abastecimento à Zona 2 passe a ser feito, no limite, por uma conduta única, de 160mm de diâmetro externo, com uma capacidade de escoamento, em condições de segurança, de cerca de 16l/s, mais do dobro do que as condutas existentes atualmente. De forma a viabilizar esta solução deve procurar garantir-se que esta ligação tem acesso, a montante, a condutas com capacidade semelhante ou superior. Sendo assim, optou-se por estender a conduta de ligação até à principal conduta de abastecimento à ZMC, com 200mm de diâmetro, na Rua de Bustes.

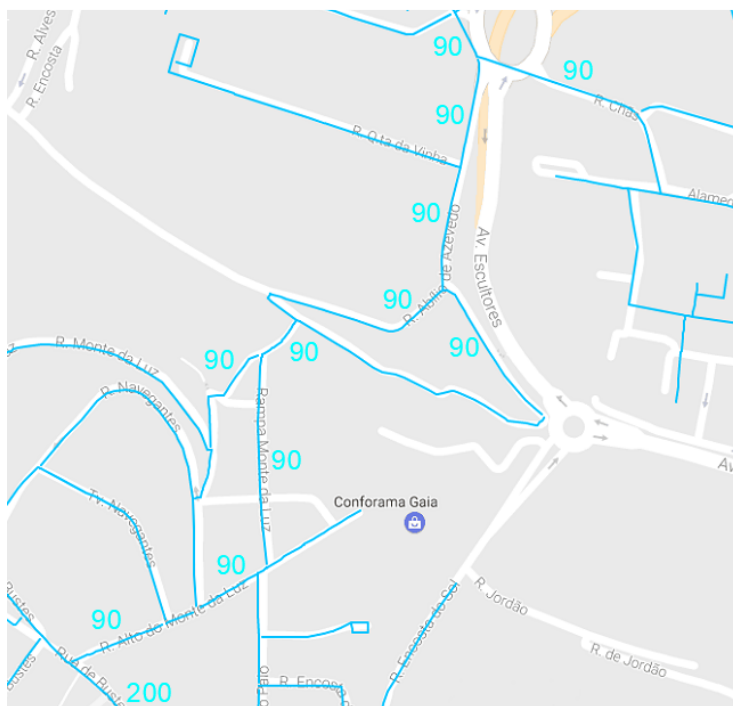


Fig.5.16. - Zona de ligação entre ZMC e Zona 2 (situação atual) (GOOGLE MAPS)

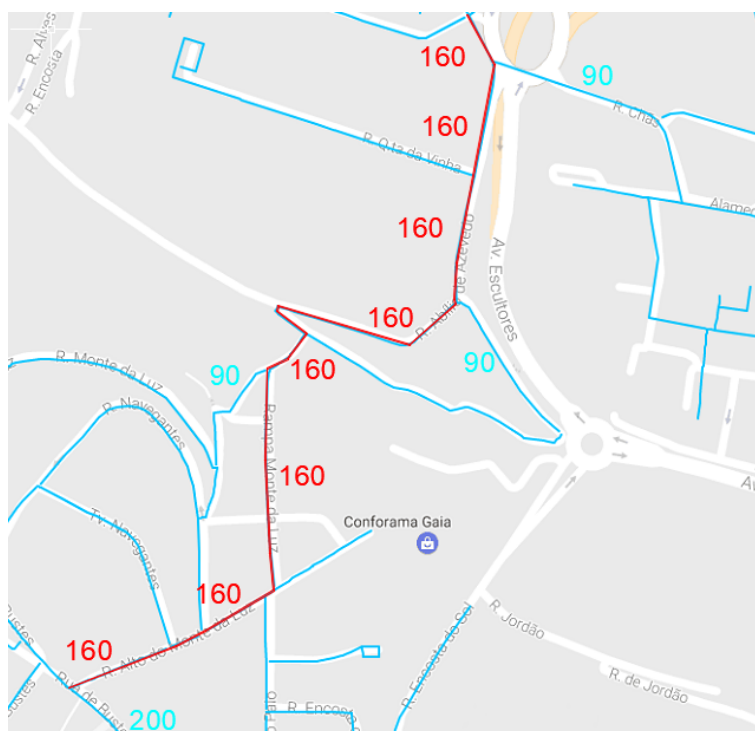


Fig.5.17. - Zona de ligação entre ZMC e Zona 2 (proposta) (GOOGLE MAPS)

A proposta consiste numa ZMC com cerca de 670 clientes numa área de cerca de 0,56km². A ZMC é abastecida unicamente por uma conduta de 200mm de diâmetro, com entrada na Rua de Bustes. Os

consumos na ZMC em 2015 resultaram num caudal médio anual de cerca de 6l/s, muito inferior ao caudal máximo escoado pela conduta de entrada, o que, tendo também em conta a situação existente, não fazem antever problemas de caudal.

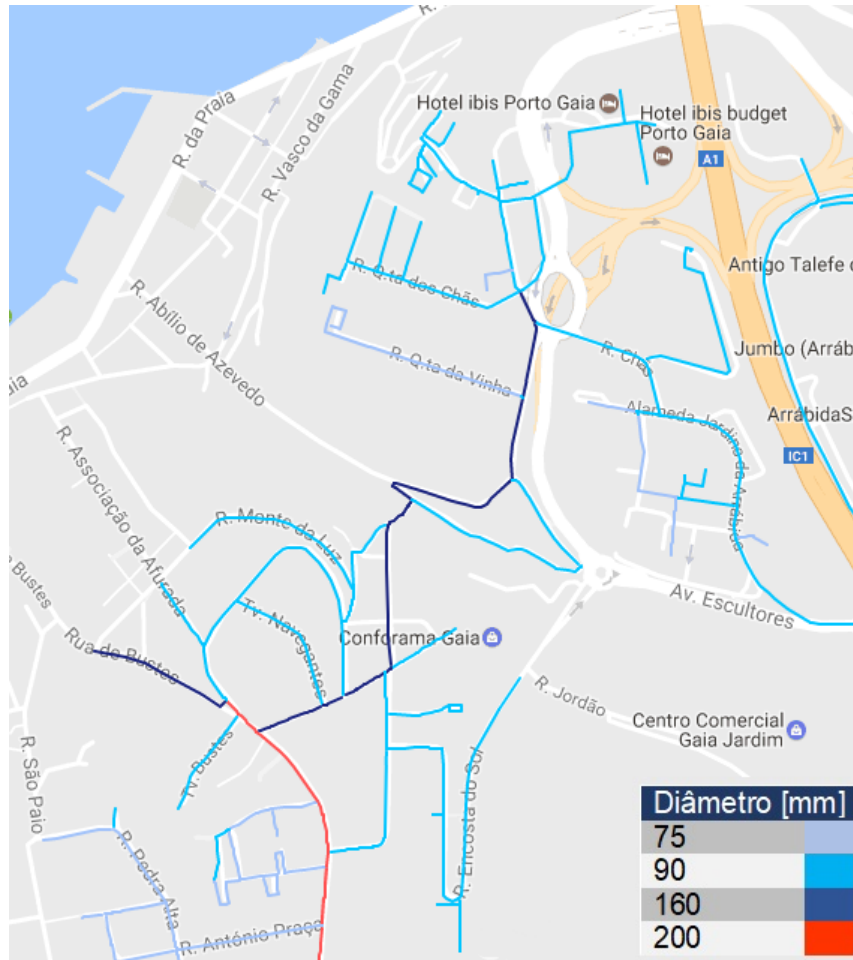


Fig.5.18. - Distribuição dos diâmetros das condutas na ZMC definida na proposta 2 (GOOGLE MAPS)

Tendo como objetivo a implementação desta solução, devem ter-se em conta as seguintes etapas:

1. Aquisição do material necessário à realização das obras na rede. Substituição das condutas no setor de ligação entre as zonas. Deve procurar minimizar-se o impacto da obra no abastecimento aos clientes e no tráfego automóvel na área;
2. Aquisição de um caudalímetro de 200mm de diâmetro e de um *datalogger* que permita a transmissão remota dos dados em tempo real;
3. Fecho da válvula de seccionamento na Rua Pedra Alta, suprimindo o abastecimento pela conduta de 75mm de diâmetro. Fecho da válvula de seccionamento existente na Avenida dos Escultores, suprimindo o escoamento pela conduta de 90mm de diâmetro. Durante a manobra de fecho das válvulas, que deve ser realizada no período de maior consumo, as pressões na rede devem ser monitorizadas, nomeadamente nos pontos críticos da ZMC;

4. Instalação do caudalímetro na conduta de entrada da ZMC, na Rua de Bustes. Instalação do equipamento de comunicação;
5. Validação da ZMC. Realização de teste de pressão zero;
6. Monitorização do caudal entrado na ZMC.

Aspetos positivos (+):

- **Possibilidade de integração da proposta em empreitada planeada pela Águas de Gaia.** A implementação desta proposta e a execução das obras necessárias constitui uma oportunidade de reabilitar uma zona que tem vindo a ser problemática, com um histórico de avarias extenso nos últimos tempos.
- **Dimensão.** A dimensão aproximada da ZMC conjunta é mais adequada do que a consideração das duas áreas em separado.

Aspetos negativos (-):

- **Tempo até entrada em serviço.**
- **Congestionamentos na via pública.** As alterações físicas a realizar poderão ainda causar congestionamentos no tráfego automóvel nas ruas afetadas.
- **Custo.** Ainda que os custos de implementação desta proposta possam ser parcialmente justificados pelo histórico de avarias das condutas na zona de ligação, esta proposta é indiscutivelmente a mais cara, obrigando à aquisição e instalação de mais de 700 metros de condutas.

5.4.3. REFORÇO DA LIGAÇÃO ENTRE A ZONA 2 E A RESTANTE REDE E CRIAÇÃO DE DUAS ZMC DISTINTAS

Tendo em conta a proposta inicial, outra possibilidade seria a de reforçar a ligação entre a Zona 2 e a restante rede, substituindo a conduta existente por uma de maior diâmetro, o que possibilitaria a implantação de uma nova ZMC, ou realizando novas ligações que permitam garantir o caudal de ponta necessário para abastecer os clientes da área.

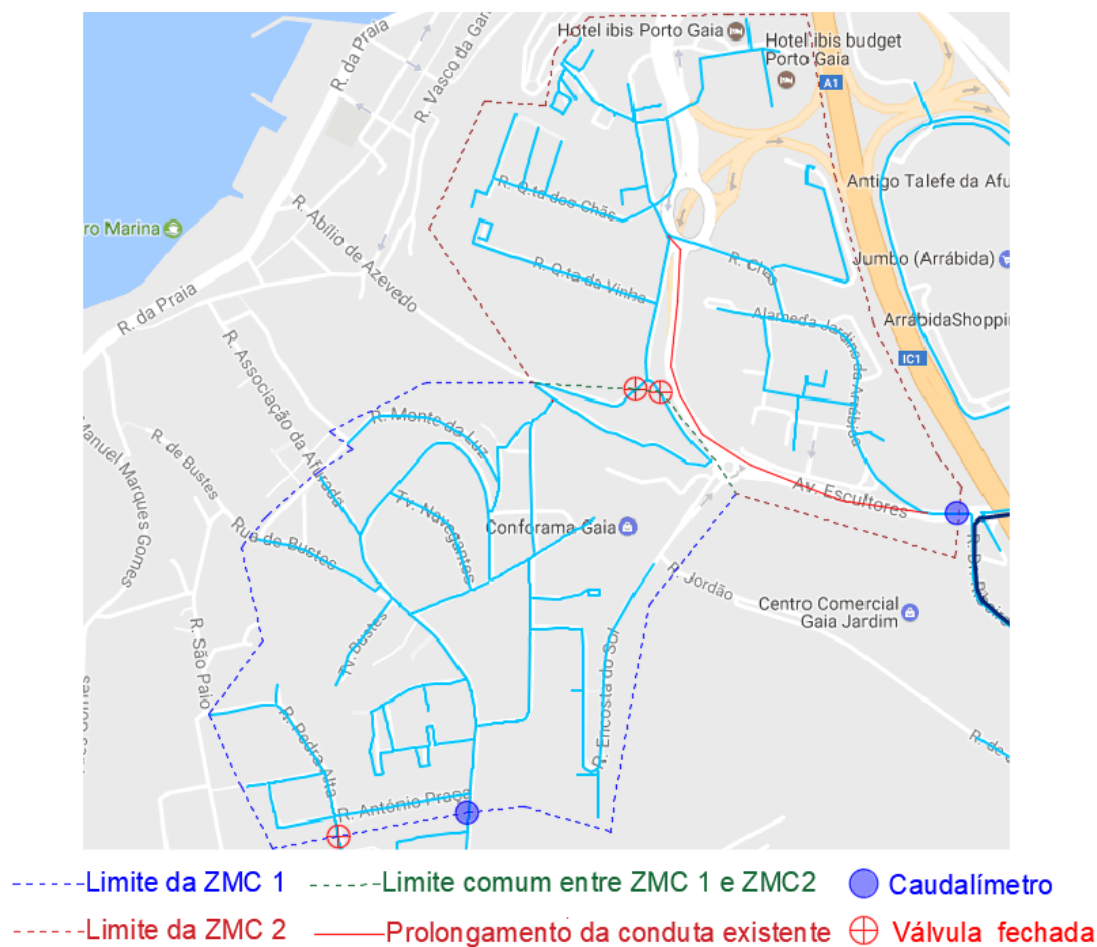


Fig.5.19. – Proposta 3 (GOOGLE MAPS)

Neste contexto, propõe-se o prolongamento da conduta de 200mm de diâmetro, cujo diâmetro se reduz até aos 90mm junto à entrada da Zona 2, ao longo da Avenida dos Escultores e até ao cruzamento com as condutas provenientes da Rua Abílio de Azevedo e da Rua Chãs. Este prolongamento poderia ser feito recorrendo a condutas de 160mm de diâmetro. Como referido, o abastecimento atual à ZMC é feito por duas condutas de 90mm de diâmetro, o que resulta num caudal máximo escoado de cerca de 7,7l/s. O abastecimento passaria, neste contexto, a ser feito, num primeiro troço de entrada pela conduta de 200mm de diâmetro existente, que representa um caudal máximo de cerca de 27,4l/s e, num segundo troço, pela conduta de 90mm e pelo prolongamento com um diâmetro de 160mm, o que resulta num caudal máximo total escoado de cerca de 19,8l/s, mais do que o dobro da capacidade existente atualmente.



Fig.5.20. - Prolongamento da conduta existente ao longo da Avenida dos Escultores, com um diâmetro de 160mm (GOOGLE MAPS)

Tendo como objetivo a implementação desta solução, devem ter-se em conta as seguintes etapas:

1. Aquisição do material necessário à realização das obras na Avenida dos Escultores. Aquisição de dois caudalímetros de 200mm de diâmetro e de dois *dataloggers* que permitam a transmissão remota dos dados em tempo real;
2. Execução da obra de prolongamento da conduta existente ao longo da Avenida dos Escultores, com um diâmetro de 160mm. A colocação do caudalímetro pode ser vantajosa nesta fase, embora deva ser feita no troço já existente desta conduta;
3. Implementação da ZMC inicialmente definida. Manobra de fecho das válvulas na Rua Pedra Alta, na Rua Abílio de Azevedo e na Rua Dr. Ribeiro de Magalhães. Durante este processo, devem ser monitorizadas as pressões em vários pontos, incluindo os pontos críticos da ZMC e da Zona 2;
4. Instalação do caudalímetro de 200mm na entrada da ZMC, na Rua de Bustes;
5. Validação das ZMC;
6. Monitorização dos caudais admitidos nas duas ZMC.

Aspetos negativos (-):

- **Dimensão.** As ZMC definidas nesta proposta apresentam uma dimensão bastante reduzida. Esta política acaba por resultar em custos muito superiores quando estendida a uma grande área, como o concelho de Vila Nova de Gaia, obrigando à aquisição e manutenção de mais equipamento de medição e comunicação, e dificultando a operação e monitorização do sistema.

A ZMC 2, correspondente à ZMC definida na Zona 2, em particular, apresenta apenas cerca de 130 clientes e um consumo anual inferior a 90 000m³.

5.4.4. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS PROPOSTAS E PROPOSTA FINAL

As três propostas apresentam aspetos positivos e negativos relevantes. Tendo como objetivo a implementação de uma das propostas em tempo útil da realização do presente trabalho, consideraram-se decisivos dois fatores: o tempo e o custo. Sendo assim, a proposta número 1 – criação de uma ZMC conjunta com duas entradas distintas - apresenta-se como a proposta mais interessante. Como mencionado, esta proposta consiste na instalação de dois caudalímetros e fecho de uma válvula de seccionamento, não obrigando à realização de alterações estruturais profundas na rede. De facto, tanto a implementação da proposta 2 como da proposta 3 teriam de ser alvo de uma discussão bastante aprofundada, dado os avultados investimentos que as sustentam e a possibilidade da existência de outras ações prioritárias na Águas de Gaia, EM, SA. Sendo assim, a ZMC a implementar, definida na proposta 1, corresponde a uma área superior a 0,5km² do concelho de Vila Nova de Gaia, abastecendo cerca de 670 clientes, segundo dados de 2015. O ponto do terreno mais alto, cerca de 74 metros acima do nível médio do mar, continua a verificar-se na Rua de Bustes, e o ponto mais baixo, a cerca de 26 metros, encontra-se nas margens de um pequeno curso de água na Rua Calçada Monte da Luz. O ponto de consumo crítico, em termos de pressão, passa a localizar-se na Zona 2, onde existem alguns edifícios de grande altura. Embora se devesse procurar estudar a variação das pressões neste ponto, antes e durante a implementação da proposta, o facto de não se realizarem alterações significativas na rede, e tendo em conta a situação atual, permite afirmar, com alguma certeza, que não existirão problemas de pressão neste ponto, cumprindo-se os valores mínimos recomendados no Decreto-lei n.º 23/95 de 23 de agosto (ver 2.2.1.5.). Não se perspetivam problemas decorrentes do fecho da válvula na Rua Pedra Alta, tratando-se de uma conduta de diâmetro relativamente reduzido (75mm) e dada a existência de alternativas no abastecimento à área em questão.

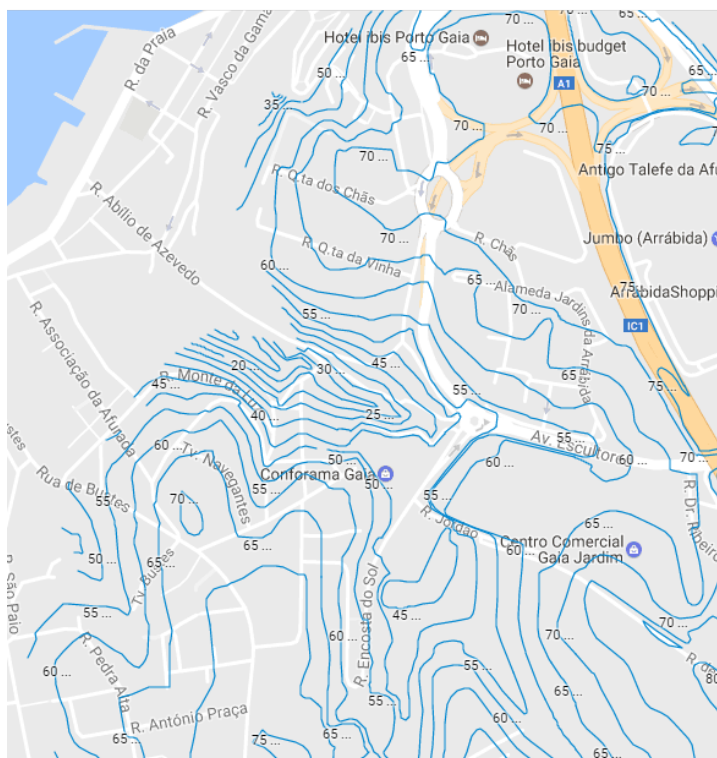


Fig.5.21. - Linhas de cota na área da ZMC (GOOGLE MAPS)

5.5. IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DA ZMC

Após a validação da proposta final, procurou estabelecer-se um plano de trabalhos com vista à sua implementação. Numa primeira fase tentou avaliar-se se o equipamento necessário se encontrava disponível no inventário da Águas de Gaia ou se seria necessário proceder à sua aquisição, tendo-se verificado que o equipamento se encontrava efetivamente disponível. Ainda antes da implementação da ZMC, realizou-se uma auditoria operacional aos equipamentos existentes, nomeadamente à válvula de seccionamento a fechar e às válvulas que estabelecem a fronteira com a zona abastecida pelo reservatório do Fojo.

Posteriormente, definiu-se os trabalhos a realizar e procurou coordenar-se o esforço das diversas equipas da Águas de Gaia envolvidas. Estipulou-se que teriam de ser construídas e definiu-se a localização de duas caixas de betão, no interior das quais seriam instalados os caudalímetros, de maneira a salvaguardar a sua integridade.

Por questões práticas e de conveniência optou-se por não se proceder à validação da ZMC através da realização de um teste de pressão zero, o que obrigaria à suspensão do abastecimento aos clientes na ZMC temporariamente. Consequentemente, deve abordar-se a análise dos resultados com alguma precaução. Ainda assim, considerou-se que o facto de as auditorias realizadas terem confirmado a

operacionalidade da válvula a fechar e a estanqueidade das válvulas limite, já fechadas, que estabelecem a separação entre a rede abastecida pelo reservatório da Rasa e a rede abastecida pelo reservatório do Fojo, permitem ter algum grau de confiança perante os resultados obtidos.

5.6. MONITORIZAÇÃO DA ZMC

Após a implementação da ZMC, procedeu-se à monitorização e registo dos volumes nela introduzidos. Apresentam-se, por conveniência, apenas os resultados referentes à primeira semana de operação. O que se pretende, de facto, é a monitorização contínua destes registos, nomeadamente do caudal mínimo noturno, cuja variação brusca pode indiciar a existência de novas roturas no setor. Ainda assim, e para efeitos académicos, considera-se que os valores registados nesta semana são indicativos da situação existente, permitindo proceder à estimação do volume de perdas reais através da análise *Bottom-Up*, referida na bibliografia. Esta análise parte do caudal mínimo noturno para estimar o volume de perdas reais numa dada ZMC. É importante salientar que o caudal instantâneo introduzido na ZMC no período de estudo resulta da combinação dos valores registados nos dois caudalímetros instalados nas duas entradas/saídas da ZMC, pelo que o mínimo noturno corresponde ao mínimo caudal atravessado em ambos os caudalímetros simultaneamente. Apresentam-se, em seguida, o caudal instantâneo medido nos caudalímetros instalados na Rua de Bustes e na Avenida Jardins da Arrábida durante a primeira semana de operação da ZMC.

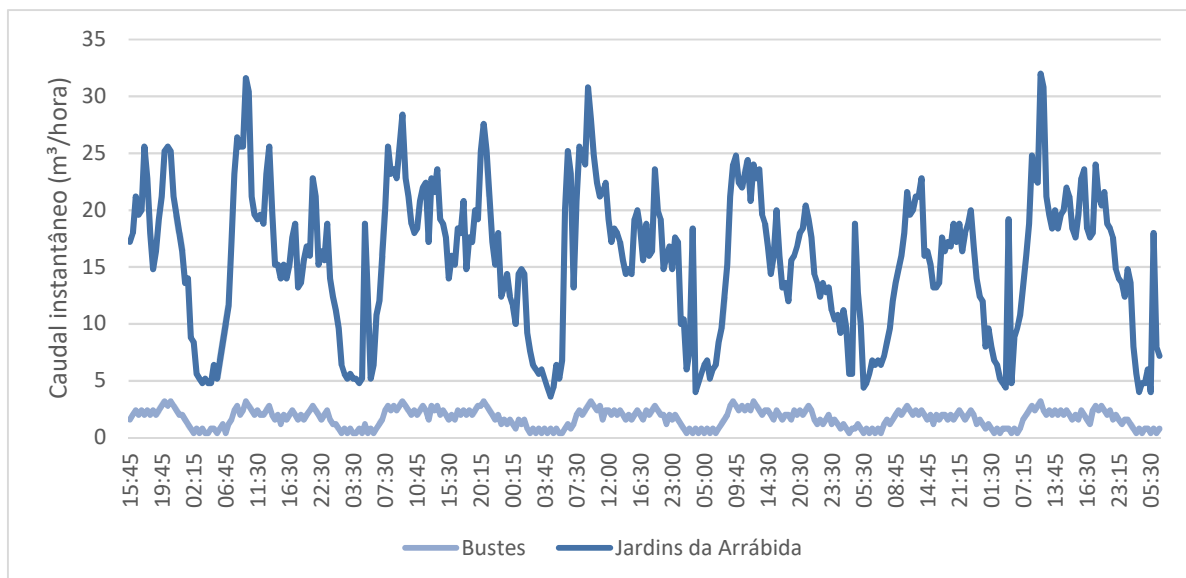


Fig. 5.22. - Caudal instantâneo medido nos caudalímetros instalados na Rua de Bustes e na Avenida Jardins da Arrábida durante o período de estudo (m³/hora)

É possível constatar, na análise do caudal medido, uma predominância no abastecimento pela conduta na Avenida Jardins da Arrábida, onde o caudal medido varia entre os 3,6 m³/hora e os 32 m³/hora. Por sua vez, na conduta instalada na Rua de Bustes, o caudal instantâneo medido varia entre os 0,4 m³/hora e os 3,2 m³/hora. Esta discrepância pode estar associada à existência de um maior número de grandes consumidores na área anexa, bem como a uma maior densidade populacional nesta zona.

Procedeu-se, então, à determinação do caudal instantâneo total, resultante da soma do caudal medido nos dois caudalímetros, de maneira a obter uma estimativa para o caudal mínimo noturno.

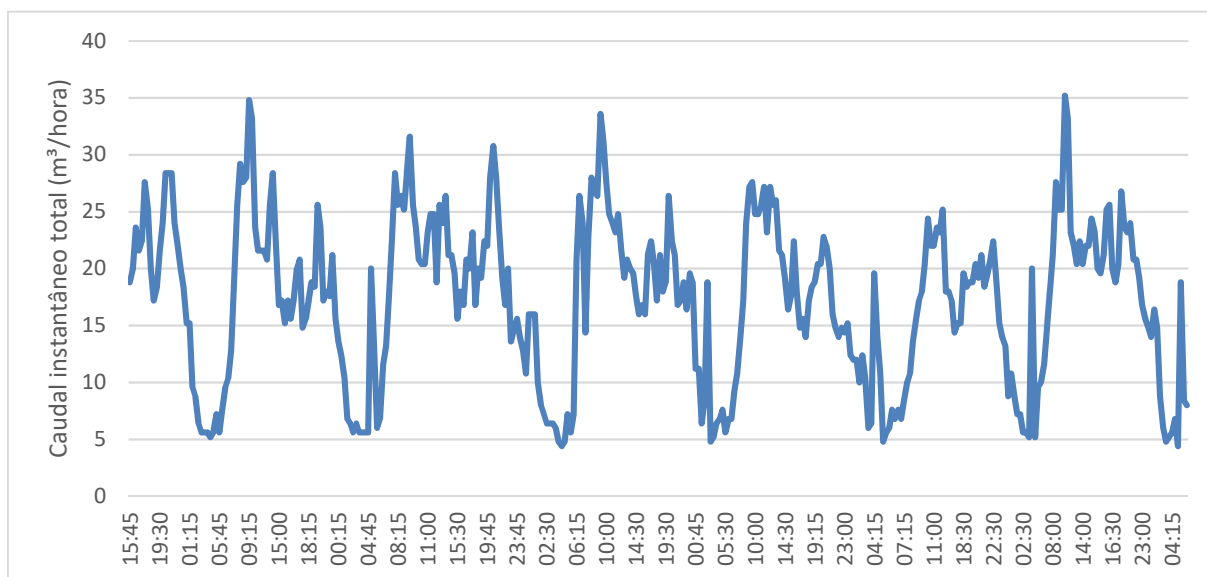


Fig. 5.23. - Caudal instantâneo total (m³/hora)

Verificou-se, então, que o caudal aduzido à ZMC variou entre 4,4 m³/hora, o que corresponde ao caudal mínimo medido durante o período noturno, e 35,2 m³/hora, verificado num dos picos de maior consumo.

Tendo como objetivo a determinação do volume de perdas reais, estimou-se o consumo autorizado noturno, correspondente ao consumo dos clientes na ZMC definida durante este período do dia. O valor do consumo noturno autorizado varia consideravelmente com a localização, o tipo de utilização dos edifícios e a existência de reservatórios próprios ou outros equipamentos que possam ser abastecidos durante o período noturno. Na ZMC conjunta definida mantém-se o carácter predominantemente residencial do edificado verificado na ZMC inicialmente definida. Estudos apontavam, em 1994, para consumos residenciais noturnos médios de cerca de 1,7 litros por cliente por hora no Reino Unido e de cerca de 0,6 litros por cliente por hora na Alemanha (WSA/WCA Engineering and Operations Committee, 1994).

Não tendo à disposição dados mais concretos sobre estes consumos, optou por considerar-se um valor médio para o consumo noturno de 1,7 litros por cliente por hora para utilizações habitacionais (Di Naro, Di Natale et al., 2013), valor referência neste tipo de análise. No que diz respeito às utilizações não habitacionais, e que se estima serem cerca de 5% do número total de clientes, os valores referência divergem significativamente. Embora incluam equipamentos como uma escola e uma associação, estas utilizações dizem respeito, sobretudo, a superfícies comerciais de pequena dimensão, cujo consumo não se espera ser muito significativo no período noturno. Sendo assim, considerou-se que as utilizações não habitacionais representam um consumo de 78 litros por cliente por hora (Di Naro, Di Natale et al., 2013), tendo-se optado por considerar apenas 1% dos clientes nesta categoria de consumo, dado o consumo

elevado que representa. Optou por considerar-se que nenhum dos equipamentos apresentava caudais noturnos suscetíveis de alterar significativamente os resultados, o que obrigaria à sua medição individualizada. Neste contexto, apresentam-se no Quadro 5.6. os resultados obtidos para o consumo noturno autorizado.

Quadro 5.6. – Consumos autorizados estimados

Tipo de utilização	Habitacional	Outro
Número de clientes estimado	663	7
Consumo noturno autorizado estimado [litros por cliente por hora]	1.7	78
Consumo noturno autorizado estimado [litros por hora]	1127	546
Consumo noturno autorizado estimado total [m³ por hora]	1,67	
Consumo noturno autorizado estimado total [m³ por dia]	40,15	

Na determinação do volume de perdas reais optou-se por não considerar o fator dia-noite, que teria em conta as variações de pressão ao longo do dia. Apesar desta simplificação, considera-se que os resultados obtidos serão representativos da situação existente e continuarão, acima de tudo, a demonstrar o potencial deste tipo de solução. Salienta-se, contudo, a importância de procurar eliminar ou minimizar estes focos de incerteza no futuro. Sendo assim, o volume de perdas reais estimado durante a semana de monitorização da ZMC é dado por:

$$\text{Volume de perdas Reais} = (\text{Consumo mínimo noturno} - \text{Consumo autorizado}) \quad (5.14.)$$

Quadro 5.7. – Volume de perdas reais

	m³/hora	m³/ dia
Consumo mínimo noturno	4,4	105,6
Consumo autorizado noturno	1,67	40,15

Volume de perdas reais	2,73	65,45
------------------------	------	-------

Procurou-se, posteriormente, avaliar qual a percentagem deste valor de perdas seria efetivamente recuperável, tendo em conta a existência praticamente inevitável de perdas de fundo, de muito difícil deteção. Consequentemente, procedeu-se à estimação das “UARL” – *Unavoidable Annual Real Losses* ou Perdas Reais Anuais Inevitáveis – cujo procedimento de cálculo se explicitou no capítulo de revisão da literatura. Esta componente depende do comprimento da rede (L_m), do número de ramais (N_c), do comprimento médio dos ramais (L_p) e da pressão média de serviço (P_{med}). O valor para o comprimento médio dos ramais corresponde a uma estimativa baseada na localização das habitações. No caso da pressão média de serviço o valor foi estimado, por simplificação, com base na pressão medida na alínea g) do ponto 5.2. Como referido, esta medição foi realizada ao nível solo, junto ao ponto crítico da ZMC inicialmente prevista, que coincide com o ponto crítico da ZMC conjunta. Por simplificação, e tendo em conta a dificuldade de determinação da localização e de medição da pressão no ponto de cota média da ZMC, optou-se por considerar a pressão média medida na alínea referida como a pressão média de serviço.

Quadro 5.8. – Perdas reais inevitáveis

L_m	Comprimento da rede em Km	8,77
N_c	Número de ligações	670
L_p	Comprimento médio dos ramais em metros	8
P_{med}	Pressão de serviço média em metros	59,42
URL	Perdas inevitáveis em litros por ramal por hora	3,06
	Perdas inevitáveis em m ³ por dia	49,19
UARL	Perdas inevitáveis em m ³ por ano	17 955

Partiu-se, em seguida, para a determinação do “ILI” - *Infrastructure Leakage Index* – cujo valor pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (5.15.)$$

Onde as “UARL” correspondem às perdas anuais reais inevitáveis previamente calculadas e as “CARL” – *Current Annual Real Losses* - correspondem às perdas efetivamente verificadas e que correspondem ao volume de perdas reais previamente calculado, resultante da análise do caudal mínimo noturno.

$$CARL = \text{Volume de perdas reais} \quad (5.16.)$$

Quadro 5.9. – Determinação do ILI

	m³ por dia
Perdas reais estimadas	65,45
Perdas inevitáveis estimadas	49,19
ILI	1,33

Chegou-se, então, a um valor de ILI de 1,33, o que corresponde a um excelente resultado. Dos 2686 m³ aduzidos à ZMC durante o período em estudo, 2411 dos quais através da conduta na Avenida Jardins da Arrábida e 275 dos quais através da conduta na Rua de Bustes, estima-se que cerca de 16% correspondam a perdas reais, tendo em conta o valor de 2,73 m³ por hora estimado para as perdas reais e um período de estudo de aproximadamente 161 horas. Por sua vez, estima-se que cerca de 75% das perdas reais correspondam a perdas inevitáveis. Salienta-se, contudo, a importância de minimizar alguns focos de incerteza associados a este valor no futuro, nomeadamente através da consideração de um fator noite-dia e, sobretudo, do estudo mais aprofundado do consumo dos clientes inseridos na ZMC durante o período noturno, cujo valor influencia grandemente o valor de perdas reais estimado.

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

A redução das perdas reais de água constitui um dos objetivos estratégicos do setor e requer uma aposta contínua por parte das entidades gestoras. Esta estratégia deve compreender a adoção de medidas que incidam sobre quatro pilares fundamentais: o aumento da velocidade e da qualidade das reparações em caso de rotura, a maior eficácia na gestão da pressão, a criação e manutenção de um controlo ativo de fugas e uma gestão adequada dos ativos da empresa. As dificuldades financeiras de muitas EG dificultam a realização de grandes investimentos e as perdas de água elevadas continuam a ser um problema em Portugal. Nesse sentido, a definição de investimentos prioritários e a delineação de estratégias de baixo custo são oportunidades a explorar. Tendo como objetivo um maior controlo do volume de perdas, os sistemas têm vindo a ser divididos em Zonas de Medição e Controlo, ZMC. Estes setores isolados da rede facilitam ainda a gestão da pressão na rede, cuja eficiência é determinante para diminuir o volume de perdas reais. A definição de ZMC é um problema complexo, que influencia e pode comprometer o abastecimento a outras partes da rede. Como tal, requer um conhecimento profundo da rede e da zona em estudo, das condições hidráulicas verificadas, das características do edificado e topografia do terreno.

A definição de ZMC na rede de Vila Nova de Gaia mostrou-se uma tarefa complexa e desafiante. O carácter iterativo deste tipo de projetos foi confirmado pela dificuldade de validação da ZMC inicialmente proposta, tendo-se partido para a procura e avaliação de alternativas ao projeto inicial. A proposta final, implementada no concelho de Vila Nova de Gaia durante o mês de julho de 2017, confirmou a potencialidade deste tipo de projetos no controlo e diminuição do volume de perdas em sistemas de abastecimento de água urbanos.

Relativamente aos resultados obtidos durante a monitorização do caudal entrado na ZMC conclui-se que:

- Valor percentual das perdas reais obtido (16% da água entrada no sistema) está em linha com o estimado para a totalidade da rede pela Águas de Gaia, EM, SA, correspondendo a um bom resultado, ainda que exista margem para a sua melhoria no futuro;
- Valor de ILI (*Infrastructure Leakage Index*) determinado (1,33) corresponde a um bom resultado, encontrando-se próximo do valor da unidade.

Salienta-se, contudo, a necessidade de se abordar com algum cuidado os resultados obtidos na monitorização da ZMC definida, tendo em conta que, por um ou outro motivo, foram adotadas diversas simplificações. Nesse sentido, considera-se como a mais relevante conclusão a confirmação da importância da setorização das redes na determinação e controlo de perdas, tendo em conta o seu papel, não só na execução de balanços hídricos, mas também na deteção de roturas, através da monitorização contínua do caudal e, nomeadamente, do caudal mínimo noturno.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No seguimento do trabalho realizado, onde se definiu uma ZMC na rede de Vila Nova de Gaia, e tendo como objetivo a monitorização da ZMC definida, recomendam-se os seguintes trabalhos:

- Possível estudo numérico da solução apresentada, recorrendo a um software de modelação de redes como o EPANET;
- Estudo de optimização da gestão da pressão na ZMC. Avaliar a possibilidade de, instalando válvulas redutoras de pressão em pontos estratégicos da ZMC, diminuir as pressões, nomeadamente durante a noite. Estudar a regulação ótima das válvulas, tendo em conta as pressões verificadas no ponto crítico;
- Verificação da ZMC – teste de pressão zero. Verificar a não existência de outras entradas de água, fechando entradas monitorizadas e verificando se a pressão desce rapidamente;
- Estudo da incerteza associada à análise *Bottom-Up* efetuada. Procura de oportunidades de redução da incerteza: medição das pressões que permitam a consideração do fator noite-dia, medição dos consumos noturnos dos clientes por tipologia da utilização, medição da pressão média de serviço na totalidade da ZMC;
- Monitorização do caudal introduzido na ZMC e deteção de eventuais anomalias que indiquem a existência de novas roturas na rede da ZMC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas de Gaia (2016). Relatório e Contas 2015. Vila Nova de Gaia, Águas de Gaia, EM, SA.

Águas de Gaia. (2017). "www.aguasgaia.pt." (junho de 2017)

Alegre, H., W. Hirner, J. M. Baptista e R. Parena (2004). Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água, Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) , Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

APDA (2014). Ficha de Boas Práticas: Setorização da Rede. Lisboa, Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA)

ASCE (1991). Energy Efficient Operation of Water Distribution Systems, Research Report No. UKCE9104. L. E. Ormsbee. New York, American Society of Civil Engineers.

Coelho, S. T., D. Loureiro e H. Alegre (2006). Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água, Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Di Naro, A., M. Di Natale e A. Di Mauro (2013). Water Supply Network District Metering, Springer.

EPAL Technical Solutions (2015). Controlo Ativo de Perdas de Água, EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A.

ERSAR (2016). Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal Volume 1 - Caracterização do setor de água e resíduos. Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos.

ERSAR (2016). Relatório Dados Indicadores, ERSAR.

Fallis, P., K. Hübschen, E. Oertlé, D. Ziegler, P. Klingel, A. Knobloch, J. Baader, R. Trujillo e C. Laures (2011). Guidelines for water loss reduction, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Farley, M., G. Wyeth, Z. B. M. Ghazali, A. Istandar e S. Singh (2008). The Manager's Non-Revenue Water Handbook, Ranhill Utilities Berhad, United States Agency for International Development (USAID).

FERSIL (2009). FERSIL - Tabela de Preços.

FUCOLI-SOMEPAL S.A. (2016). Marco de incêndio "Classic".

Hofstrand, D. (2007). Economies of Scope. Iowa State University.

Magalhães, M. e A. Bessa (2012). Qualidade e Sustentabilidade dos Serviços de Abastecimento de Águas e Saneamento, Comissão do Ambiente, Ordenamento do Território e Poder Local.

- Marques, R. C. (2011). A regulação dos serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais: Uma perspetiva internacional, Instituto Superior Técnico, Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos.
- Mays, L. W. (2000). Water Distribution Systems Handbook, McGraw-Hill.
- Morrison, J., S. Tooms e D. Rogers (2007). District Metered Areas - Guidance Notes, International Water Association (IWA).
- Novais Barbosa, J. (1985). Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral Porto Editora.
- Pacheco Figueiredo, M. (2015). Apontamentos de Hidráulica Urbana e Ambiental. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Perta, S. d. E. d. C. C., LDA. (2017). "<http://www.perta.pt/produtos/correlador-acustico-eureka-digital/>." (junho de 2017)
- Poças Martins, J. (2014). Apontamentos de Hidráulica Geral 2. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Poças Martins, J. (2014). Management of Change in Water Companies, IWA Publishing.
- RESOPRE (2017). Contadores de água/ domésticos/ volumétricos - JV400, RESOPRE - Gestão de Água.
- RESOPRE (2017). Contadores de Água/ Industriais/ Woltmann WPD, RESOPRE - Gestão de Água
- Sofrel Lacroix (2017). SOFREL LS-Flow - District Metering Area and remote reading for "major consumers".
- TALIS (2016). Product Catalogue, TALIS Management Holding.
- Tentúgal Valente, J. (2015). Apontamentos de Hidráulica Urbana e Ambiental Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Tentúgal Valente, J. e M. Pacheco Figueiredo (2015). Apontamentos de Hidráulica Urbana e Ambiental. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Thornton, J. (2005). Best Management Practice 3: "System Water Audits and Leak Detection" - Review and Recommendations for Change.
- Valente Neves, M. (2007). Apontamentos de Hidráulica Urbana e Ambiental. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Vieira, P. A., M. J. Rosa e H. Alegre (2007). Estações de tratamento de água para consumo humano em Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Walski, T. M. (1983). "Using Water Distribution Models." Journal of the American Water Works Association.

WSA/WCA Engineering and Operations Committee (1994). Managing Leakage Reports A-J London.

ANEXOS

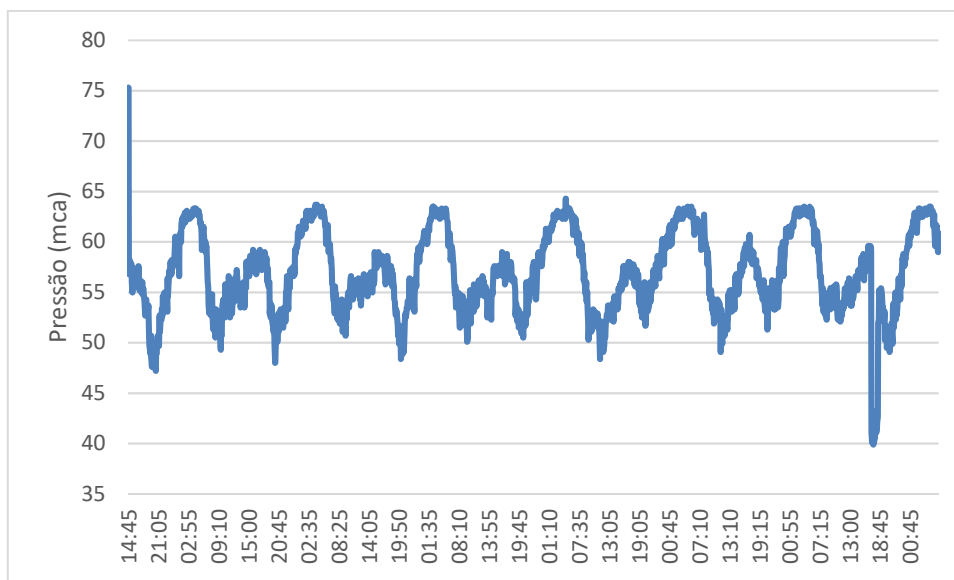
Anexo A – Pressão medida no caudalímetro instalado na Rua de Bustes durante o período de monitorização da ZMC

Anexo B - Pressão medida no caudalímetro instalado na Avenida Jardins da Arrábida durante o período de monitorização da ZMC

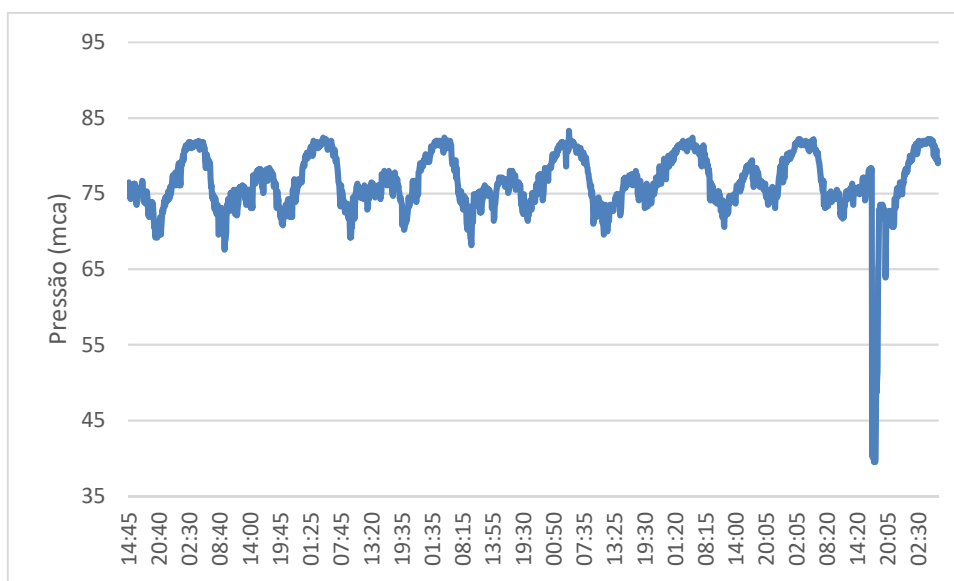
Anexo C – Volume aduzido à ZMC através da conduta localizada na Rua de Bustes durante o período de monitorização da ZMC

Anexo D – Volume aduzido à ZMC através da conduta localizada na Avenida Jardins da Arrábida durante o período de monitorização da ZMC

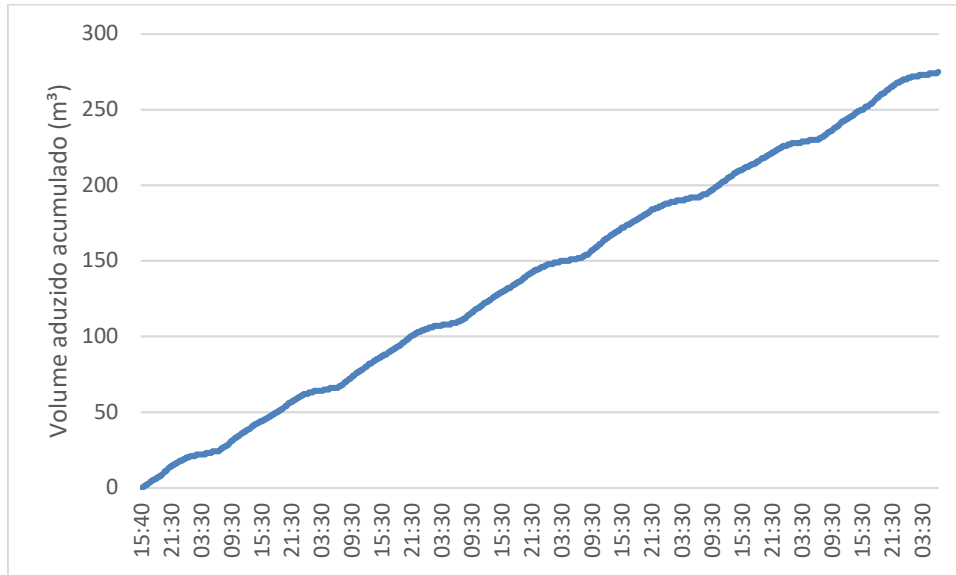
Anexo A – Pressão medida no caudalímetro instalado na Rua de Bustes durante o período de monitorização da ZMC



Anexo B - Pressão medida no caudalímetro instalado na Avenida Jardins da Arrábida durante o período de monitorização da ZMC



Anexo C – Volume aduzido à ZMC através da conduta localizada na Rua de Bustes durante o período de monitorização da ZMC



Anexo D – Volume aduzido à ZMC através da conduta localizada na Avenida Jardins da Arrábida durante o período de monitorização da ZMC

