Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente 2016/2017

Redução das Perdas Reais num Sistema de Abastecimento de Água Controlo Ativo de Perdas

---

Sara Daniela Oliveira da Cunha

Dissertação submetida para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia do Ambiente

Presidente do Júri: Professora Doutora Cidália Maria de Sousa Botelho
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador: Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins
(Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Co-Orientador: Engenheiro Rui Pedro Nascimento Marques
(Diretor de Exploração da Águas do Porto, E.M.)

Junho 2017

Página intencionalmente deixada em branco

Aos meus pais.

"Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota."

- Madre Teresa de Calcutá

Página intencionalmente deixada em branco

Resumo

As perdas reais de água representam uma ineficiência comum a todas as entidades gestoras, que se traduzem em encargos financeiros. Para as recuperar, estas aumentam as tarifas e condicionam a sua capacidade de investimento. Neste sentido, é crucial proceder à gestão destas perdas.

Este trabalho tem como objetivo promover a redução das perdas reais num sistema de abastecimento de água, através da aplicação de métodos de controlo ativo de perdas. Além disso, pretende-se quantificar as perdas reais de uma zona e avaliar os custos financeiros a estas associados.

O controlo ativo de perdas consiste na procura, de forma pró-ativa, de perdas não visíveis. De acordo com a dimensão e as características da zona a investigar, são aplicados diferentes métodos para este processo. Neste estudo, os métodos aplicados são o *step testing* e a sondagem acústica (com haste de escuta e *loggers* acústicos).

Para a quantificação do volume das perdas reais optou-se pela abordagem *Bottom-Up* do balanço hídrico, que tem como princípio a diferença entre o Caudal Mínimo Noturno e o Consumo Autorizado Noturno, multiplicada por um Fator Noite-Dia.

Página intencionalmente deixada em branco

Abstract

Real water losses represent a commun inefficiency to all water utilities, that lead to several financial charges. To recover them, utilities increase their tariffs and limit their capability to invest. Managing real water losses therefore crucial.

This work aims to promote real losses reduction in a water supply system, through the application of active leakage control methods. In addition, it is intended to quantify the real losses in a defined zone and evaluate the associated financial costs.

Active leakage control consists in the proactive detection of invisible losses. According to the dimension and characteristics of the area to be investigated, there are different methods that can be applied within this process. For this study, the methods applied are the step testing and acoustic detection (sounding sticks and noise loggers).

For the quantification of the volume of real water losses the Bottom-Up aproach is used (a possible way to calculate the water balance). This aproach is based on the difference between Minimun Night Flow and Legitimate Night Flow scaled by a Night-Day Factor.

Página intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Joaquim Poças Martins, agradeço a oportunidade de realizar este trabalho em ambiente empresarial. Agradeço igualmente a partilha de conhecimentos e conselhos, através dos quais percebi que a vida tem de ser por nós conquistada com esforço, dedicação e persistência.

Ao meu co-orientador, Engenheiro Rui Marques, expresso o meu agradecimento pela disponibilidade, interesse e simpatia com que me recebeu desde o primeiro dia. Agradeço também por sempre me proporcionar todos os recursos necessários e nunca fechar portas à minha curiosidade.

À Helena Rodrigues, agradeço pelo acompanhamento indispensável durante todo o trabalho, que sempre foi pautado pela sua paciência, sabedoria e boa disposição.

Ao Flávio Oliveira, pela ajuda fundamental durante o desenvolvimento deste trabalho, paciência, partilha de conhecimentos e palavras de incentivo, o meu agradecimento.

À Marisa Fernandes, colega de sala e amiga, agradeço por me estender a mão desde o primeiro dia e pelo apoio incessável. Ao Bruno Ferreira, ao Luís Teixeira e à Vânia Morais, expresso o meu agradecimento pela amizade, boa disposição e companhia inigualável nas horas de almoço.

Ao Paulo Magalhães, pela simpatia e ajuda incansável; e a todas as pessoas da Águas do Porto, E.M., que de alguma forma deram o seu contributo, expresso a minha gratidão.

Aos meus amigos e colegas de agora e de sempre, que me apoiaram nesta jornada, expresso o meu agradecimento.

À minha família, agradeço pelo carinho e suporte sempre presentes ao longo da minha vida.

Aos meus pais, o meu especial agradecimento pelo apoio, carinho e dedicação. Obrigada por me ensinaram a sempre almejar mais e melhor.

Ao Bruno, pelo apoio incondicional e pela dedicação única ao longo dos últimos anos. Obrigada pelas constantes palavras de confiança e motivação.

Página intencionalmente deixada em branco

Conteúdo

Resumo v
Abstract vii
Agradecimentos ix
Lista de Figuras xvii
Lista de Tabelas xix

1 Introdução **1**
1.1 Âmbito 1
1.2 Motivação 1
1.3 Objetivos 2
1.4 Estrutura da dissertação 2

2 O Sistema de Abastecimento de Água **5**
2.1 Etapas de um SAA Típico 5
2.1.1 Captação 5
2.1.2 Tratamento 6
2.1.3 Elevação 6
2.1.4 Adução 7
2.1.5 Armazenamento 7
2.1.6 Distribuição 9
2.2 Classificação dos SAA 19

3 O Setor de Abastecimento de Água em Portugal **21**
3.1 Modelos de Gestão 21
3.2 Enquadramento Estratégico do Setor 23
3.3 Principais Intervenientes no Setor 26
3.3.1 Entidade Reguladora 26
3.3.2 Outras Entidades 27
3.4 Dados do Setor em Portugal 27
3.5 Principais Problemas do Setor 31

4 Perdas de Água **33**
4.1 Balanço Hídrico 36
4.2 Indicadores de Perdas 38
4.3 Perdas Aparentes 40
4.4 Perdas Reais 43
4.4.1 Gestão das Perdas Reais num SAA 47
4.4.2 Quantificação das Perdas Reais 48
4.4.3 Estratégia de Redução de Perdas Reais 53
4.4.4 Métodos de Deteção e Localização das Perdas Reais 60

5 Redução de Perdas de Água no Sistema de Abastecimento de Água do Porto **77**
5.1 Águas do Porto, E.M. 77
5.1.1 Contextualização Histórica 77
5.1.2 Sistema de Abastecimento de Água do Porto 79
5.1.3 Telemetria na AdPorto 83
5.2 Planeamento do Estudo a Realizar 84
5.3 Descrição da sub-ZMC Aldoar e da ZMC Preciosa-Mar Aldoar . . 85
5.3.1 Avaliação do Consumo Autorizado Noturno 87
5.4 Aplicação do Controlo Ativo de Perdas 88
5.4.1 Realização de um *Step Testing* 89
5.4.2 Sondagem Acústica 96
5.4.3 Colocação de *Loggers* Acústicos 98
5.5 Quantificação das Perdas Reais 100
5.5.1 Perdas Reais Globais 100
5.5.2 Perda Real encontrada com o *Step Testing* 101
5.6 Poupança Anual 102
5.7 Outras Ocorrências de Relevo 103
5.7.1 Substituição de Contador 103
5.7.2 Verificação da Existência de Perdas Aparentes 104
5.8 Análise SWOT 104

6 Conclusões e Propostas para Desenvolvimentos Futuros **107**
6.1 Conclusões 107
6.2 Propostas para Desenvolvimentos Futuros 108

Referências **109**

Anexos

A Representação Gráfica do *Step Testing* **113**

B Determinação do ILI **115**

C Determinação do FND **117**

D Procedimento Geral para Realização de um *Step Testing* na Ad-Porto **119**

Página intencionalmente deixada em branco

Lista de Figuras

2.1 Constituição típica de um SAA (ERSAR, 2016). 5
2.2 Classificação dos reservatórios segundo a sua implantação (Venancio, 2009). 8
2.3 Rede ramificada (em cima), rede mista (ao centro) e rede malhada (em baixo). 10
2.4 Juntas de ligação (AdPorto). 13
2.5 Válvula de seccionamento de ramal (AdPorto). 14
2.6 Válvula de retenção (Pegler, 2017). 14
2.7 VRP (AdPorto). 15
2.8 Ventosa (PAM Saint-Gobain, 2017). 16
2.9 Descarga de fundo (Mankenberg, 2017). 16
2.10 Boca-de-rega (AdPorto). 17
2.11 Bocas-de-incêndio (AdPorto). 17
2.12 Câmara de manobra (AdPorto). 18
2.13 Medidor de caudal (AdPorto). 18
2.14 Curva (à esquerda), junta cega (ao centro) e cone (à direita) (AdPorto). 19

3.1 Visão, eixos e objetivos operacionais definidos no PENSAAR 2020 (adaptado de PENSAAR 2020 (2015)). 24
3.2 Distribuição geográfica do setor de abastecimento de água em alta, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016). 29
3.3 Indicadores gerais do setor de abastecimento de água em alta, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016). 29
3.4 Distribuição geográfica do setor de abastecimento de água em baixa, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016). 30
3.5 Indicadores gerais do setor de abastecimento de água em baixa, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016). 30

4.1 Localização das perdas de água no SAA (Alegre et al., 2005). . . . 34
4.2 Matriz do BH proposto pela IWA (adaptado de (Alegre et al., 2005)). 36
4.3 Causas dos erros de medição relativos aos contadores (Martins, 2016). 41
4.4 Causas dos erros de medição relativos às leituras (Martins, 2016). . 42

4.5 Relação entre o tipo de perda real e o volume perdido e os tempos de deteção (A – *Awareness* no original), localização (L – *Location* no original) e reparação (R – *Repair* no original). De cima para baixo, roturas reportadas, roturas não reportadas e perdas de base (adaptado Farley, Wyeth et al. (2008)). 44
4.6 Variação dos custos anuais das perdas de água em função da pressão para orifícios de diferentes tamanhos (Martins, 2016). 46
4.7 Contadores com telemetria (AdPorto). 51
4.8 Componentes de um STD. (Loureiro et al., 2007). 52
4.9 Estratégia para redução das PR (Martins, 2016). 53
4.10 Identificação do nível económico das perdas (NEPr) (adaptado de (Farley, Wyeth et al., 2008)). 54
4.11 Influência da gestão da pressão na redução das PR (Fanner e Lambert, 2001). 55
4.12 Representação esquemática da divisão da rede em ZMC (Martins, 2014). 57
4.13 Passagem da deteção e reparação de fugas e roturas para a reabilitação ou substituição de condutas (Farley, Wyeth et al., 2008). . . 60
4.14 Processo de subzonamento de ZMC (Sardinha et al., 2017). 62
4.15 Processo de teste de fecho sequencial (Sardinha et al., 2017). . . . 63
4.16 Representação do mapeamento de pressões (Sardinha et al., 2017). 67
4.17 *Loggers* acústicos (AdPorto). 68
4.18 Sondagem acústica (AdPorto). 70
4.19 Utilização de um geofone (AdPorto). 71
4.20 Correladores acústicos e transferência dos resultados por estes obtidos para um computador (AdPorto). 72
4.21 Reservatório onde se pode aplicar o ensaio de estanquidade (AdPorto). 74
4.22 Observação direta (AdPorto). 75

5.1 Organograma da AdPorto. 79
5.2 Sistema de Abastecimento de Água do Porto (AdPorto, 2016). . . 80
5.3 ZMC do SAA do Porto (AdPorto, 2015). 81
5.4 Sub-ZMC do SAA do Porto (AdPorto, 2015). 81
5.5 Evolução da AES, AF e ANF de 2006 até 2016 no SAA do Porto (AdPorto, 2016). 82
5.6 Localização dos contadores com telemetria instalados na cidade do Porto por ZMC e sub-ZMC. 84
5.7 Representação da ZMC Preciosa-Mar Aldoar (a laranja) e da sub-ZMC Aldoar (a verde) (AdPorto). 86
5.8 Aparelho utilizado nas leituras de telemetria (AdPorto). 87
5.9 Identificação das oito subzonas do *step testing* (AdPorto). 89
5.10 Realização do TPZ (AdPorto). 90

5.11 Realização da sondagem acústica com haste de escuta (AdPorto). . 91
5.12 Representação gráfica das variações dos caudais durante o 1º e 2º fechos do *step testing* (AdPorto). 93
5.13 Representação gráfica das variações dos caudais durante o 3º e 4º fechos do *step testing* (AdPorto). 94
5.14 Representação gráfica das variações dos caudais durante o 5º e 6º fechos do *step testing* (AdPorto). 95
5.15 Representação gráfica das variações dos caudais durante o 7º e 8º fechos do *step testing* (AdPorto). 96
5.16 Fuga encontrada com a realização do *step testing* antes (à esquerda) e após (à direita) reparação (AdPorto). 97
5.17 Representação gráfica do consumo e da pressão na entrada da ZMC Preciosa-Mar Aldoar e do consumo do grande cliente em causa (AdPorto). 97
5.18 Localização das válvulas onde se colocaram os *loggers* acústicos (AdPorto). 98
5.19 Colocação dos *loggers* acústicos (AdPorto). 99
5.20 Recolha dos dados obtidos pelos *loggers* acústicos na modalidade *drive-by* (AdPorto). 100
5.21 Representação gráfica dos consumos dos dois grandes clientes em estudo (AdPorto). 103
5.22 Contador que se pretende substituir (AdPorto). 104

Página intencionalmente deixada em branco

Lista de Tabelas

3.1 Modelo de gestão dos serviços de água em Portugal (ERSAR, 2016) 22
3.2 Panorama geral das EG que compõe o serviço de abastecimento público de água relativamente aos modelos de gestão (adaptado de ERSAR, 2016) 28

4.1 Principais indicadores de desempenho de perdas de água recomendados pela IWA (adaptado de (Sardinha et al., 2017)). 39
4.2 Questões a responder e respetivas ferramentas para o desenvolvimento de uma estratégia para o controlo de perdas (adaptado de (Farley, 2001)) 48

5.1 Características da rede de distribuição da sub-ZMC Aldoar 85
5.2 Características da rede de distribuição da ZMC Preciosa-Mar Aldoar 86
5.3 Horas de fecho e abertura das 8 subzonas em estudo 92
5.4 Poupança anual a resultar da reparação das PR globais da ZMC Preciosa-Mar Aldoar e da PR encontrada com a realização do *step testing* 102
5.5 Análise SWOT para o *step testing* realizado 105

B.1 Mínimo dos CMN mensais para a ZMC Preciosa-Mar Aldoar . . . 115

C.1 Dados utilizados para o cálculo do expoente N1 e seu valor 117
C.2 Médias das pressões horárias utilizadas para a determinação do FND118

Página intencionalmente deixada em branco

Abreviaturas

AC – Aço
AC – Autoridade da Concorrência
AdDP – Águas do Douro e Paiva, S.A.
AdP – Águas de Portugal, S.A.
AdPorto – Águas do Porto, E.M.
AES – Água de Entrada no Sistema
AF – Água Faturada
ANF – Água Não Faturada
APA – Agência Portuguesa do Ambiente
APDA – Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas
BH - Balanço Hídrico
CA – Consumo Autorizado
CAFM – Consumo Autorizado Faturado Medido
CAFNM – Consumo Autorizado Faturado Não Medido
CAN – Consumo Autorizado Noturno
CANFM – Consumo Autorizado Não Faturado Medido
CANFNM – Consumo Autorizado Não Faturado Não Medido
CAP – Controlo Ativo de Perdas
CMN – Caudal Mínimo Noturno
CNA – Conselho Nacional da Água
COM – Comissão Europeia
DGC – Direção-Geral do Consumidor
EG – Entidade Gestora
EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
ETA – Estação de Tratamento de Águas
FAVAD – *Fixed and Variable Area Discharges*
FFD – Ferro Fundido Dúctil
FND – Fator Noite-Dia
GPRS - *General Packet Radio Service*
GSM - *Global System for Mobile Communications*
IGAMAOT – Inspeção-Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território
IWA - *International Water Association*
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NEPr – Nível Económico das Perdas
OP – Objetivos Operacionais
PA – Perdas Aparentes
PEAASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PMED – Pressão no Ponto de Pressão Média
PR – Perdas Reais
PVC – Policloreto de Vinilo
RASARP - Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
SAA – Sistema de Abastecimento de Água
SAR – Saneamento de Águas Residuais
SIG - Sistema de Informação Geográfica
STD – Sistemas de Telemetria Domiciliária
TPZ – Testes de Pressão Zero
ZMC – Zona de Medição e Controlo

Capítulo 1

Introdução

1.1 Âmbito

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, realiza-se em ambiente empresarial, tendo como entidade promotora a Águas do Porto, E.M. (AdPorto).

1.2 Motivação

Apesar de aproximadamente 70% da superfície do planeta Terra ser coberta de água, apenas cerca de 3% desta água é doce. E dois terços desta encontra-se nas calotes polares e glaciares e nos aquíferos subterrâneos.

Ao longo dos tempos, o Homem tem vindo a interferir com o ciclo hidrológico, retirando da natureza e utilizando a água para diversas finalidades.

Assim, no contexto atual, a consciencialização da limitação dos recursos hídricos e da necessidade de protegê-los e conservá-los é fundamental.

No setor urbano, no ano de 2015, em Portugal continental, dos cerca de 813 milhões de m^3 de água que entraram nos sistemas em baixa, aproximadamente 242 milhões de m^3 não foram faturados. Em termos percentuais, a média de água não faturada, em 2015, foi de 29,8% da água que entrou no sistema.

Deste modo, e sendo o limiar técnico aceitável de água não faturada de 20%, verifica-se que existe um grande potencial de melhoria através da alteração de procedimentos de faturação e da redução das perdas de água.

No que respeita às perdas reais, o volume de água perdida anualmente é de cerca de 152 milhões de m^3, o equivalente a 60 745 piscinas olímpicas. A nível financeiro, estas, contabilizadas ao preço de compra da água pelos sistemas em baixa, correspondem a um custo de cerca de 76 milhões de euros por ano.

Para recuperar estes gastos, as entidades gestoras aumentam as tarifas e condicionam a sua capacidade de investimento. Assim, quanto maior for o volume de

perdas reais, mais avultadas serão as tarifas aplicadas aos clientes pela entidade gestora.

Para além das repercussões económicas sobre o utilizador final do serviço, os elevados valores de perdas penalizam o ambiente.

Neste sentido, surge a motivação para a redução das perdas reais, através da quantificação destas e da aplicação do controlo ativo de perdas.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo promover a redução das perdas reais na rede de distribuição do sistema de abastecimento de água da AdPorto. Em particular, tenciona-se aprofundar o conhecimento da rede de distribuição da ZMC Preciosa-Mar Aldoar, através do cálculo do volume de perdas reais obtido a partir de uma abordagem *Bottom-Up* do balanço hídrico, e pretende-se aplicar um método de localização de perdas nunca antes executado, mas pretendido pela empresa, nomeadamente um teste de fecho sequencial.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 2: O capítulo inicia com a caracterização dos sistemas de abastecimento de água. De seguida são expostas as etapas de um sistema de abastecimento de água típico com especial enfoque na etapa de distribuição. Por fim, é apresentada a classificação dos sistemas de abastecimento de água.

- Capítulo 3: Este capítulo é referente ao setor de abastecimento de água em Portugal. São descritos os modelos de gestão, a estratégia de âmbito nacional (PENSAAR 2020) e os principais intervenientes do setor. Além disso, são apresentados os dados do setor relativos ao ano de 2015, compilados no último relatório anual publicado em 2016. Finalmente, expõem-se os principais problemas do setor de abastecimento de água.

- Capítulo 4: Neste capítulo apresenta-se o estado da arte atual acerca das perdas de água em sistemas de abastecimento. Inicia com uma contextualização acerca das perdas de água e das dimensões deste problema. De seguida é realizada uma análise do balanço hídrico e apresentadas as duas abordagens para se proceder ao seu cálculo. Além disso, expõem-se os indicadores de perdas. Finalmente, realiza-se uma abordagem simplista das perdas aparentes e desenvolvem-se em pormenor as perdas reais.

- Capítulo 5: Em primeiro lugar, este capítulo apresenta a contextualização histórica e os pormenores do sistema de abastecimento de água da AdPorto. Em seguida, realiza-se a descrição da ZMC Preciosa-Mar Aldoar e da sub-ZMC Aldoar e a avaliação dos seus consumos autorizados noturnos. Além disso, é descrita a aplicação dos métodos de controlo ativo de perdas e apresentados os resultados obtidos. Posteriormente é realizada a quantificação das perdas reais e a avaliação dos encargos financeiros a estas associados. Por fim, são abordadas duas ocorrências estudadas: a substituição do contador de um grande cliente e a verificação da existência de perdas aparentes na sub-ZMC Aldoar.
- Capítulo 6: Neste capítulo encontram-se as conclusões retiradas com a realização deste trabalho e as propostas para desenvolvimentos futuros relacionados a esta temática.

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 2

O Sistema de Abastecimento de Água

Um sistema de abastecimento de água (SAA) caracteriza-se pela captação de água da natureza, adequação da sua qualidade, transporte e fornecimento às populações em quantidade compatível com as suas necessidades. Pode ser definido como um conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados a satisfazer as necessidades primárias da população em termos de abastecimento de água potável. A Figura 2.1 pretende representar a constituição, em termos gerais, de um SAA potável típico, cujas diferentes etapas representadas se encontram detalhadas de seguida.

Figura 2.1: Constituição típica de um SAA (ERSAR, 2016).

2.1 Etapas de um SAA Típico

2.1.1 Captação

A captação tem por finalidade a extração de água do meio hídrico superficial ou subterrâneo, de forma contínua e duradoura em quantidade compatível com as necessidades e de acordo com as disponibilidades existentes (ERSAR, 2016) (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

As entidades gestoras (EG) do serviço de abastecimento de água reportaram, em 2015, um total de 6 016 captações de água subterrânea e de 267 captações de água superficial. Embora, em 2015, existissem mais captações subterrâneas, cerca de 66,76% da água colocada na rede provinha de origens superficiais. Este valor evidencia a maior fiabilidade e facilidade em captar de água superficial, o que permite retirar caudais de água superiores e mais constantes (ERSAR, 2016).

Verifica-se, ainda, uma tendência de redução do número de captações de água

para consumo humano, uma vez que se tem assistido à criação dos sistemas plurimunicipais de abastecimento de água em alta. Esta tendência permite a formação de economias de escala e facilita a operação dos sistemas. No entanto, a água superficial apresenta uma maior necessidade de tratamento. Ao contrário da água subterrânea que, em geral, apenas necessita de uma simples desinfeção, no caso da água superficial é necessário assegurar um nível de tratamento superior, dado que a possibilidade de ocorrência de problemas de excesso de nutrientes é maior (ERSAR, 2016).

2.1.2 Tratamento

O tratamento tem como objetivo conferir características de potabilidade à água, isto é, consiste na correção das características físicas, químicas e bacteriológicas da água, por forma a torná-la adequada para o consumo humano (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Como referido, as necessidades de tratamento da água variam consoante a sua origem. Para a água subterrânea têm sido utilizadas soluções simples de arejamento, filtração e desinfeção ou apenas desinfeção. Para a água superficial, como as exigências de tratamento são maiores, as etapas utilizadas são pré-oxidação, correção de pH, coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfeção (ERSAR, 2016).

Ao longo do tempo, o tratamento registou vários problemas na qualidade da água abastecida, mas, atualmente, esta fase encontra-se numa excelente posição. As instalações de tratamento mais do que duplicaram na última década, o que em parte justifica a boa evolução registada para a qualidade da água abastecida. O setor de abastecimento de água em Portugal continental encontra-se infraestruturado com 3 666 instalações de tratamento, das quais 260 são Estações de Tratamento de Águas (ETA) e 3 406 apenas efetuam operações de desinfeção e/ou de correção de agressividade (ERSAR, 2016).

2.1.3 Elevação

A elevação tem como objetivo introduzir energia no escoamento, de modo a fazer com que a água circule sob pressão e vença barreiras topográficas (ERSAR, 2016).

As instalações de bombagem classificam-se em elevatórias ou sobrepressoras consoante a aspiração é efetuada a partir de um reservatório em superfície livre ou da própria conduta sem perda de pressão (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Nas instalações de bombagem há, em geral, que considerar os dispositivos de tratamento preliminar, as câmaras e condutas de aspiração, os equipamentos de bombagem, as condutas elevatórias, os dispositivos de controlo, comando e proteção e os descarregadores (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Num sistema sem barreiras topográficas, com os reservatórios a cota superior à adução, esta etapa é dispensada, não existindo assim os custos energéticos e financeiros inerentes (ERSAR, 2016).

Em 2015, existia um total de 2 313 estações elevatórias, das quais 494 eram geridas por EG em alta e 1 819 por EG em baixa. O número de estações elevatórias diminuiu entre 2011 e 2015, tanto em alta como em baixa (ERSAR, 2016).

2.1.4 Adução

A adução é relativa ao transporte de água tratada da zona de produção para as zonas de consumo (ERSAR, 2016).

Este transporte pode ocorrer sob pressão (por gravidade ou bombagem) ou em superfície livre (aquedutos e canais). De modo a evitar contaminações da água e os demais inconvenientes/condicionantes estruturais, recorre-se geralmente ao escoamento sob pressão, de preferência aos sistemas gravíticos por razões económicas (Matos, 2011).

2.1.5 Armazenamento

O armazenamento é realizado de modo a que se possa assegurar a continuidade no abastecimento (ERSAR, 2016).

Este é realizado em reservatórios que podem ser classificados de três formas diferentes consoante a:

- Função:
  - Distribuição ou equilíbrio;
  - Regularização;
  - Bombagem ou de reserva para combate a incêndio.
- Implantação (ver Figura 2.2):
  - Elevados;
  - Enterrados;
  - Semienterrados.
- Capacidade:
  - Pequenos (para volumes inferiores a 500 m^3);
  - Médios (volumes compreendidos entre 500 m^3 e 5 000 m^3);
  - Grandes (volumes superiores a 5 000 m^3).

Os reservatórios devem situar-se o mais próximo possível do centro de gravidade dos locais de consumo, a uma cota que garanta as pressões mínimas exigidas em toda a rede (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

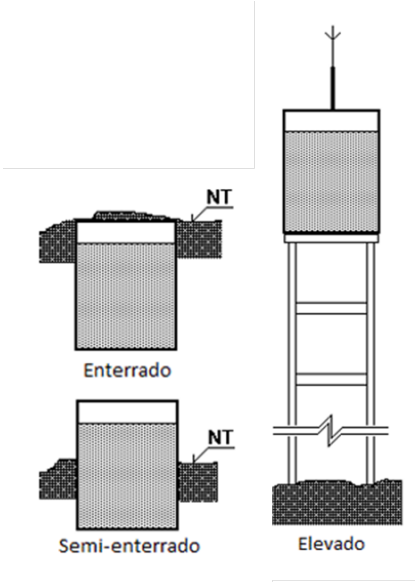

Figura 2.2: Classificação dos reservatórios segundo a sua implantação (Venancio, 2009).

Os reservatórios têm como finalidade (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto):

- Servir de volante de regularização, compensando as flutuações de consumo face à adução;
- Constituir reservas de emergência para combate a incêndios ou para assegurar a distribuição em casos de interrupção voluntária ou acidental do sistema a montante;
- Equilibrar as pressões na rede de distribuição e regularizar o funcionamento das bombagens.

A capacidade de reserva de água tratada para consumo humano, em Portugal continental, é cerca de 5 milhões de m^3, distribuídos por um total de 8 732 reservatórios. De um modo geral, os números de reservatórios aumentaram, traduzindo um significativo esforço de investimento na melhoria da fiabilidade dos serviços de abastecimento de água. Em média, Portugal continental apresenta 1,4 dias de capacidade de reserva de água tratada (ERSAR, 2016).

2.1.6 Distribuição

Esta fase consiste na distribuição de água pelos utilizadores em quantidade, pressão e qualidade adequadas às necessidades (ERSAR, 2016).

No estudo hidráulico de uma rede de distribuição, esta é esquematicamente representada por nós, troços e malhas. Os nós correspondem aos pontos de encontro de duas ou mais condutas onde estiver inserido qualquer elemento acessório. Os troços são segmentos de conduta que unem dois nós e caracterizam-se por, ao longo de todo o seu comprimento, manterem constantes o caudal, o diâmetro, a forma da secção e o material. As malhas dizem respeito a conjuntos de troços interligados de modo a constituírem anéis fechados (Paixão, 1999).

A rede de distribuição pode ser classificada de acordo com as ligações dos diversos troços como (Paixão, 1999):

- Ramificada: os troços encontram-se ligados de forma a que o escoamento se processe sempre numa direção e nunca formando anel. Este é um sistema económico, mas pouco fiável, uma vez que qualquer avaria num troço provoca a interrupção da distribuição de água a jusante;

- Malhada: caracterizam-se por conjuntos de malhas com troços adjacentes. Assim, o sentido do escoamento em cada troço pode variar no decurso do tempo. No caso de avaria num troço, ou quaisquer trabalhos na rede, este sistema tem a vantagem de permitir percursos alternativos e deste modo, o funcionamento do restante sistema não se altera;

- Mista: são sistemas que englobam os dois tipos de rede mencionadas, sendo o mais vulgar em redes públicas. Por norma, as condutas principais integram malhas sendo as ramificações constituídas pelas condutas secundárias.

Na Figura 2.3 podem ser observados os diferentes tipos de rede de distribuição descritos.

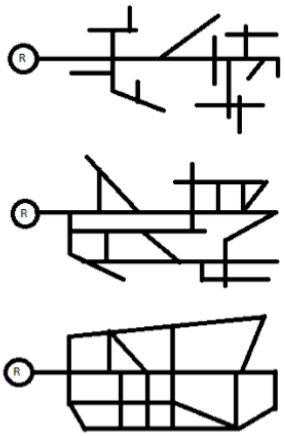

Figura 2.3: Rede ramificada (em cima), rede mista (ao centro) e rede malhada (em baixo).

A rede de distribuição de água caracteriza-se pelo conjunto das condutas, dos ramais de ligação e dos elementos acessórios, os quais se encontram abordados em pormenor de seguida (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Condutas

O Decreto-Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, estabelece alguns critérios relativos à implantação e dimensionamento das condutas da rede de distribuição: pressões a cumprir, critérios de dimensionamento e instalação de acessórios e condutas, ressaltando a importância de criar e manter uma base de dados atualizada de toda a rede (cadastro).

Para o dimensionamento das condutas da rede de distribuição consideram-se caudais de cálculo, que consistem nos caudais diários médios anuais previstos no início da exploração do sistema e no ano horizonte de projeto, afetados de um fator de ponta instantâneo, aos quais se adicionam os caudais de fugas e perdas (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Por forma a minimizar os custos associados ao dimensionamento hidráulico, conseguido através de uma combinação criteriosa de diâmetros, deve-se atender às seguintes regras (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto):

- A velocidade de escoamento (V), para o caudal de ponta não deve exceder o valor obtido pela equação 2.1, na qual D_{int} representa o diâmetro interno da tubagem, em mm;

$$V = 0,127 D_{int}^{0.4} \ [m/s] \tag{2.1}$$

- A velocidade de escoamento não deve ser inferior a 0,30 m/s, para o caudal de ponta no ano de início de exploração do sistema e nas condutas onde não seja possível verificar este limite deve se prever a inclusão de dispositivos adequados para descarga periódica;
- A pressão de serviço em qualquer dispositivo de utilização predial para o caudal de ponta deve ser superior a 100 kPa e inferior a 600 kPa (pressão máxima, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização);
- A variação máxima de pressão imposta, ao longo do dia, é de 300 kPa, uma vez que não é aceitável grande flutuação de pressões em cada nó do sistema;
- A pressão mínima (H) de serviço na rede pública e ao nível do arruamento é definida através da equação 2.2, na qual n diz respeito ao número de pisos acima do solo, incluindo o piso térreo.

$$H = 100 + 40n \ [kPa] \tag{2.2}$$

Quando as características do fornecimento por parte do sistema público não oferecem as garantias necessárias ao bom funcionamento do sistema predial, em termos de caudal e de pressão, a água é armazenada em reservatórios prediais ou cisternas. Nestes, a água é armazenada à pressão atmosférica constituindo uma reserva destinada à alimentação das redes dos prédios a que estão associados (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

As condutas da rede de distribuição, nos arruamentos, devem ser implementadas em articulação com as restantes infraestruturas e, sempre que possível, fora das faixas de rodagem. Além disso, as condutas devem ser colocadas em ambos os lados do arruamento, podendo reduzir-se a um quando as condições técnico-económicas o recomendem, a uma distância nunca inferior a 0,80 m dos limites das propriedades. As condutas têm, ainda, que ser implantadas num plano superior ao dos coletores das águas residuais e a uma distância superior a 1 m, de modo a minimizar possíveis contaminações (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Quanto aos diâmetros nominais mínimos das condutas, estes dependem do número de habitantes do aglomerado. Assim, para aglomerados com menos de 20 000 habitantes recomenda-se um diâmetro de 60 mm e para aglomerados com mais de 20 000 habitantes de 80 mm (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Os materiais aconselhados para as condutas são policloreto de vinilo (PVC), polietileno de alta densidade (PEAD), poliéster reforçado com fibra de vidro, aço (AC), ferro fundido dúctil (FFD), entre outros que podem reunir as condições necessárias.

O setor de abastecimento de água em Portugal continental dispõe de 108 757 km de condutas, 9 443 km reportados pelas EG em alta e 99 314 km reportados pelas EG em baixa, observando-se o aumento do comprimento total de condutas entre 2011 e 2015 (ERSAR, 2016).

Ramais de ligação

Os ramais de ligação asseguram o abastecimento predial de água, desde a rede pública até ao limite da propriedade a servir, em boas condições de caudal e pressão.

De acordo com o Decreto-Regulamentar n.° 23/95 de 23 de agosto, uma edificação pode dispor de mais do que um ramal de ligação para abastecimento doméstico ou de serviços, quando tal for justificável. Estabelece, ainda, que os estabelecimentos comerciais e industriais devem ter ramais de ligação privativos.

Para o dimensionamento dos ramais de ligação da rede de distribuição, os caudais a considerar são os caudais de cálculo dos respetivos sistemas prediais. Se o mesmo ramal assegurar a distribuição de água quente e fria e de água para combate a incêndio, o caudal a considerar deverá ser aquele a que corresponde o maior dos valores de cálculo (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

O dimensionamento dos ramais de ligação, isto é, a determinação do seu diâmetro, obtém-se através dos caudais de cálculo e da velocidade de escoamento, que se encontra compreendida entre 0,5 m/s e 2,0 m/s. O diâmetro nominal mínimo dos ramais de ligação é de 20 mm (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Relativamente à natureza dos materiais dos ramais de ligação, estes podem ser de PVC, PEAD, FFD, entre outros que reúnam as necessárias condições de utilização (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Elementos acessórios

Conforme o contemplado no Decreto-Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto, os elementos acessórios da rede podem ser juntas de ligação, válvulas de seccionamento e de retenção, redutores de pressão, ventosas, descargas de fundo, bocas-de-rega e de lavagem, hidrantes, câmaras de manobra e medidores de caudal.

As juntas de ligação são utilizadas para estabelecerem a ligação de tubos, elementos acessórios e demais dispositivos da rede pública de distribuição e devem

ser estanques, possibilitar a dilatação e facilitar a montagem e desmontagem de tubos e acessórios. Estas podem classificar-se em rígidas, flexíveis, de dilatação e de desmontagem (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.4 é possível observar a aparência de uma junta de ligação.

Figura 2.4: Juntas de ligação (AdPorto).

As válvulas de seccionamento devem ser instaladas de modo a facilitar a operação do sistema e a minimizar os inconvenientes de eventuais interrupções do abastecimento (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.5 encontra-se um exemplo de uma válvula de seccionamento .

Figura 2.5: Válvula de seccionamento de ramal (AdPorto).

As válvulas de retenção têm como objetivo evitar a variação do sentido do escoamento. Estas devem ser instaladas, de acordo com o sentido do escoamento pretendido, nas tubagens de compressão e/ ou de aspiração das instalações elevatórias e, quando se justificar em termos de operação, na rede de distribuição ou em reservatórios (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.6 encontra-se um exemplo de uma válvula de retenção.

Figura 2.6: Válvula de retenção (Pegler, 2017).

Os redutores de pressão têm a finalidade, como o nome indica, de reduzir a pressão por forma a não exceder, a jusante, um valor prefixado. Os redutores de pressão podem ser câmaras de perda de carga ou válvulas redutoras de pressão

(VRP). Uma câmara de perda de carga não é mais do que um reservatório intermédio, no qual uma parte da energia hidráulica do escoamento, à entrada, é dissipada, dando, assim, origem a uma perda de carga localizada. As VRP devem ser instaladas em câmaras de manobra que garantam a proteção adequada e fácil acessibilidade, dispondo a montante de filtro para retenção de areias e a jusante de um manómetro ou outro dispositivo, para controlo de pressões (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.7 pode-se observar uma VRP.

Figura 2.7: VRP (AdPorto).

As ventosas permitem a admissão e expulsão de ar nas condutas e devem ser localizadas nos pontos altos, nomeadamente nos extremos de condutas periféricas ascendentes, e nas condutas de extensão superior a 1 000 m sem serviço de percurso. Na Figura 2.8 é possível observar a aparência de uma ventosa (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto).

Figura 2.8: Ventosa (PAM Saint-Gobain, 2017).

As descargas de fundo, localizadas nos pontos baixos, têm como finalidade permitir o esvaziamento de troços de condutas e de partes de redes de distribuição situados entre válvulas de seccionamento, para se proceder a operações de limpeza, desinfeção e reparação (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.9 encontra-se um exemplo de uma descarga de fundo.

Figura 2.9: Descarga de fundo (Mankenberg, 2017).

As bocas-de-rega e de lavagem destinam-se ao uso exclusivo das entidades autorizadas. A sua implementação é função da organização urbanística dos aglomerados populacionais, como arruamentos e espaços verdes (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.10 encontra-se representada uma boca-de-rega.

Figura 2.10: Boca-de-rega (AdPorto).

Os hidrantes englobam as bocas-de-incêndio e os marcos de água e destinam-se ao uso exclusivo pelas corporações de bombeiros e serviços municipais. As bocas-de-incêndio podem ser de parede ou de passeio, onde normalmente se encontram incorporadas. Os marcos de água são salientes em relação ao nível do pavimento (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.11 pode-se observar um exemplo destes acessórios.

Figura 2.11: Bocas-de-incêndio (AdPorto).

As câmaras de manobra servem para a instalação de acessórios no sistema e para facilitar o acesso para observação e operações de leitura ou de manobra, em condições de segurança e eficiência (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.12 encontra-se um exemplo de uma câmara de manobra.

Figura 2.12: Câmara de manobra (AdPorto).

Os medidores de caudal permitem determinar o volume de água que se escoa num determinado período de tempo. Estes devem ser instalados em locais devidamente protegidos, acessíveis e de forma a possibilitarem leituras corretas (Decreto Regulamentar n.° 23/95, de 23 de agosto). Na Figura 2.13 está representado um medidor de caudal.

Figura 2.13: Medidor de caudal (AdPorto).

Para além destes elementos, existem outros acessórios utilizados nas condutas

das redes de distribuição, que se encontram representados na Figura 2.14.

Figura 2.14: Curva (à esquerda), junta cega (ao centro) e cone (à direita) (AdPorto).

2.2 Classificação dos SAA

As etapas constituintes do SAA anteriormente apresentadas são devidamente agregadas de acordo com a divisão do SAA nas suas componentes em alta e em baixa.

A componente em alta diz respeito às atividades grossistas do setor de abastecimento de água, ou seja: engloba as etapas de captação, tratamento, elevação e adução da água (ERSAR, 2016).

A componente em baixa respeita às atividades retalhistas do setor de abastecimento de água, ou seja, engloba as etapas de armazenamento e distribuição da água (ERSAR, 2016).

O fornecimento da água vinda da componente em alta pode ser feito de duas formas:

- A primeira consiste no fornecimento direto através de pontos de entrega (PE) específicos da adutora principal na rede de distribuição;
- A segunda consiste no abastecimento dos reservatórios de distribuição através de PE da adutora nestes elementos.

Para além desta diferenciação entre as componentes alta e baixa, os SAA podem ser classificados em sistemas multimunicipais, municipais e intermunicipais ou municipais integrados.

De acordo com o Decreto-Lei n.° 92/2013, de 11 de julho, e a Lei n.° 35/2013, de 11 de julho, define-se:

- Sistemas multimunicipais como aqueles que sirvam pelo menos dois municípios e exijam um investimento predominante a efetuar pelo Estado, em

função de razões de interesse nacional, sendo a sua criação precedida de parecer dos municípios territorialmente envolvidos. A respetiva gestão e exploração pode ser diretamente efetuada pelo Estado ou atribuída, em regime de concessão, a empresas cujo capital social seja exclusivamente público ou resultar da associação de entidades do setor público, em posição obrigatoriamente maioritária no capital social, com entidades privadas;

- Sistemas municipais, todos os demais não abrangidos no ponto anterior, incluindo os sistemas geridos através de entidades intermunicipais ou associações de municípios para a realização de finalidades especiais. A respetiva gestão e exploração pode ser diretamente efetuada pelos respetivos municípios e associações de municípios, ou atribuída, em regime de concessão, a entidade pública ou privada de natureza empresarial, bem como associação de utilizadores.

No caso dos sistemas municipais, uma associação de municípios pode promover um sistema integrado, com as otimizações inerentes, pelo que será conveniente do ponto de vista prático distingui-los entre (PENSAAR 2020, 2015):

- Sistemas municipais (apenas um município);
- Sistemas intermunicipais ou sistemas municipais integrados (mais do que um município).

Deste modo, torna-se necessário distinguir os seguintes conceitos (PENSAAR 2020, 2015):

- Sistemas intermunicipais ou sistemas municipais integrados: aqueles que agregam mais do que um município;
- Sistemas plurimunicipais: aqueles que incluem os sistemas intermunicipais ou sistemas municipais integrados e os sistemas multimunicipais.

Capítulo 3

O Setor de Abastecimento de Água em Portugal

3.1 Modelos de Gestão

A responsabilidade de gestão dos serviços de abastecimento de água em Portugal é compartilhada entre o Estado e os municípios, ou seja, pelos sistemas multimunicipais e sistemas municipais, respetivamente. Esta incumbência pode ser assegurada através de vários modelos de gestão, os quais se encontram apresentados na Tabela 3.1. Nesta tabela são ainda indicados, para cada um dos modelos, a EG e o tipo de colaboração.

No modelo de gestão direta, a diferença entre os serviços municipais e municipalizados consiste no grau de autonomia administrativa e financeira (maior no segundo caso, em que existe orçamento próprio), embora em ambos os casos se tratem de serviços integrados no município, cujas tarifas são fixadas pelos respetivos órgãos (ERSAR, 2016).

De acordo com o Decreto-Lei n.° 194/2009, de 20 de agosto, a delegação deve incluir a operação, a manutenção e a conservação do sistema e pode incluir ainda a construção, a renovação e a substituição das infraestruturas, instalações e equipamentos, na totalidade ou em parte do território da entidade delegante. Este modelo de gestão é celebrado através da assinatura de um contrato de gestão entre o município, a associação de municípios ou a área metropolitana e a empresa municipal delegatária. O contrato de gestão delegada tem um prazo mínimo de vigência de 10 anos e neste deve constar o âmbito da delegação, especificando os serviços, a tipologia de utilizadores e o espaço territorial abrangido. O contrato deve também definir objetivos, iniciativas, investimentos e tarifário a seguir pela empresa municipal delegatária .

Tabela 3.1: Modelo de gestão dos serviços de água em Portugal (ERSAR, 2016)

Modelos de gestão utilizados em sistemas de titularidade estatal		
Modelo	Entidade gestora	Tipo de colaboração
Gestão direta	Estado (não existe atualmente qualquer caso)	Não aplicável
Delegação	Empresa pública (existe apenas o caso da EPAL)	Não aplicável
Concessão	Entidade concessionária multimunicipal	Participação do Estado e municípios no capital social da EG concessionária, podendo ocorrer participação minoritária de capitais privados
Modelos de gestão utilizados em sistemas de titularidade municipal ou intermunicipal		
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
Delegação	Empresa constituída em parceria com o Estado (integrada no setor empresarial local ou do Estado)	Participação do Estado e municípios no capital social da EG 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 EG, 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
Concessão	Entidade concessionária municipal	Parceria Público-Privada (municípios e outras entidades privadas)

Nos termos do Decreto-Lei n.° 194/2009, de 20 de agosto, a concessão dos serviços municipais inclui as mesmas atividades que a delegação. A decisão de concessionar um serviço municipal deve ser precedida de um estudo que demonstre a viabilidade financeira da concessão e a racionalidade económica e financeira acrescida decorrente do desenvolvimento da atividade através deste modelo de gestão, designadamente em função de expectáveis ganhos de eficiência e de transferência para o concessionário de riscos passíveis de por este serem melhor geridos. A concessão, de acordo com o disposto no n.° 1 do artigo 410.° do Código dos Contratos Públicos, não pode exceder, incluindo a duração de qualquer prorrogação, 30 ou 15 anos consoante haja ou não investimento significativo de expansão, modernização ou reabilitação a cargo do concessionário. O contrato de concessão deve conter, obrigatoriamente, o tarifário a aplicar, o plano de investimentos, o caso base do modelo financeiro e os proveitos mínimos anuais. O caderno de encargos deve incluir, entre outros, os objetivos e metas a alcançar no exercício de atividades, o modelo de partilha de riscos, eventuais investimentos da responsabilidade do concedente ou de terceiros, o regime de multas contratuais e exigências do concedente.

3.2 Enquadramento Estratégico do Setor

A política pública de acesso à água deve assegurar uma abordagem global e integrada e contemplar a existência de estratégias de âmbito nacional e a médio prazo, correspondendo à visão do Estado para o setor e para a sociedade.

O PENSAAR 2020 – Nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais constitui o instrumento estratégico para o abastecimento de água e saneamento de águas residuais (SAR) para Portugal continental, para o período de 2014 a 2020, tendo sucedido o PEAASAR II (2007 - 2013) – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais.

A partir do balanço do PEAASAR II e da avaliação da situação atual, o PENSAAR 2020 apresenta uma visão, cinco objetivos estratégicos, também designados como eixos, e dezanove objetivos operacionais (OP), que se encontram apresentados no diagrama da Figura 3.1.

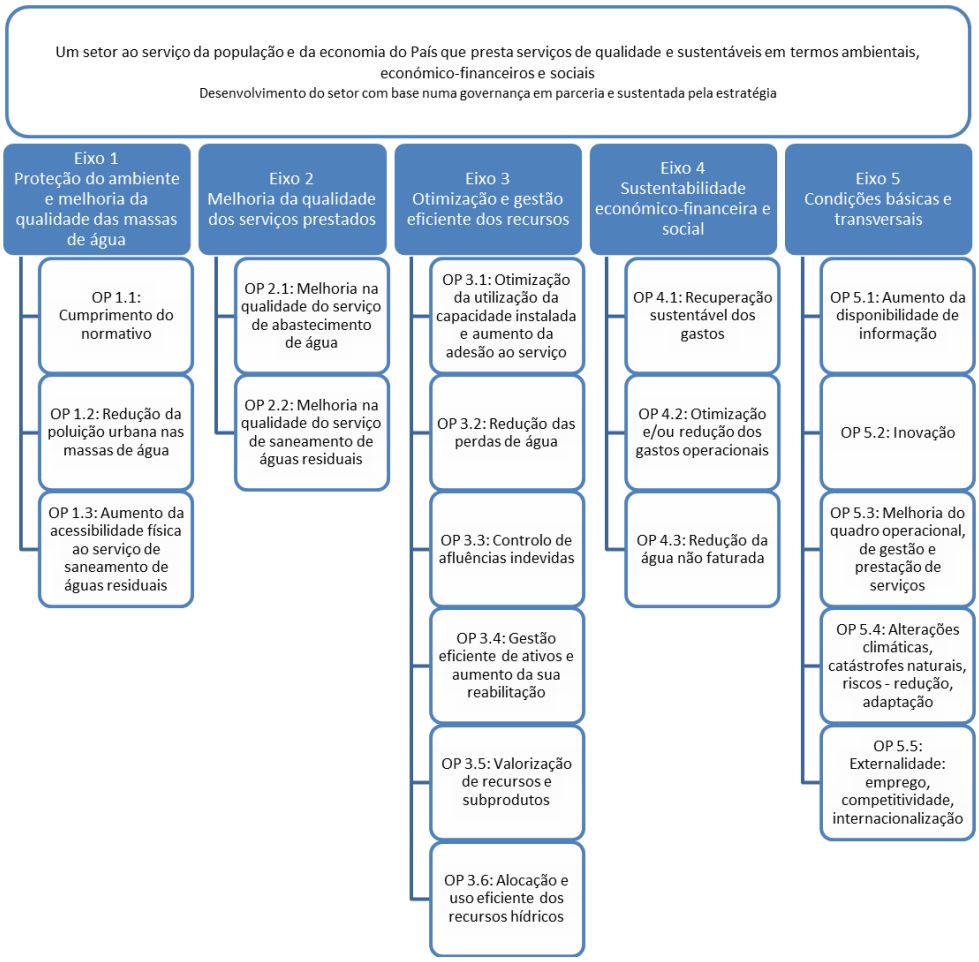

Figura 3.1: Visão, eixos e objetivos operacionais definidos no PENSAAR 2020 (adaptado de PENSAAR 2020 (2015)).

No que respeita ao abastecimento de água, o Eixo 1 relaciona-se com este no sentido que tanto os serviços de abastecimento de água como os de SAR contribuem para a proteção do ambiente e para a melhoria da qualidade das massas de água, numa perspetiva de repartição justa e equilibrada dos custos das ações a desencadear, que terão de ser repercutidos sobre os utilizadores, incluindo os do ciclo urbano da água (PENSAAR 2020, 2015).

No Eixo 2, o OP 2.1 relaciona-se com o serviço de abastecimento de água no sentido da melhoria da sua qualidade. As fragilidades do serviço resultam de três tipos de causas:

- Deficiências ou mau estado funcional das infraestruturas, nomeadamente por falta de manutenção e/ou reabilitação;

- Fiabilidade do serviço e garantia da segurança dos sistemas insuficiente;
- Gestão deficiente dos sistemas devido a recursos – técnicos, humanos e/ou financeiros insuficientes e/ou modelos de gestão não profissionalizados.

Torna-se necessário atuar ativamente na minimização destas fragilidades, de modo a que a população servida apresente uma opinião favorável sobre a qualidade do serviço, com vista a estar predisposta a pagar um preço justo que cubra o seu custo sem pôr em causa a acessibilidade económica ao serviço (PENSAAR 2020, 2015).

O Eixo 3 cruza-se com o abastecimento de água uma vez que procura preservar os recursos existentes, gerindo-os da melhor maneira e tirando proveito da capacidade existente, com o objetivo de aumentar a eficiência do serviço. De acordo com o OP 3.2, procura-se reduzir as perdas de água, de modo a obter ganhos de eficiência (PENSAAR 2020, 2015).

Na perspetiva do abastecimento de água, o Eixo 4 apresenta como maior desafio a recuperação sustentável dos gastos porque o valor dos serviços prestados não é corretamente assumido e entendido pela população em geral. Apesar do serviço de abastecimento de água ser vital para a sobrevivência humana e ter que ser garantido com grande continuidade e com uma qualidade constante, para evitar riscos de saúde pública, com custos de investimento muito elevados, a vontade que os clientes têm para pagar (*willingness-to-pay*), a partir do momento em que o serviço é garantido, decresce. A recuperação integral dos gastos deve ser conseguida através da adoção do conceito definido pela OCDE de recuperação sustentável, ou seja, através dos recursos financeiros geridos pelos 3T: Tarifas (*Tariffs*) pagas pelos utilizadores dos serviços de abastecimento de água e SAR; Impostos (*Taxes*), ou Taxas municipais, do contribuinte nacional que alimentam o orçamento do Estado, com transferência para as autarquias; Transferências (*Transfers*), que correspondem aos fundos comunitários alimentados pelos contribuintes europeus via orçamento da Comissão Europeia (COM). Outra questão relacionada com a recuperação dos gastos do serviço de abastecimento de água é a redução da ANF, ou seja, da água que tem custos de produção, mas que não gera receita (OP 4.3) (PENSAAR 2020, 2015).

Por fim, no Eixo 5 pretendem-se assegurar condições básicas para que os problemas que são transversais ao setor e que se articulam com todos os outros eixos venham a ser resolvidos, garantindo ao mesmo tempo a prossecução dos demais objetivos. A disponibilidade de informação de qualidade é um aspeto vital para a boa gestão dos SAA pelas EG, nomeadamente o cadastro dos seus ativos, a otimização do período de vida útil desses ativos e o uso da sua capacidade instalada, a qualidade dos serviços prestados, a eficiência na gestão dos sistemas e a otimização dos custos. Ao nível do abastecimento de água, a inovação é outro aspeto crucial, no sentido de se adotarem soluções mais eficientes, económicas, de qualidade mais elevada e maior fiabilidade e resiliência nos serviços. A melhoria

do quadro operacional de gestão e de serviços é outro dos objetivos operacionais a considerar, sendo que se deve ter presente a ideia de que a abordagem *one size fits all* não se aplica a este setor. Deste modo não são indicadas soluções concretas, mas objetivos que devem guiar e sustentar as operações a reter. Quanto às alterações climáticas e catástrofes naturais, uma vez que estas representam uma ameaça para este setor, que assegura um serviço vital para a sobrevivência humana, deve-se garantir a sua resiliência e redução da sua vulnerabilidade (PENSAAR 2020, 2015).

3.3 Principais Intervenientes no Setor

3.3.1 Entidade Reguladora

A ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos – é a atual responsável pela regulação do setor de abastecimento de água. De acordo com o Decreto-Lei n.° 10/2014, de 6 de março, a ERSAR é uma entidade administrativa independente, com funções de regulação e de supervisão, dotada de autonomia de gestão administrativa e financeira, de património próprio e que se encontra adstrita ao ministério com atribuições na área do ambiente. Para além da regulação e supervisão do setor do serviço de abastecimento de água, a ERSAR é responsável pelos setores de serviços de SAR urbanas e de gestão de resíduos urbanos, incluindo o exercício de funções de autoridade competente para a coordenação e a fiscalização do regime da qualidade da água para consumo humano.

A atividade da ERSAR estende-se a todas as EG, independentemente do modelo de gestão, e pretende assegurar (Decreto-Lei n.° 10/2014, de 6 de março):

- A clarificação das regras de prestação dos serviços de águas e resíduos, através da emissão de regulamentos e recomendações, e acompanhar a aplicação desses regulamentos e recomendações e da legislação em vigor, a qual é formulada pela Assembleia da República e pelo Governo com a colaboração da ERSAR – regulação estrutural do setor;
- Uma correta proteção dos direitos e interesses dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos, por um lado, no que se refere à garantia e ao controlo da qualidade dos serviços públicos prestados e, por outro, no que respeita à supervisão e ao controlo dos preços praticados, que se revela essencial por se estar perante situações de monopólio natural ou legal;
- A existência de condições de igualdade e transparência no acesso e no exercício da atividade de serviços de águas e resíduos e nas respetivas relações contratuais;
- A recolha e divulgação da informação relativa ao setor dos serviços de águas e resíduos, relativa a cada uma das EG.

3.3.2 Outras Entidades

Para além da entidade reguladora, ERSAR, importam referir outros organismos públicos ao nível da administração com relevância para o setor da água. Entre estes encontram-se a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), a Inspeção-Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAMAOT), o Conselho Nacional da Água (CNA), a Direção-Geral do Consumidor (DGC), a Autoridade da Concorrência (AC), a Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), a Águas de Portugal (AdP) e os municípios (ERSAR, 2016).

De seguida, são apresentadas as principais competências de alguns dos organismos públicos a saber:

- APA: exercer funções de Autoridade Nacional da Água, nos termos e para efeitos do disposto na Lei da Água, nomeadamente, propondo, desenvolvendo e acompanhando a execução da política de recursos hídricos, com vista à sua proteção e valorização;
- IGAMAOT: avaliar o desempenho e a gestão dos serviços e organismos do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, ou sujeitos à tutela do respetivo ministro, avaliar a sua gestão e os seus resultados, através do controlo de auditoria técnica, de desempenho e financeira, bem como assegurar o permanente acompanhamento e avaliação do cumprimento da legalidade nas áreas do ambiente e do ordenamento do território por parte de entidades públicas e privadas;
- CNA: acompanhar a elaboração e a execução de planos e projetos com relevância nos usos da água e no domínio hídrico e pronunciar-se sobre as medidas que permitam a melhor articulação das ações deles decorrentes. Contribuir para o estabelecimento de opções estratégicas da gestão dos sistemas hídricos;
- APDA: defender os interesses das entidades e organismos responsáveis pelos sistemas públicos de águas e de todos os demais intervenientes neste domínio e promover o progresso dos conhecimentos e dos estudos relacionados com a quantidade e qualidade das águas de abastecimento, drenagem e destino final das águas residuais, constituindo um fórum para profissionais de diversas formações com intervenção no domínio das águas.

3.4 Dados do Setor em Portugal

Os dados mais recentes do setor de abastecimento de água em Portugal continental datam de 31 de dezembro de 2015 e encontram-se compilados no Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) da ERSAR (2016).

Em Portugal, o número total de EG que compõe o serviço de abastecimento público de água é de 308. As EG referentes ao abastecimento de água em alta são 11 e as responsáveis pelo abastecimento de água em baixa são 301 (ERSAR, 2016).

Relativamente aos modelos de gestão, os números de EG do serviço de abastecimento de água relativos a cada modelo encontram-se apresentados na Tabela 3.2. Note-se que a coluna "Total" não se refere à soma das colunas "Alta" e "Baixa", uma vez que existem EG que, em alguns municípios, prestam serviços em alta e noutros prestam serviços em baixa (por exemplo a EPAL) (ERSAR, 2016).

Tabela 3.2: Panorama geral das EG que compõe o serviço de abastecimento público de água relativamente aos modelos de gestão (adaptado de ERSAR, 2016)

Modelo de gestão	Submodelo de gestão	Abastecimento de água		
		Alta	Baixa	Total
Gestão direta	Associações de municípios	0	0	0
	Serviços municipalizados ou intermunicipalizados	1	20	20
	Serviços municipais	1	183	183
Delegação	Delegações estatais	1	1	1
	Parcerias Estado/municípios	1	2	3
	Empresas municipais ou intermunicipais	1	23	24
	Juntas de freguesia/ associações de utilizadores	0	43	43
Concessão	Concessões multimunicipais	5	1	5
	Concessões municipais	1	28	29

Nas Figuras 3.2 e 3.3 encontram-se a distribuição geográfica e os indicadores gerais do setor de abastecimento público de água em alta, por submodelo de gestão, respetivamente.

Analisando estas figuras conclui-se que a maior parte do serviço é assegurada por entidades concessionadas. Estas entidades abrangem cerca de 72% da população e 79% do número de municípios abrangidos por EG que prestam o serviço de abastecimento público de água em alta, com especial enfoque para o submodelo das concessionárias multimunicipais (ERSAR, 2016).

Nas Figuras 3.4 e 3.5 observam-se a distribuição geográfica e os indicadores gerais do setor de abastecimento público de água em baixa, por submodelo de gestão, respetivamente.

Pela análise destas figuras apura-se que que o modelo de gestão direta é aquele que mais se destaca, abrangendo 70% do total de municípios e aproximadamente 52% da população de Portugal continental, com especial destaque para o submodelo dos serviços municipais. Os restantes modelos de gestão localizam-se predominantemente no litoral ou nos grandes centros urbanos (ERSAR, 2016).

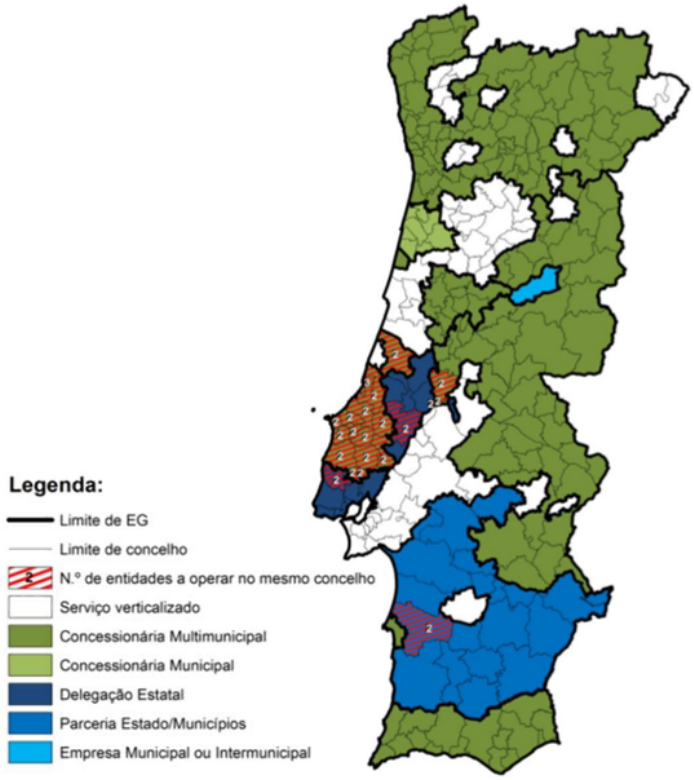

Figura 3.2: Distribuição geográfica do setor de abastecimento de água em alta, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016).

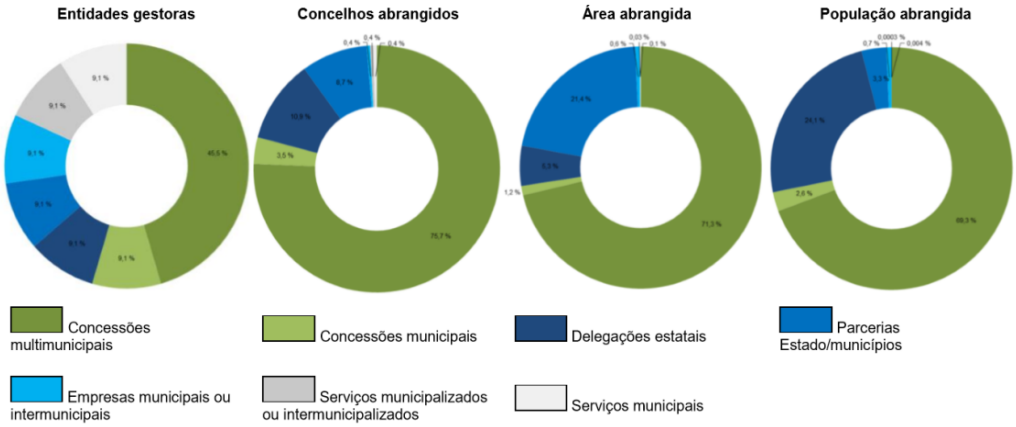

Figura 3.3: Indicadores gerais do setor de abastecimento de água em alta, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016).

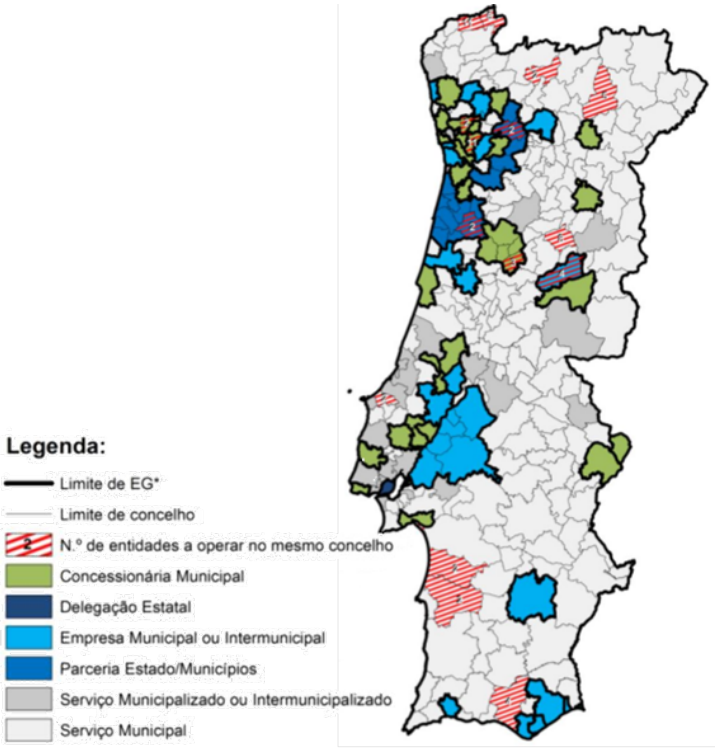

Figura 3.4: Distribuição geográfica do setor de abastecimento de água em baixa, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016).

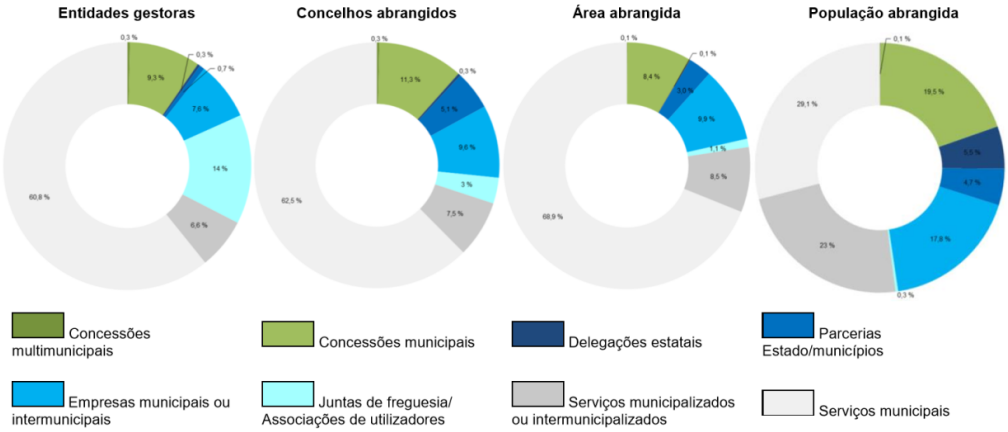

Figura 3.5: Indicadores gerais do setor de abastecimento de água em baixa, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016).

Quanto às tarifas aplicadas no serviço de abastecimento de água, estas podem dizer respeito às tarifas aplicadas entre EG, isto é, às tarifas aplicadas nos sistemas em alta ou aos preços do serviço nas entidades que prestam serviços aos utilizadores finais, ou seja, os preços aplicados nos sistemas em baixa (ERSAR, 2016).

Assim, em 2015, a média das tarifas aplicadas nos sistemas em alta foi de 0,5041 €/m^3, representando uma variação de -1,7% face à média verificada no exercício anterior e o preço médio do serviço de abastecimento de água atingiu 1,25 €/m^3 (ERSAR, 2016).

3.5 Principais Problemas do Setor

Apesar de terem sido registados progressos no contexto da implementação do PEAASAR II, existem ainda problemas por resolver no que respeita ao setor de abastecimento de água. Deste modo, o PENSAAR 2020 necessita de identificar e clarificar de uma forma consistente e com base em dados concretos as causas dos problemas que afetam o setor, de modo a assegurar o seu sucesso. Os problemas mais críticos que afetam o setor são (PENSAAR 2020, 2015):

- Fraco desempenho de um grande número de EG;
- Número elevado de perdas de água nas redes de abastecimento de água, que se traduz num elevado valor de ANF;
- Subutilização/ Sobredimensionamento da capacidade instalada de infraestruturas;
- Pouca resiliência dos SAA no que respeita à escassez de água, problema cada vez mais relevante;
- Dependência do setor de recursos financeiros, nomeadamente no acesso ao endividamento para poder realizar investimentos;
- Aplicação de tarifas que podem ultrapassar o limiar aceitável da sustentabilidade social para parte ou totalidade da população servida pela EG;
- Aumento das tarifas para a recuperação de gastos proporcional à quantidade de ANF pela EG, o que pode representar um problema de falta de equidade nas áreas onde haja uma parcela importante de consumo ilegal ou consumo autorizado não faturado;
- Baixa adesão aos serviços e ligação dos sistemas em baixa à alta;
- Estagnação da reorganização operacional do setor, nomeadamente dos serviços em baixa.

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 4

Perdas de Água

Um SAA nunca é totalmente estanque e eficiente, tendo inevitavelmente uma percentagem de ineficiência associada. Estas ineficiências são as perdas de água e a sua percentagem depende do volume de água perdida. Este volume depende das características dos componentes da rede, da gestão operacional da EG e do nível de tecnologia e conhecimento que a EG possui para controlar as perdas (Farley e Trow, 2003).

As perdas de água são definidas como o volume de água correspondente à diferença entre a água de entrada no sistema e o consumo autorizado. Ao longo do SAA, as perdas podem localizar-se, em vários pontos, como é possível observar na Figura 4.1 (Alegre et al., 2005).

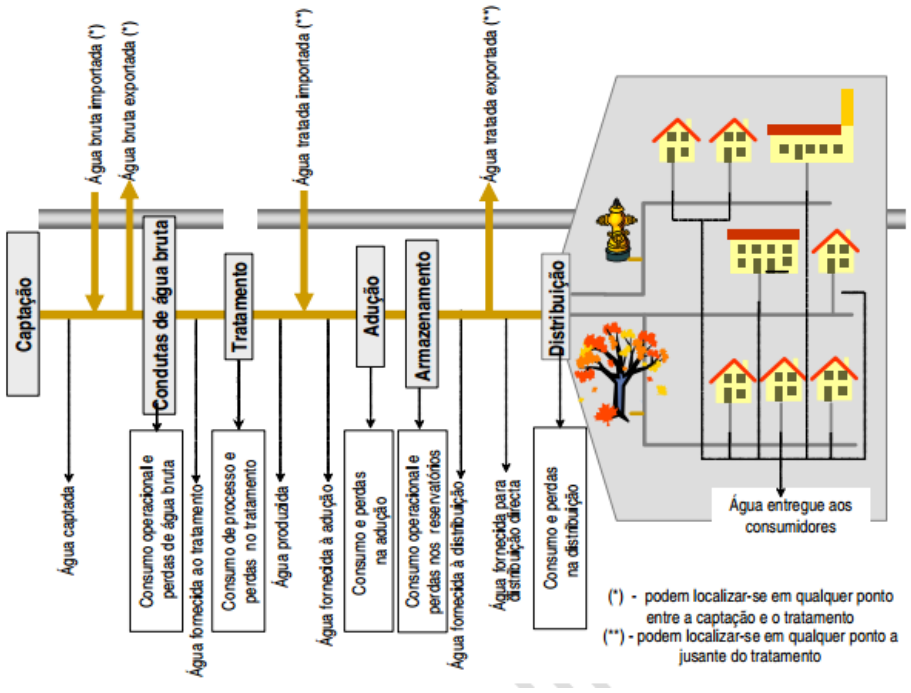

Figura 4.1: Localização das perdas de água no SAA (Alegre et al., 2005).

O problema das perdas de água apresenta cinco dimensões distintas, que são (Alegre et al., 2005):

- Dimensão económico-financeira: como referido, as perdas de água correspondem a água que não é faturada nem utilizada para outros usos autorizados, mas que acarreta custos de captação, tratamento e transporte significativos;

- Dimensão técnica: não existem redes totalmente estanques, por isso é inevitável que existam algumas fugas ou extravasamentos. Contudo, se uma rede for bem construída e mantida, a quantidade de perdas é baixa. Ao invés, as redes em condições precárias inferem um elevado número de perdas. De modo a controlar esta situação, deve-se intervir de duas formas: em termos físicos, reparar pontualmente ou reabilitar os sistemas ou parte deles e em termos de operação, minimizar a probabilidade de ocorrência de contaminações e gerir as pressões, de modo a serem as adequadas;

- Dimensão ambiental: tem grande relevância em regiões onde existe escassez de água com qualidade adequada para o consumo humano, dado que, com a entrada em vigor da Diretiva Quadro da Água, existem mais restrições para a construção de novas captações, não sendo ambientalmente aceitável

reforçar captações existentes ou construir novas, se a jusante os níveis de perdas forem elevados;

- Dimensão da saúde pública: os locais onde ocorrem fugas são potenciais fontes de contaminação da água fornecida aos consumidores. Quando todo o sistema está pressurizado, com pressões internas superiores às externas, a probabilidade de contaminação é baixa. No entanto, quando o fornecimento de água é interrompido por alguma razão, a pressão interna baixa e a probabilidade de ocorrência de contaminações aumenta consideravelmente. Deste modo, torna-se necessário, mesmo que o investimento não compense o valor económico da água perdida, garantir a pressão adequada na rede;

- Dimensão social: as tarifas devem refletir os custos reais, o que implica aumentos significativos no preço da água em locais onde existam elevadas perdas de água. Outro aspeto relacionado com a dimensão social, prende-se com o papel do cidadão comum, que quando devidamente informado e motivado a participar, pode prestar auxílio na localização de fugas visíveis e na melhor monitorização dos consumos domésticos.

O volume das perdas de água pode ser determinado através da utilização da matriz do balanço hídrico, que de acordo com a *International Water Association* (IWA) é o método mais utilizado na análise de todos os componentes de um SAA (CESDA, 2014a).

No balanço hídrico verifica-se que as perdas de água se dividem em perdas aparentes e perdas reais, que são definidas e abordadas detalhadamente nos subcapítulos 4.3 e 4.4, respetivamente.

4.1 Balanço Hídrico

A matriz do balanço hídrico (BH) encontra-se apresentada na Figura 4.2.

Figura 4.2: Matriz do BH proposto pela IWA (adaptado de (Alegre et al., 2005)).

De acordo com a IWA, cada um dos parâmetros constituintes da matriz do BH é definido como (Alegre et al., 2005), (Farley, Wyeth et al., 2008):

- Água de entrada no sistema (AES): volume anual introduzido na parte do SAA que é objeto do cálculo do BH;

- Consumo autorizado (CA): volume anual de água, medido ou não, faturado ou não, fornecido a consumidores registados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria EG. Inclui a água exportada. Note-se que o consumo autorizado pode incluir água para combate a incêndio, lavagem de condutas e coletores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, proteção contra congelação, fornecimento de água para obras, entre outros. Para além disso, inclui ainda as fugas e o desperdício, por parte de clientes registados, que não são medidos;

- Consumo autorizado faturado (CAF): é a componente do CA que é medida e produz receitas, ou seja, corresponde à água faturada (AF). É igual à soma do consumo autorizado medido (CAFM) e do consumo autorizado não medido (CAFNM);

- Consumo autorizado não faturado (CANF): é uma componente do CA que é legítimo, mas não é faturado, logo não gera receita. É equivalente à soma do consumo não faturado medido (CANFM) e do consumo não faturado não medido (CANFNM);

- Perdas de água: definidas anteriormente neste capítulo;

- Perdas aparentes (PA): esta parcela das perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado (por furto ou uso ilícito). É de notar que os registos por defeito dos medidores de água produzida, bem como registos por excesso em contadores de clientes, levam a uma subavaliação das perdas reais. As perdas físicas a jusante do contador do cliente podem contribuir significativamente para o aumento das perdas aparentes;

- Perdas reais (PR): volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga. Note-se que apesar das perdas físicas localizadas a jusante do contador do cliente se encontrarem excluídas do cálculo das PR, são muitas vezes significativas e relevantes para a EG (em particular quando não há medição);

- Água não faturada (ANF): volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da AES e do CAF. A ANF inclui não só as PR e PA, mas também o CANF, isto é, tudo aquilo que não produz receita.

Preferencialmente, o BH deverá basear-se na medição efetiva de volumes. No entanto, sempre que a medição não for fiável, dever-se-á avaliar da forma mais rigorosa possível cada componente dos volumes e consumos de água, estimando, de forma realista, as componentes do balanço. Os volumes calculados ou estimados são passíveis de erro e incertezas que podem ter uma maior ou menor extensão e são considerados na parcela do volume relativo à ANF e PR (Sardinha et al., 2017).

De modo a valorizar a componente das PR e das PA, devem ser utilizadas duas abordagens complementares para que o cálculo e os resultados apurados sejam fiáveis. As abordagens consensualmente aceites para determinação de perdas são (Sardinha et al., 2017), (Alegre et al., 2005):

- Abordagem *Top-Down*: diz respeito à construção do BH de cima para baixo. Assim, inicia-se por uma macro análise das perdas de água que avalia a necessidade de intervenção para a globalidade da rede. Para isso são analisados os volumes de AES através de medição, os CAF e CANF e as PA devidas a ligações ilegais e potenciais erros de medição. A análise evolui da globalidade do sistema para os grandes subsistemas e progressivamente para áreas menores, o que implica a determinação gradual das perdas atuais em vários níveis de discretização. Em resumo, nesta abordagem as PR são calculadas a partir da medição das diversas entradas do sistema, deduzidos os valores obtidos pelos sistemas de faturação de clientes. Trata-se de uma abordagem realizada com base na informação existente, ou seja, é suportada essencialmente por trabalho de gabinete;

- Abordagem *Bottom-Up*: refere-se à construção do BH de baixo para cima. Assim, inicia-se pela determinação dos valores de caudais noturnos nos casos de sistemas setorizados e dotados de medição em contínuo, de modo a determinar as PR. Esta abordagem serve como contraponto ao valor de PR que são calculadas pela abordagem *Top-Down* e baseia-se na análise do Caudal Mínimo Noturno (CMN) obtido do terreno com um determinado valor de certeza. No entanto, esta abordagem implica um elevado conhecimento da rede e um nível de gestão mais sofisticado em termos do controlo da mesma.

Ambas as abordagens serão explicitadas em pormenor no Subcapítulo 4.4.

4.2 Indicadores de Perdas

Os indicadores de desempenho de perdas de água permitem a definição de metas, a avaliação do desempenho de um sistema individual, a comparação técnica do desempenho de diferentes sistemas e/ou a retirada de conclusões gerais sobre um ou vários sistemas (Lambert, 2015b).

As perdas de água eram tradicionalmente expressas como percentagem do volume introduzido no sistema. Apesar de ser um simples e forte alerta para a audiência não técnica devido aos números muito elevados por vezes observados em algumas EG, este indicador induz em erro, uma vez que favorece as EG com elevado consumo, baixa pressão e abastecimento intermitente. Por outro lado, não é capaz de distinguir entre PA e PR. Deste modo, a IWA sugere que apenas seja utilizado como um indicador de performance financeiro (Farley, Wyeth et al., 2008), (Martins, 2014).

Além da percentagem do volume introduzido no sistema, a IWA reconheceu que outros indicadores – volume introduzido no sistema em função dos quilómetros de rede, dos quilómetros de sistema (rede + ramais), do número de ramais, dos alojamentos faturados - não conseguiam assegurar uma forma justa de comparar a gestão de perdas de água entre diferentes sistemas e países (Lambert, 2015b).

Assim, a IWA recomenda a utilização dos indicadores que se apresentam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Principais indicadores de desempenho de perdas de água recomendados pela IWA (adaptado de (Sardinha et al., 2017)).

Componente	Tipo	Indicador de performance de base	Indicador de performance detalhado
Água Não Faturada	Financeira	Volume de ANF como % do Volume de água no sistema	Valor de ANF como % de custo do sistema
Perdas de Água	Operacional	m^3/ramal/ano	-
Perdas Aparentes	Operacional	-	m^3/ramal/ano
Perdas Reais	Recurso Hídrico	Volume de PR como % do Volume de água no sistema	-
Perdas Reais (em cada caso, este indicador é calculado "/dia" quando o sistema está pressurizado para permitir o efeito do abastecimento intermitente)	Sistema Operacional	Litros/ramal/dia para sistemas com 20 ou mais ramais/km conduta m^3/km/dia para sistemas com menos de 20 ramais/km	Índice Infraestrutural de Perdas: definido como o rácio entre as Perdas Reais Anuais Atuais e as Perdas Reais Anuais Inevitáveis

O Índice Infraestrutural de Perdas (ILI – *Infrastucture Leakage Index* no original) pretende medir a eficiência da EG na gestão de PR face ao regime de pressão em que opera. Como mencionado na Tabela 4.1, trata-se do rácio apresentado na Equação 4.1 (Lambert, 2015b), (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

$$ILI = \frac{Perdas\ Reais\ Anuais\ Atuais}{Perdas\ Reais\ Anuais\ Inevitáveis} \tag{4.1}$$

em que,

Perdas Reais Anuais Atuais (*CARL – Current Annual Real Losses*);
Perdas Reais Anuais Inevitáveis (*UARL – Unavoidable Annual Real Losses*): cujo o cálculo é realizado através da Equação 4.2 (Farley, Wyeth et al., 2008).

$$UARL = (18 * Lm + 0.8 * Nc + 25 * Lp) * P\ [L/d] \tag{4.2}$$

na qual,

Lm – Comprimento da rede [km];
Nc – Número de ramais;
Lp – Comprimento médio enterrado dos ramais [km];

P – Pressão média [m].

Um sistema extremamente bem gerido pode ter um ILI de 1,0 (isto é, CARL = UARL), no entanto este valor não tem necessariamente de ser atingido por todas as EG, a não ser que a água potável seja escassa ou muito dispendiosa. Um ILI entre 1,0 e 1,5 representa um excelente nível técnico da gestão das PR (Farley, Wyeth et al., 2008), (Martins, 2014).

Em Portugal continental, para o ano de 2016, o valor médio de ANF registado foi de 29,8 %. Relativamente às PR, os valores registados foram de 126 L/ramal/dia para sistemas com 20 ou mais ramais/ km de conduta e de 2,3 m^3/ km/dia para sistemas com menos de 20 ramais/ km de conduta. No total, as PR foram de 151 863 535 m^3.

4.3 Perdas Aparentes

As PA referem-se à água que é efetivamente consumida, mas que não é faturada. Estas perdas podem também ser designadas como perdas económicas ou comerciais (Farley, Wyeth et al., 2008), (Sardinha et al., 2017).

As PA apresentam um impacto financeiro superior ao das PR, uma vez que as primeiras deveriam ser faturadas (tarifa) e as segundas não, apenas têm em conta os custos de produção. A tarifa da água é claramente superior aos custos de produção da mesma e por vezes chega a ser quatro vezes maior. É também de salientar que, a tarifa praticada engloba não só os custos de água fornecida como também, proporcionalmente, os custos das tarifas de drenagem de águas residuais, resíduos sólidos urbanos (quando aplicável) e a taxa de recursos hídricos (TRH). Assim, mesmo um pequeno volume de PA irá traduzir-se num elevado impacto financeiro (Farley, Wyeth et al., 2008).

De acordo com o BH, as PA dividem-se em duas componentes: uso não autorizado e erros de medição.

As PA relativas ao uso não autorizado dizem respeito a consumos ilícitos e a usos fraudulentos. Os consumos ilícitos podem ser efetuados através de ligações diretas, ligações por *bypass* (conduta adicional instalada ao redor do contador), ligações por derivação de ramal e da violação do contador. Os usos fraudulentos referem-se à utilização abusiva de hidrantes e bocas-de-rega.

O consumo ilícito através de ligações diretas ocorre principalmente em áreas com construção clandestina e em áreas com baixa segurança, enquanto que as ligações por *bypass* são mais frequentes em instalações comerciais e industriais. O uso fraudulento de hidrantes ou bocas-de-incêndio ocorre frequentemente para o enchimento de tanques de veículos destinados à rega e lavagem de ruas e para o consumo em locais de construção, quando deveriam ser operados exclusivamente pelos serviços de bombeiros. Perante estas situações, mesmo que o contexto ex-

terno afete os resultados, a EG pode e deve aplicar algumas medidas para mitigar os efeitos destas situações (Farley, Wyeth et al., 2008), (Alegre et al., 2005).

As medidas passíveis de serem tomadas são (Martins, 2016) (Farley, Wyeth et al., 2008), (Martins, 2016):

- A inspeção e o controlo das redes prediais pelos leitores de contadores tendo em vista a deteção e participação de ilícitos, como ligações diretas e contadores manipulados;
- A instauração de processos de contraordenação nos casos de deteção de consumos ilícitos;
- A implementação de contadores com telemetria, ou seja, que emitem alertas na ocorrência de anomalias, tais como desmantelamento do contador, paragem ou remoção;
- A rotação dos colaboradores que efetuam a leitura de contadores (leitores), de modo a evitar situações de ocultação de ilícitos perante incentivos monetários;
- A criação de programas e medidas para a educação e consciencialização dos clientes, que devem ser encorajados a não incorrer e a reportar ilícitos.

As PA relacionadas com os erros de medição são respeitantes a falhas relacionadas com os contadores ou com as leituras, tal como se pode observar nas Figuras 4.3 e 4.4 (Martins, 2016).

Figura 4.3: Causas dos erros de medição relativos aos contadores (Martins, 2016).

Figura 4.4: Causas dos erros de medição relativos às leituras (Martins, 2016).

As medidas para reduzir os erros de medição são (Martins, 2016), (Farley, Wyeth et al., 2008):

- A instalação de contadores de acordo com as especificações dos fabricantes, em locais de fácil acesso e de fácil identificação do proprietário;
- A monitorização da qualidade da água e a limpeza dos equipamentos mecânicos de modo a minimizar a incrustação e a promover uma correta medição pelos contadores;
- A criação e manutenção de uma robusta base de dados por forma a conhecer o cliente e o seu padrão de consumo e assim, instalar um contador com o calibre adequado;
- A substituição planeada dos contadores, começando pelos mais antigos e pelos que estão em piores condições, ou seja, por aqueles que refletem uma maior submedição da água;
- A instalação de contadores de telemetria;
- A formação e motivação dos leitores de contadores para que registem e reportem corretamente as medições;
- A utilização de ferramentas informáticas de gestão de dados que possibilitem uma melhor monitorização, análise e armazenamento de dados.

4.4 Perdas Reais

As PR ou perdas físicas correspondem ao volume de água perdido na rede e nas infraestruturas de uma EG (Sardinha et al., 2017).

Recorrendo à matriz do BH, as PR são divididas em três tipos: fugas e roturas em condutas (adutoras e distribuidoras), fugas e extravasamentos em reservatórios e fugas e roturas em ramais (a montante do contador ou ponto de medição). O primeiro e o segundo tipos de PR são usualmente visíveis pelo público ou pelos funcionários das EG e, por isso, são facilmente detetadas e rapidamente reparadas. O terceiro tipo de perdas é mais difícil de detetar, pelo que tende a levar a maiores volumes de água perdida (Farley, Wyeth et al., 2008).

Assim, para além da classificação das PR quanto à sua localização, é possível classificá-las quanto à sua deteção em (Farley, Wyeth et al., 2008), (Alegre et al., 2005):

- Roturas reportadas: são visíveis à superfície e tipicamente reportadas pelo público ou pelos funcionários da EG. Caracterizam-se por caudais elevados, curta duração e volumes moderados;

- Roturas não reportadas: ocorrem normalmente no subsolo e não são visíveis à superfície. São passíveis de serem identificadas através da deteção ativa de fugas e caracterizam-se por caudais médios e duração e volumes dependentes da política de controlo ativo de perdas (CAP) seguida;

- Perdas de base: são a acumulação de fugas e roturas muito pequenas, que individualmente são indetetáveis com os equipamentos de deteção correntemente disponíveis. Os esforços para a sua deteção não são frequentemente aplicados, uma vez que os encargos monetários necessários não justificam a redução da perda. Caracterizam-se por caudais baixos, longa duração e grandes volumes.

Na Figura 4.5 apresenta-se a duração e o volume de água perdido para cada um dos tipos de fugas apresentados anteriormente.

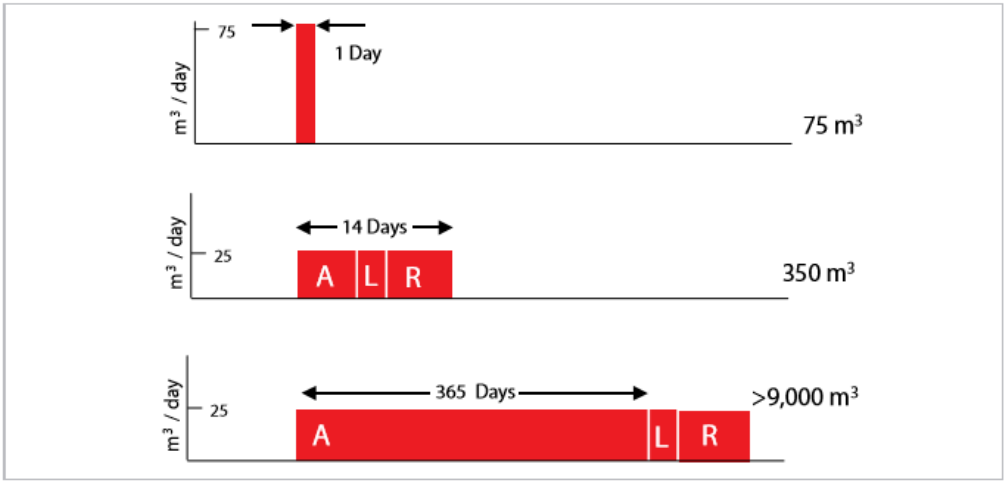

Figura 4.5: Relação entre o tipo de perda real e o volume perdido e os tempos de deteção (A – *Awareness* no original), localização (L – *Location* no original) e reparação (R – *Repair* no original). De cima para baixo, roturas reportadas, roturas não reportadas e perdas de base (adaptado Farley, Wyeth et al. (2008)).

As PR ocorrem em todos os sistemas de abastecimento, mas o volume anual destas varia em função das características da rede de distribuição e da política de deteção e reparação das fugas e roturas praticada pela EG. Entre os fatores influenciadores das PR destacam-se (Farley, Wyeth et al., 2008), (Martins, 2014), (Sardinha et al., 2017), (Lambert et al., 1999), (Farley, 2001):

- Idade, estado de conservação e material das condutas: a idade apresenta-se como um parâmetro muito significante, no sentido que muitos dos fatores afetadores das perdas têm um efeito potenciado pelo aumento da idade. Outro problema que se impõe neste ponto é a corrosão, tanto interna como externa, das condutas metálicas. Deste modo, deve-se adequar o material das condutas a cada situação, por exemplo, em condições de solos mais agressivos, valores de pH mais elevados ou maior concentração de sais dissolvidos é importante utilizar um material mais resistente. Destaca-se também a importância de um correto dimensionamento e manuseamento das condutas para evitar perdas de água;

- Número e comprimento de condutas e ramais: quanto maior for o número e o comprimento das condutas e dos ramais, maior é a probabilidade de ocorrência de fugas e roturas;

- Material, instalação e manutenção dos elementos acessórios da rede: a fraca qualidade do material dos elementos acessórios traduz-se na maior susceti-

bilidade a roturas prematuras quando a rede se encontra sob pressão. Para além do material, o correto dimensionamento, instalação e manutenção dos acessórios é crucial para que não ocorra a criação de pontos de fragilidade no sistema, nos quais o aparecimento de fugas e roturas é mais frequente, e leva ao desperdício de materiais;

- Frequência das roturas: quantas mais roturas existirem numa conduta, maior será a quantidade de água perdida. Por outro lado, a elevada frequência de roturas fragiliza as condutas em questão, provocando a sua degradação e aumentando a probabilidade de ocorrência de novas fugas e roturas a médio e longo prazo;

- Tipo de solo: o solo pode influenciar a frequência com que ocorrem fugas e roturas e a rapidez com que estas se tornam visíveis à superfície;

- Movimentações no solo: estas podem tratar-se de uma mudança no teor de humidade do solo (especialmente nos solos argilosos, levando ao encolhimento e assentamento indesejado das condutas), uma alteração de temperatura (em alguns locais pode ocorrer uma diminuição da temperatura que causa a congelação das partículas), tremores de terra (naturais ou com origem antropogénica) ou tráfego intenso (que provoca vibrações no solo). As movimentações no solo podem levar à rotura de condutas, à movimentação de juntas e à criação de pontos de fragilidade no sistema;

- Pressão de serviço na rede de distribuição e flutuações da mesma ao longo do dia:

  - O aumento da pressão provoca um aumento do caudal de água perdida, que se traduz em custos para a EG. A Figura 4.6 mostra a relação, para orifícios de diferentes diâmetros, entre o aumento da pressão e os custos associados;
  - De modo semelhante, especialmente em sistemas antigos, um aumento da pressão pode resultar na ocorrência de aumento do número de roturas num curto espaço de tempo;
  - Apesar do aumento da pressão aumentar o caudal de perda, este permite que a fuga apareça mais cedo e aumenta o ruído provocado por ela, sendo então possível detetá-la através de métodos sonoros. Inversamente, em sistemas com pressões baixas e abastecimento intermitente, as fugas e roturas são mais reduzidas, mas a sua localização é mais difícil;
  - O aumento brusco da pressão, provocado, por exemplo, pelo inadequado acionamento de um grupo eletrobomba ou pela abertura ou fecho demasiado rápidos de uma válvula instalada numa conduta, pode

levar ao aparecimento de novas roturas nas condutas, ao aumento da dimensão das roturas já existentes, à movimentação de blocos anexos às condutas (como travamentos nas curvas), e à ocorrência de estragos nos acessórios (como é o caso das juntas de ligação). Também podem ocorrer flexões e movimentações das condutas contra rochas, resultando na criação de fragilidades, e por vezes falhas nas condutas;

– As flutuações na pressão podem originar problemas de fadiga nas condutas de plástico, o que pode ser devido à deficiente conceção e manutenção destas, causados pela variação da pressão entre valores demasiado altos e baixos. A degradação do plástico das condutas é também causada pela radiação UV, consequente das más condições de armazenamento.

Figura 4.6: Variação dos custos anuais das perdas de água em função da pressão para orifícios de diferentes tamanhos (Martins, 2016).

- Método de controlo de perdas: o método de controlo de perdas irá afetar a velocidade de deteção, localização e posterior reparação das fugas existentes, sendo, por isso, determinante para o nível de PR. O controlo de perdas encontra-se analisado em detalhe mais à frente neste capítulo.

As PR de água são um problema que afeta todos os SAA e acarretam inúmeros efeitos negativos para a EG, para o consumidor e para o ambiente. Alguns dos efeitos das PR são (Farley, 2001):

- Insatisfação dos consumidores: a falha no abastecimento e pressão inaceitavelmente baixa são os efeitos mais comuns de uma fuga que afeta os consumidores. A pressão demasiado baixa ou nula (em alguns extremos ou pontos altos da rede) origina inconvenientes nas cisternas, que não enchem tão rapidamente, e nos equipamentos domésticos (chuveiros, máquinas de lavar, entre outros), que podem não funcionar. Para além disso, as fugas e roturas podem danificar as infraestruturas e os edifícios, resultando num enfraquecimento das fundações e em paredes rachadas;

- Introdução de ar na rede de distribuição: aquando da existência de roturas pode ocorrer a entrada de ar na rede de abastecimento, o que provoca danos nos medidores e leva à sobremedição do consumo real e a erros nas faturas da água;

- Custos excessivos: para além dos custos relacionados com a reparação das infraestruturas e compensações, existem outros custos associados às perdas. O custo de produção torna-se excessivo, por exemplo, se 50% da água produzida for perdida, a energia para a sua produção e o tratamento custam o dobro do que deveriam, caso o SAA não tivesse perdas (realidade fictícia, uma vez que, como mencionado, não existem sistemas sem perdas), o que origina o aumento das tarifas (agrave à insatisfação do cliente). Existem, também, implicações financeiras decorrentes dos custos de administração para lidar com as reclamações dos clientes, para além da imagem pública da empresa que fica afetada;

- Danos nas infraestruturas: estes resultam das roturas catastróficas que podem ocorrer de longe a longe, mas também das inevitáveis perdas de base. As perdas de base podem existir durante um longo período de tempo sem serem detetadas e antes de o serem, podem provocar colapsos de infraestruturas como autoestradas;

- Riscos para a saúde: como referido, em sistemas onde a pressão é baixa e o abastecimento é intermitente, aquando da ocorrência de fugas e roturas, existe um elevado risco de contaminação da água potável por entrada de contaminantes na rede.

4.4.1 Gestão das Perdas Reais num SAA

As PR não podem ser totalmente eliminadas, mas podem ser minimizadas. O objetivo da gestão das PR é atingir um nível destas que seja a menor combinação de custos entre o valor de água perdida por PR e o custo das atividades que são desenvolvidas com o objetivo de as minimizar (Sardinha et al., 2017).

Para ser possível desenvolver uma estratégia eficiente para o controlo de perdas, primeiramente, deve-se colocar algumas questões acerca da rede de distribui-

ção e da sua operação e depois, selecionar as ferramentas adequadas para encontrar as soluções. As questões e suas respetivas ferramentas encontram-se na Tabela 4.2 (Farley, 2001).

Tabela 4.2: Questões a responder e respetivas ferramentas para o desenvolvimento de uma estratégia para o controlo de perdas (adaptado de (Farley, 2001))

Questão	Ferramenta
Quanta água está a ser perdida?	Quantificação através do cálculo do BH
Onde está a ser perdida?	Localização através de análises computacionais e sondagens no terreno
Porque está a ser perdida?	Revisão da prática da operacionalidade
Como reduzir as perdas e melhorar a performance do sistema?	Planos de ação e estratégias de desenvolvimento
Como manter a estratégia?	Monitorização e controlo

4.4.2 Quantificação das Perdas Reais

Uma estimativa adequada das PR existentes numa rede, de acordo com a Tabela 4.2, pode ser quantificada pelo cálculo do BH. O BH pode ser determinado através de duas abordagens diferentes: abordagem *Top-Down* ou abordagem *Bottom-Up* (Sardinha et al., 2017).

Abordagem *Top-Down*

No caso da abordagem *Top-Down*, assume-se que o volume das PR é calculado de acordo com a Equação 4.3 (Sardinha et al., 2017).

$$\begin{aligned} Volume\,de\,Perdas\,Reais = Volume\,de\,Entrada\,no\,Sistema - \\ (Volume\,Consumo\,Autorizado + Volume\,das\,Perdas\,Aparentes)\ [m^3] \end{aligned} \tag{4.3}$$

Contudo, esta abordagem está dependente do conhecimento de variáveis que não são facilmente mensuráveis ou estimadas, como é o caso das PA. Uma parte do valor relacionado com estas permanece invariavelmente adicionado ao valor calculado para as PR, sobrestimando-se o problema das perdas físicas do sistema. Por isso, é recomendável a aferição das PR através da combinação com outros métodos (Sardinha et al., 2017).

Abordagem *Bottom-Up*

No caso da abordagem *Bottom-Up*, aplicável a sistemas divididos em zonas dotadas de medição em contínuo (designadas ZMC – Zona de Medição e Controlo), o volume das PR é estimado com base na observação dos valores de caudal de abastecimento mínimo noturno às zonas em análise. Assim, o volume de PR é calculado de acordo com a Equação 4.4 (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

Esta abordagem apresenta a vantagem de ser possível calcular o volume de PR não só para a totalidade do sistema, como para cada uma das ZMC. Portanto, permite uma ordenação das ZMC de acordo com as prioridades de intervenção. Para além disso, este tipo de cálculo possibilita uma verificação dos valores obtidos pelo BH e a determinação da relação entre a pressão na rede e o nível de perdas (Sardinha et al., 2017).

[H]
$$Volume\,de\,Perdas\,Reais = (Caudal\,Mínimo\,Noturno - Consumo\,Autorizado\,Noturno) * Fator\,Noite - Dia\ [m^3] \tag{4.4}$$

Caudal Mínimo Noturno

O CMN é o mínimo caudal da ZMC durante um período de 24 horas, o qual normalmente ocorre à noite, quando a maioria dos consumidores estão inativos. Este é tipicamente observado entre as 2h e as 5h e pode ser medido diretamente a partir do *data logger* [1] ou pelo gráfico do caudal (Farley, Wyeth et al., 2008), (Morrison et al., 2007).

O CMN deverá ser a média dos valores do caudal observados para um determinado intervalo de tempo, que é no mínimo de 1 hora. É usualmente expresso em m^3/h (Morrison et al., 2007).

Para se obter um valor médio das PR durante as 24 horas a partir do CMN, deve-se ter em atenção que não basta proceder-se a uma extrapolação, isto porque, é necessário considerar-se o efeito da pressão. Se o CMN fosse extrapolado para as 24 horas, sendo pressões noturnas superiores às diurnas, a tendência seria obter-se um valor excessivo de perdas diárias. Deste modo, as estimativas das PR baseadas no CMN são multiplicadas pelo Fator Noite-Dia (Morrison et al., 2007).

[1] Dispositivo eletrônico que recebe, integra e regista/armazena dados numéricos, em bruto, provenientes de equipamentos de medição instalados no terreno. Geralmente são dispositivos de reduzidas dimensões, com um grau de proteção adequado ao meio em que estão inseridos, alimentados a baterias internas e externas e munidos de antenas internas e externas que permitem a sua georreferenciação e envio de dados através de tecnologias GSM e GPRS, para o respetivo *software* de tratamento e visualização dos dados recolhidos.

Fator Noite-Dia

Este corresponde à relação entre a variação da pressão máxima presente na rede, normalmente durante o período noturno que corresponde à melhor estimativa das perdas, e a pressão mínima registada durante os períodos diurnos ou de ponta (Sardinha et al., 2017).

Importa referir que, em alguns casos, as pressões registadas durante o período noturno são inferiores às registadas durante o período diurno, isto porque pode existir um regulador de pressão no local de medição, tal como uma VRP.

O Fator Noite-Dia (FND) de uma ZMC é calculado através da Equação 4.5 (Morrison et al., 2007).

$$FND = (P_0/P_{min})^{N1} + (P_1/P_{min})^{N1} + \ldots + (P_{23}/P_{min})^{N1} \ [h/d] \tag{4.5}$$

na qual,

P_{min} – Pressão no Ponto de Pressão Média (PMED) durante a hora do CMN;

$P_0, P_1, \ldots, P_{23}$ – Pressões no ponto de PMED correspondentes às séries horárias de consumos noturnos Q_0 (0h a 1h), Q_1 (1h a 2h),..., Q_{23} (23h a 24h);

N1 – Expoente da equação de FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharges*), cujo princípio é:

Perdas são proporcionais à Pressão ^{N1}

O exponente N1 é determinado tendo em conta o nível de PR de base da ZMC. Assim, o exponente N1 pode ser calculado a partir da Equação 4.6 para baixas perdas de base ou através da Equação 4.7 para elevadas perdas de base (Lambert, 2015a).

$$N1 = 1,5 - (1 - \frac{0,65}{ILI}) * \frac{p}{100} \tag{4.6}$$

$$N1 = 1,5 - (1 - 0,667 * \frac{ICF}{ILI}) * \frac{p}{100} \tag{4.7}$$

nas quais,

ILI - Índice Infraestrutural de Perdas;

p - % de perdas detetáveis em condutas rígidas;

ICF - *Infrastructure Condition Factor*.

Consumo Autorizado Noturno

O consumo autorizado noturno (CAN) corresponde ao consumo de AF e ao CANF, medido ou estimado, no decorrer do período noturno entre as 2h e as 5h.

A componente referente ao CANF pode, por vezes, ser relevante, uma vez que pode ser utilizada água durante o período noturno para combate a incêndio, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, entre outros.

Relativamente ao CAF, esta parcela deve ser dividida em pelo menos três tipos de consumo (Methods et al., 2003):

- Consumo doméstico;
- Consumo não-doméstico, referente ao consumo dos estabelecimentos comerciais e de escolas, cujo consumo de água é, em regra, superior durante o período diurno;
- Consumos especiais, que podem variar desde industriais e agrícolas até hospitalares.

Deste modo, o CAN não apresenta um valor fixo, podendo variar de acordo com o local, a tipologia, a época do ano, as condições meteorológicas, a presença de reservatórios ou cisternas nos edifícios, a existência de rega nos espaços verdes, a existência de grandes clientes, as características dos consumidores (e.g. idade) e o dia da semana.

Para que se determine um valor correto do CAN, ou seja, para que se minimize o uso de estimativas, é necessário que existam contadores com telemetria, como os que se encontram na Figura 4.7.

Figura 4.7: Contadores com telemetria (AdPorto).

A telemetria permite a recolha de forma automática de dados relativos a consumos, caudais, pressões e parâmetros de qualidade, transferência e armazenamento e transposição desses dados para uma base de dados da EG. A EG pode aplicar a telemetria a três níveis:

- Sistema adutor e de transporte para medição da água importada/exportada, água fornecida ao tratamento, adução e distribuição;
- Áreas de influência de reservatórios;
- Grandes clientes e contadores totalizadores em edifícios;
- Consumidores individuais: Sistemas de Telemetria Domiciliária (STD).

Um STD é basicamente composto pelas seguintes unidades, ilustradas na Figura 4.8 (Loureiro et al., 2007):

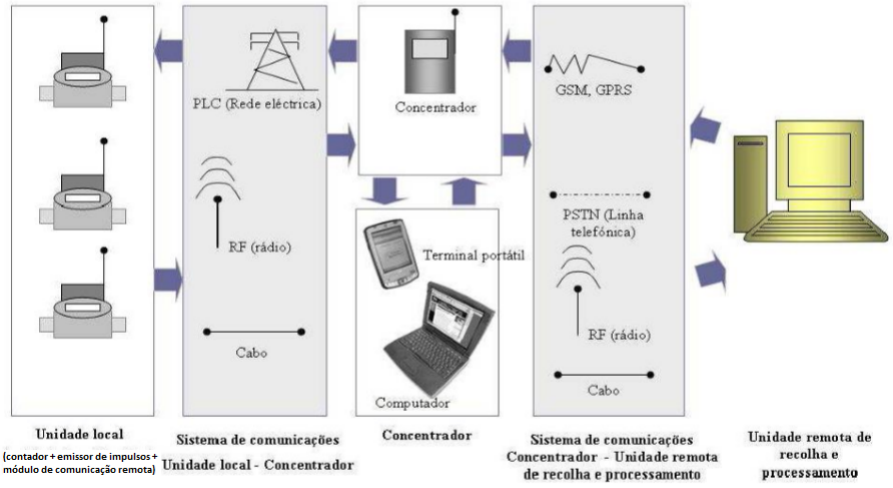

Figura 4.8: Componentes de um STD. (Loureiro et al., 2007).

- Uma unidade local, dedicada à leitura, registo e transmissão de dados, que é composta pelo contador-totalizador, pelo emissor de impulsos e pelo módulo de comunicação remota;
- Um concentrador, destinado a receber as leituras de um conjunto de contadores, armazená-las e a transmiti-las para a unidade remota de recolha e processamento de dados;
- Um sistema de comunicações, subdividido em duas partes: a primeira faz a comunicação entre a unidade local e o concentrador e a segunda efetua a

comunicação entre o concentrador e a unidade remota de recolha e processamento de dados, e pode utilizar múltiplas redes de comunicação;

- Uma unidade remota de recolha e processamento de dados de consumo, que pode estar integrada no sistema de faturação e de gestão de clientes da EG.

4.4.3 Estratégia de Redução de Perdas Reais

De uma forma sucinta, a gestão das PR assenta em quatro pilares fundamentais, evidenciados na Figura 4.9.

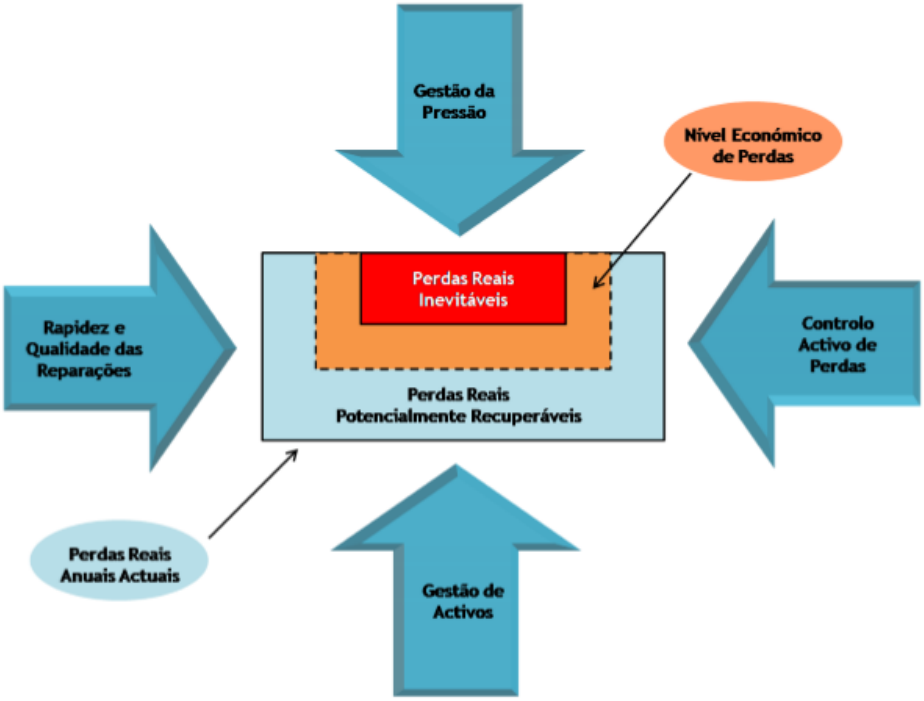

Figura 4.9: Estratégia para redução das PR (Martins, 2016).

As PR atuais (retângulo exterior), ou mencionadas CARL, tendem a aumentar na ausência de uma estratégia de redução, baseada nos quatro pilares – gestão da pressão, CAP, rapidez e qualidade das reparações e gestão de ativos – e à medida que a rede de distribuição vai envelhecendo. As PR inevitáveis (retângulo a vermelho), ou referidas UARL, são as perdas impossíveis de eliminar, uma vez que um SAA nunca é completamente estanque. As PR potencialmente recuperáveis (a azul) representam as perdas que podem ser eliminadas, de acordo com uma estratégia delineada para tal. O nível económico de perdas (a laranja), corresponde ao nível de PR para o qual o custo das atividades desenvolvidas para contro-

lar/ reduzir as perdas iguala o custo da água perdida. Esta relação encontra-se representada na Figura 4.10 (Farley, Wyeth et al., 2008).

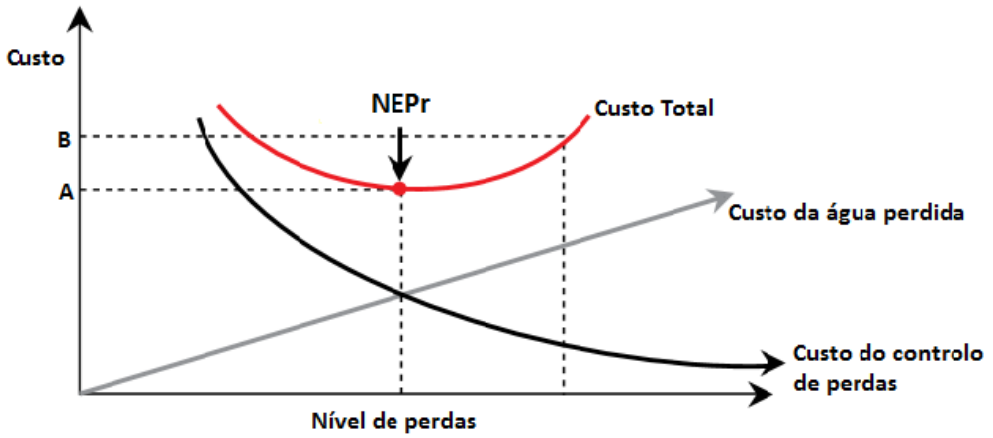

Figura 4.10: Identificação do nível económico das perdas (NEPr) (adaptado de (Farley, Wyeth et al., 2008)).

Analisando a Figura 4.10, verifica-se que a intersecção dos dois custos coincide com o mínimo custo total (custo A), NEPr. Se o custo de água perdida exceder o NEPr, o custo do controlo de perdas diminui, mas o custo total aumenta (custo B). O mesmo acontece de maneira similar para o processo inverso. Deste modo, as EG devem sempre tentar definir e operar de acordo com o NEPr (Farley, Wyeth et al., 2008).

Gestão da Pressão

A gestão da pressão é um dos elementos chave para a redução das PR num SAA. O excesso da pressão na rede de distribuição provoca uma maior frequência e dimensão das fugas e roturas, o que implica um maior volume de água perdida, maior consumo por parte dos consumidores, e uma diminuição da vida útil das infraestruturas e equipamentos, levando ao incremento dos custos de manutenção destes (Martins, 2014), (CESDA, 2014c).

De modo a avaliar a adequada gestão da pressão de um determinado sistema, as EG devem primeiro realizar uma série de tarefas, incluindo (Farley, Wyeth et al., 2008):

- Identificação de zonas potencialmente mais críticas, pontos de instalação de equipamentos, preocupações dos consumidores e pontos críticos do sistema;
- Identificação dos tipos de consumidor e limitações na gestão;

- Recolha de dados de medição relativos a caudais e pressões;
- Identificação de válvulas e outros equipamentos de controlo;
- Análise custo-benefício.

Existem vários métodos para reduzir a pressão num SAA, nomeadamente (CESDA, 2014c):

- Definição de área de gestão da pressão e instalação de VRP;
- Otimização do funcionamento das estações elevatórias com grupos eletrobomba a trabalhar em regime de variação de frequência (velocidade variável);
- Setorização: dividindo a rede em patamares de pressão em função das condições topográficas.

Qualquer destes métodos pode ser utilizado em separado ou em simultâneo e devem ter em conta o conceito de setorização da rede. A setorização da rede, ou divisão da rede em ZMC, é o primeiro passo essencial para o estabelecimento de uma estratégia de gestão de pressões (CESDA, 2014c).

De entre os métodos acima, o mais comum é a instalação de VRP. As VRP são instaladas em pontos estratégicos da rede para reduzir ou manter a pressão num determinado nível. Independentemente da pressão a montante da VRP ou das flutuações no caudal, esta mantém constante a pressão definida a jusante (Martins, 2014).

Na Figura 4.11 é possível observar-se os benefícios da gestão da pressão.

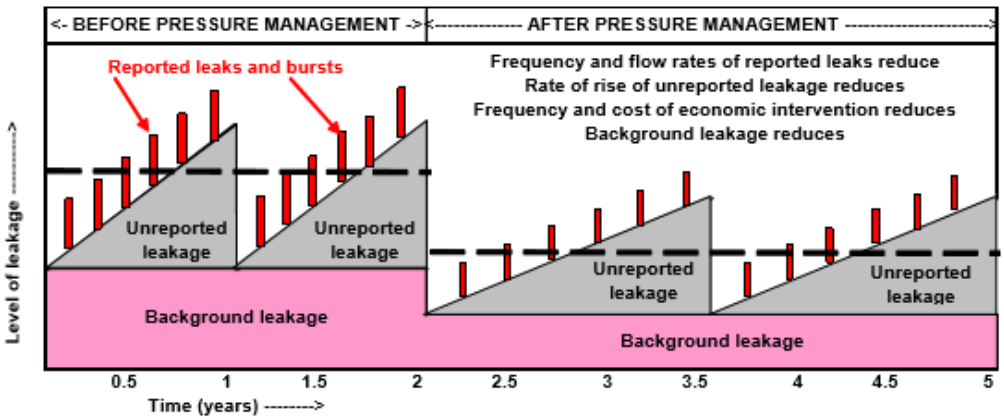

Figura 4.11: Influência da gestão da pressão na redução das PR (Fanner e Lambert, 2001).

Uma vez referida, torna-se importante explicitar sucintamente em que consiste a setorização da rede.

Setorização da Rede

A setorização da rede, como referido, consiste na divisão da rede em ZMC e é muito importante para a aplicação de métodos de gestão de PR. Uma vez que a aplicação das metodologias na rede que é complexa e pouco estruturada, é dispendiosa e consome muito tempo (CESDA, 2014d).

Para além da melhor gestão de pressões, algumas das vantagens para a EG da divisão da rede em ZMC são (Frauendorfer e Liemberger, 2010), (Farley, Wyeth et al., 2008):

- O volume da ANF pode ser calculado mensalmente;
- As PR e as PA podem ser quantificadas pela análise dos dados do caudal e da pressão;
- O volume de PR pode ser calculado através da abordagem *Bottom-Up*, sendo que para isso a ZMC tem que ser hidraulicamente isolada;
- As ações de deteção de fugas podem ser priorizadas;
- As novas roturas nas condutas podem ser imediatamente identificadas através da monitorização do CMN e, por isso, o tempo de deteção será reduzido de meses para dias (ou menos);
- Quando as fugas e roturas são reparadas, as EG podem aferir os consumos não autorizados da água e proceder à execução de medidas.

A ZMC define-se como uma área da rede de distribuição, com dimensão apropriada, na qual estão instalados medidores de caudal e, por vezes, VRP (para gestão da pressão) nas respetivas entradas e saídas. A linha de fronteira da ZMC é fisicamente definida por válvulas de seccionamento fechadas, designadas válvulas limite de ZMC (VZMC), no caso da existência de rede adjacente pertencer ao mesmo patamar altimétrico, e por válvulas limite de zona (VLZ), no caso da rede adjacente pertencer a outros patamares altimétricos ou subsistemas. Se não existir rede adjacente a ZMC designa-se "ZMC naturalmente fechada". Na Figura 4.12 encontra-se a representação esquemática da divisão da rede em ZMC (Sardinha et al., 2017).

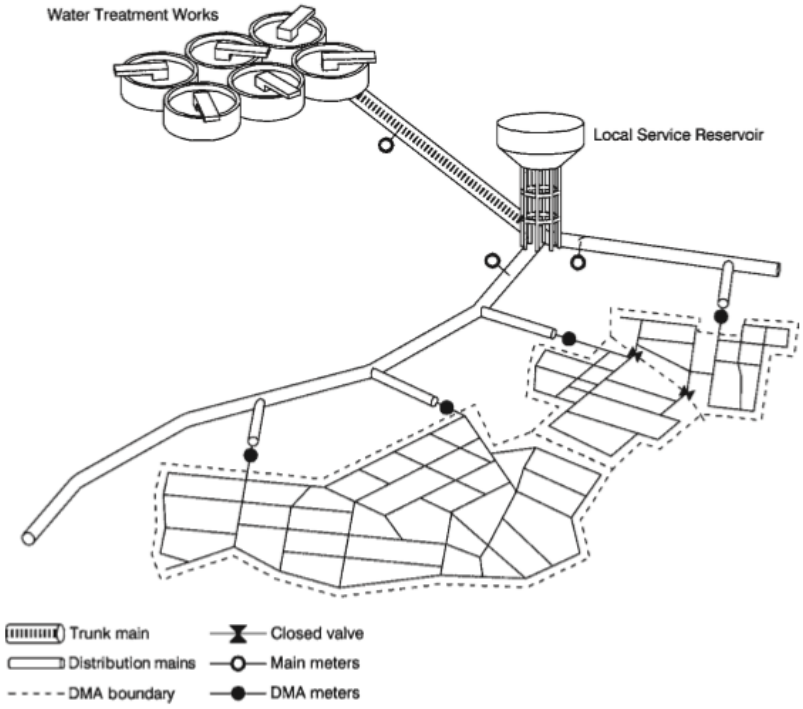

Figura 4.12: Representação esquemática da divisão da rede em ZMC (Martins, 2014).

Controlo Ativo de Perdas

O CAP é uma política adotada pelas EG que decidem procurar, de forma pró-ativa, fugas e roturas não visíveis. O CAP envolve ações programadas e sistemáticas de deteção de fugas não visíveis através de métodos acústicos e de pesquisa (Farley, Wyeth et al., 2008).

Para obter os melhores resultados na localização das perdas, através do CAP, é importante que exista (CESDA, 2014b):

- Cadastro de todas as tubagens e acessórios da rede de água (localização e características);
- Técnicos com formação e motivados;
- Setorização da rede (embora não seja imprescindível);
- Monitorização de caudais e pressões (embora não seja imprescindível);
- Registo de todas as intervenções ocorridas.

O CAP apresenta-se como uma abordagem ativa baseada numa atuação de inspeção regular ou, mesmo, pela monitorização contínua do comportamento do sistema, que permita a atuação de resolução numa fase inicial do problema. Esta abordagem ativa contrasta com a abordagem passiva que consiste na resolução de problemas efetivos e evidentes, tais como roturas reportadas ou a falta de capacidade de abastecimento de água.

Tendo sido abordada a monitorização de caudais, torna-se importante explicitar sucintamente do que se trata.

Monitorização de Caudais

Os valores do caudal e o modo como este varia ao longo do dia, de acordo com o modo de exploração da rede, permite uma melhor compreensão do funcionamento desta. A monitorização de caudais é realizada pelos contadores ou caudalímetros que se encontram em cada ZMC (Sardinha et al., 2017).

Ao nível da ZMC, a medição dos caudais noturnos é crucial para identificar o surgimento de novas fugas e a acumulação destas, de modo a que possam ser rapidamente localizadas e reparadas (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

Ao nível dos clientes, o consumo é a base para o controlo da performance do sistema e é medido através dos medidores de caudal ou contadores instalados nos ramais (Sardinha et al., 2017).

Importa referir que a medição do CMN da ZMC, a par com o CAN, é fundamental para que se possa efetuar uma correta quantificação do volume de PR, através da abordagem *Bottom-Up*.

Rapidez e Qualidade das Reparações

A rapidez e qualidade das reparações efetuadas sobre as fugas e roturas detetadas na rede permitem a diminuição do volume de perdas e a garantia de que este se mantém em níveis controlados (Sardinha et al., 2017).

As questões principais que têm de ser consideradas na formulação de uma política de reparação incluem (Farley, Wyeth et al., 2008):

- Organização e procedimentos eficientes desde o alerta inicial da fuga até à conclusão da reparação da mesma;
- Disponibilidade de equipamentos e de materiais;
- Fundo de financiamento suficiente;
- Materiais, equipamentos e mão-de-obra devidamente normalizados;

- Boa gestão das equipas de intervenção, que devem estar motivadas e empenhadas.

Gestão de Ativos

Uma eficiente gestão de ativos apresenta-se como uma necessidade para a gestão das perdas a longo-prazo, sendo que o objetivo é combatê-las da forma mais económica. Para isso, é necessário definir prioridades e decidir qual é a melhor maneira de agir: reparar, substituir, reabilitar ou manter as infraestruturas e equipamentos do SAA. Ao mesmo tempo, é necessário gerir a pressão e melhorar o programa de funcionamento e manutenção. Os fatores críticos para a gestão de ativos são (Farley, Wyeth et al., 2008):

- Compreender a performance dos ativos;

- Recolher corretamente os dados necessários para os transformar em informações úteis para o planeamento de ações;

- Deter sistemas de informação com qualidade.

O dilema da gestão de ativos consiste em optar pela melhor estratégia entre substituir ou reabilitar as condutas antigas. A correta manutenção da rede aumenta a vida útil das condutas mas, a dado momento, as roturas tornam-se demasiado frequentes para serem aceites pelos clientes e para se conseguir suportar os custos das deteções e reparações, levando a que a substituição ou a reabilitação seja inevitável, tal como é explicitado na Figura 4.13. A tomada de decisão requer um entendimento dos ativos e das suas taxas de deterioração e o registo das roturas que ocorrem na rede, aliado ao CAP, ajudará a identificar e priorizar as necessidades de intervenção (Farley, Wyeth et al., 2008), (Martins, 2014).

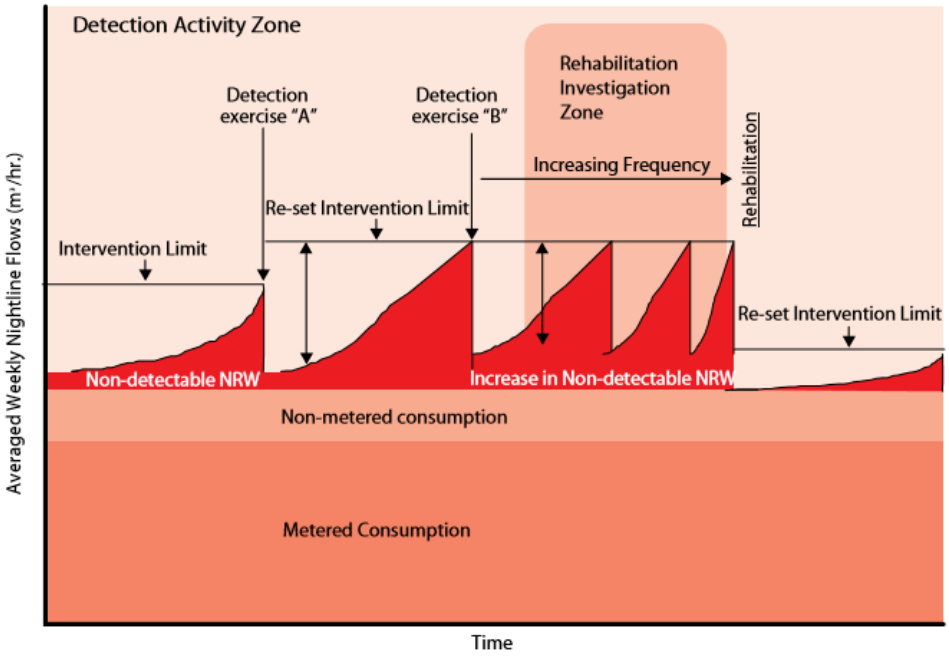

Figura 4.13: Passagem da deteção e reparação de fugas e roturas para a reabilitação ou substituição de condutas (Farley, Wyeth et al., 2008).

4.4.4 Métodos de Deteção e Localização das Perdas Reais

O processo de deteção e de localização das PR requer uma precisão razoável, de modo a evitar os custos de escavação desnecessários e os designados "buracos secos", isto é, escavações efetuadas por suspeita de fuga, que na realidade não existe (Farley, Wyeth et al., 2008).

Após a deteção da fuga ou rotura, através do sistema de monitorização do caudal e da pressão nas ZMC da rede, procede-se a uma primeira intervenção, que consiste na localização aproximada da perda. A segunda intervenção consiste na identificação exata do local da perda. Por fim, realiza-se a reparação da fuga ou rotura (Sardinha et al., 2017).

De acordo com a dimensão e as características da zona a investigar, nomeadamente pela garantia de existência de órgãos de seccionamento ou pontos de acesso às infraestruturas da rede, deve ser ajustada a aplicação dos seguintes métodos (Farley, Wyeth et al., 2008), (CESDA, 2014b):

- Métodos de deteção e localização aproximada das perdas reais:
  - Subzonamento, ou divisão interna da área da ZMC sem suspensão do abastecimento;
  - Teste de fecho sequencial com suspensão do abastecimento;

  - Mapeamento das pressões em linhas de abastecimento;

- Métodos de deteção e localização exata das perdas reais:

  - Sondagem acústica ou escuta tradicional – *loggers* acústicos, hastes de escuta e geofones;
  - Correlação acústica – correladores matemáticos do ruído da perda;
  - Injeção de gás traçador – detetores de hidrogénio ou hélio;
  - Ensaio de estanquidade aplicados a reservatórios e condutas com perfil longitudinal ascendente;
  - Inspeção por câmara de vídeo;
  - Observação direta ou escavação do terreno.

Métodos de Deteção e Localização Aproximada das Perdas Reais

Subzonamento da ZMC

Este método aplica-se quando é identificado um consumo excessivo na ZMC. Consiste na abertura de válvulas fronteira da ZMC em análise e fecho de algumas válvulas internas, o que origina uma alteração na configuração da ZMC em estudo, implicando a consequente "transferência" de subzonas para ZMC adjacentes. Deste modo, é possível observar-se o decaimento do caudal na ZMC em causa e o seu aumento nas ZMC adjacentes (se nestas existirem instrumentos de medição). No final do ensaio, através da análise do impacto das manobras realizadas às válvulas fronteira e internas da ZMC e da correlação desta informação com os caudais registados nos diferentes pontos de monitorização existentes, será possível identificar a zona mais crítica ao nível das perdas (Sardinha et al., 2017).

Na Figura 4.14 ilustra-se este processo de subzonamento.

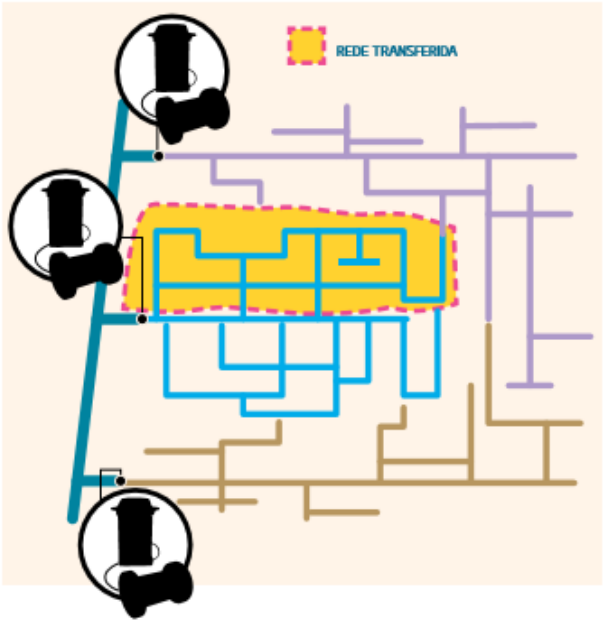

Figura 4.14: Processo de subzonamento de ZMC (Sardinha et al., 2017).

Este tipo de ensaio pode ser realizado em apenas algumas horas ou ao longo de vários dias. No primeiro caso, a variação do caudal é verificada através da observação direta do contador. No segundo caso, dada a extensão do ensaio, é indispensável a utilização de um equipamento de monitorização, por exemplo, um *data logger* (Sardinha et al., 2017).

Teste de Fecho Sequencial

O teste de fecho sequencial ou *step testing* consiste no fecho sequencial de válvulas de seccionamento, com consequente suspensão do abastecimento de água, e no respetivo registo de alteração do caudal verificado relativamente a uma situação normal de funcionamento de uma ZMC (Sardinha et al., 2017), (CESDA, 2014b).

O esquema deste processo encontra-se apresentado na Figura 4.15.

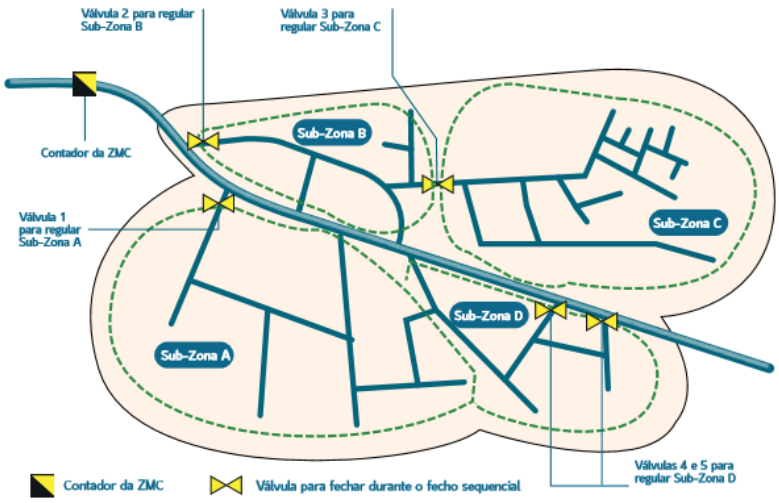

Figura 4.15: Processo de teste de fecho sequencial (Sardinha et al., 2017).

A redução significativa do caudal monitorizado durante uma manobra indica a presença de uma ou mais fugas na subzona excluída ou da existência de um consumo desconhecido (Morrison et al., 2007).

Esta metodologia deve ser realizada durante o período noturno entre a 1h e as 5h. É neste período que o consumo é mínimo e não se verificam flutuações acentuadas no mesmo, levando à realização de um *step testing* mais preciso. Além disso, neste período o impacto da suspensão do abastecimento é menor, vertendo em prol dos clientes tendo em conta o impacto dos trabalhos no serviço disponibilizados (Sardinha et al., 2017), (Morrison et al., 2007), (Hamilton e McKenzie, 2014).

O teste de fecho sequencial é particularmente indicado para identificar áreas com elevado valor de fugas e roturas, bem como detetar as mesmas em condutas de plástico, nas quais o ruído provocado pela perda é absorvido e portanto, os métodos acústicos convencionais são menos eficientes (Hamilton e McKenzie, 2014).

No entanto, existem alguns aspetos críticos que podem dificultar ou impedir a aplicação desta metodologia que convêm evidenciar (Sardinha et al., 2017):

- Exige a estanquidade das válvulas de seccionamento a manobrar, o que implica a realização de Testes de Pressão Zero (TPZ) (explicitados mais à frente) em cada subzona a criar;

- Pode implicar o envio de avisos prévios aos clientes afetados com a suspensão do abastecimento, por imposição legal por parte da legislação em vigor (DL 194/2009, de 20 de agosto);

- Pode criar um sentimento de insegurança nas equipas técnicas da EG, pois a operação de despressurizar e voltar a pressurizar a infraestrutura pode causar roturas na rede de distribuição, concretizando-se posteriormente na prática;
- Pode provocar alterações na qualidade da água ou mesmo obstrução das redes prediais (obstrução de contadores residenciais), pois a reposição do abastecimento nas subzonas suspensas aumenta a velocidade de escoamento, arrastando partículas depositadas no interior das tubagens.

Para além destes aspetos críticos, existem fatores que impossibilitam a realização do *step testing* em algumas ZMC, que são (WSUP, 2017):

- Inexistência de válvulas adequadas e de equipamento de medição fiável e capaz na rede;
- Tamanho da ZMC inapropriado (normalmente, com menos de 500 ramais ou com mais do que 2 000 ramais).

Para se realizar este método, bem como para otimizar os resultados obtidos, é recomendável que se proceda da seguinte forma (Sardinha et al., 2017), (Morrison et al., 2007), (Boulos e Aboujaoude, 2011):

- Para definir e caracterizar a área de teste de fecho sequencial é necessário determinar:
  - O número de propriedades da área;
  - O número de clientes com contador com consumo noturno de água;
  - O número de clientes não domésticos sem contador, registando eventuais clientes com consumo noturno (e.g. hospitais, hotéis, residências);
  - O estado das válvulas a ser operadas durante o teste e se estas não forem adequadas proceder à sua substituição.
- Elaborar um plano da área do teste de fecho sequencial com a indicação de:
  - Nomes das ruas e traçado das condutas;
  - Válvulas limite (fechadas para isolar a área da ZMC);
  - Válvulas circundantes (fechadas para remover olhais, para criar uma árvore de rede de derivação);
  - Válvulas sequenciais (operadas durante o teste de fecho sequencial);
  - Todas as restantes válvulas não usadas durante o teste, para evitar abri-las por engano;

  - Posições e detalhes de clientes comerciais com uma estimativa do seu consumo noturno (para ajudar na análise posterior dos dados do teste);
  - Número de válvulas, posição (fechada ou aberta) e direção de fecho.

- Preparação para o teste:

  - Implementar um programa de descargas para redução de problemas da qualidade da água;
  - Fechar, durante o dia, as válvulas que não interrompem o abastecimento aos clientes;
  - Fechar as restantes válvulas à noite antes de começar o teste;
  - Fazer a leitura inicial do caudal noturno;
  - Iniciar o teste das subzonas mais afastadas para as subzonas mais próximas do medidor de caudal;
  - Entre cada fecho, deixar passar algum tempo (de 10 a 30 minutos) para que o caudal estabilize;
  - Sempre que possível, desligar grandes clientes noturnos ou instalações com depósitos com reabastecimento durante a noite;
  - Ler os contadores dos utilizadores que não possam ser desligados, subtrair o respetivo valor do caudal noturno e se for viável, instalar manómetros;
  - Verificar se o fornecimento não é interrompido para os clientes em risco e para os clientes com necessidades especiais.

Teste de Pressão Zero

Para se efetuar um *step testing* é necessário assegurar que as subzonas criadas estão bem isoladas através da realização de um TPZ. Este teste permite garantir o fecho efetivo das válvulas das subzonas criadas (Sardinha et al., 2017).

O procedimento típico de um TPZ consiste no seguinte (Morrison et al., 2007), (Farley, 2001):

1. Indicação das válvulas da subzona a analisar;
2. Instalação de instrumento de leitura de pressão (p.e. manómetro) no interior da subzona, normalmente num elemento acessório da rede, como um hidrante;
3. Suspensão do abastecimento na subzona em estudo;
4. Análise do comportamento da pressão:

- se a pressão descer para um valor próximo de zero num intervalo de tempo curto (no máximo 10 minutos), então confirma-se que as válvulas fronteira da subzona criada encontram-se bem fechadas. Se, ao fim de 10 minutos, a pressão não diminuir deverá ser realizado um segundo teste através da simulação de um consumo (p.e. abrir um hidrante dentro da subzona) de modo a induzir algum caudal, o que deverá baixar a pressão até zero. Caso não hajam ligações desconhecidas, quando o hidrante é fechado, o valor da pressão deverá manter-se baixo.

- se o teste não for bem-sucedido, ou seja, se o valor da pressão continuar a aumentar, é provável que a subzona não esteja corretamente isolada. Nesse caso, é necessário proceder-se a uma verificação da estanquidade das válvulas da subzona. Se forem encontradas válvulas defeituosas, estas devem ser reparadas ou substituídas e o TPZ deverá ser repetido;

5. Conclusão do TPZ, através da abertura da válvula de abastecimento e monitorização da pressão de modo a assegurar a restituição do abastecimento.

Mapeamento das pressões em linhas de abastecimento

Este método é aplicado quando se identifica um consumo excessivo na ZMC que implique um aumento significativo das velocidades de escoamento. Consiste na instalação de equipamentos de monitorização da pressão, sincronizados entre si, de modo a permitir a realização de uma análise comparativa entre registos (Sardinha et al., 2017).

Quanto maior for a velocidade de escoamento imposta pelos consumos excessivos, mais fiável é este método, pois as perdas de carga são diretamente influenciadas pela velocidade, o que torna difícil a sua aplicação em ZMC muito malhadas, dado existir uma grande distribuição do escoamento, com influência direta ao nível das velocidades. Para minimizar esta situação, pode ser considerada a manobra de fecho de válvulas no interior da ZMC, assegurando assim um escoamento mais ramificado (Sardinha et al., 2017).

A análise dos resultados deste método engloba a verificação dos perfis de cotas piezométricas (cota de terreno acrescida da pressão em cada instante) de cada ponto de monitorização instalado e a comparação sistemática dos valores apurados em cada um deles. Quando o decaimento de cotas piezométricas entre dois pontos sucessivos for relevante, é expectável que o consumo excessivo esteja localizado na área da rede existente entre eles, como se verifica na Figura 4.16. Se não houver alterações aos perfis de cota piezométrica entre dois pontos sucessivos, a zona em questão não deverá vir a ser considerada como crítica (Sardinha et al., 2017).

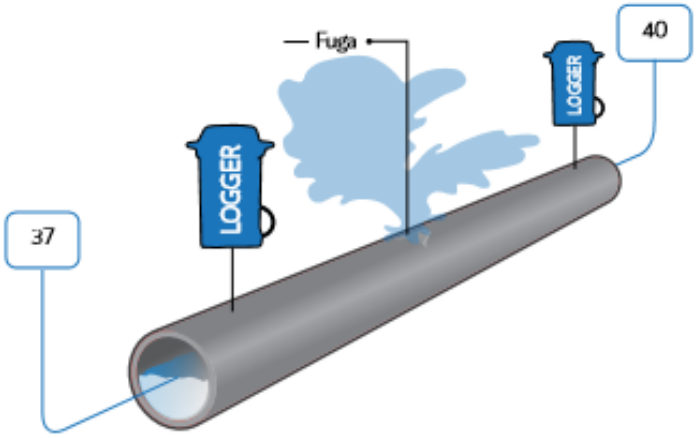

Figura 4.16: Representação do mapeamento de pressões (Sardinha et al., 2017).

Métodos de Deteção e Localização Exata das Perdas Reais

Os métodos mais utilizados na deteção e localização exata das PR são os acústicos, devido ao seu baixo custo e à rapidez e flexibilidade da sua aplicação. Estes métodos consistem em ouvir o ruído que a água provoca ao passar pelo orifício da fuga ou rotura na conduta sob pressão (Farley, Wyeth et al., 2008), (CESDA, 2014b).

Contudo, a eficácia dos métodos acústicos é condicionada pela pressão do sistema, pelo tamanho e forma do orifício da perda, pelo material da conduta e pela ausência dos pontos de acesso. Para ultrapassar estes condicionalismos, têm vindo a ser aplicados outros métodos de localização, tais como a injeção de um gás traçador ou a inspeção acústica no interior das tubagens (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

De seguida encontram-se explicitados cada um dos métodos de localização exata de fugas.

Sondagem acústica ou escuta tradicional

A aplicação das técnicas de sondagem acústica deve seguir uma metodologia de aproximação sucessiva à origem do ruído permanente provocado por uma fuga, com utilização de equipamentos específicos, nomeadamente *loggers* acústicos, haste de escuta ou geofone (Sardinha et al., 2017).

A sondagem acústica pode realizar-se de forma direta ou indireta. A forma direta consiste em sondar os pontos de fácil acesso da tubagem – válvulas de seccionamento, bocas-de-incêndio e bocas-de-rega. A posição da fuga corresponde ao local onde o ruído é captado com maior intensidade. A sondagem indireta é

análoga à direta, no entanto a escuta é efetuada à superfície do solo, por cima da conduta, quando as características do terreno o permitam. A forma indireta é mais limitada uma vez que, muitas vezes, desconhece-se a localização da conduta, ou existem outras condutas na proximidade. Ambos os tipos de sondagem apresentam condicionantes relacionadas com a interferência sonora com outros ruídos de fundo, o facto de a fuga emitir ruído pouco intenso e a falta de experiência do técnico inspetor (CESDA, 2014b).

Uma das principais vantagens da utilização deste método é a possibilidade de execução de trabalhos sem a necessidade de suspensão do abastecimento. Aliás, a existência de abastecimento com uma pressão mínima admissível é preponderante para a deteção de ruídos de fugas (Sardinha et al., 2017).

Entre os equipamentos de sondagem acústica mais utilizados é possível destacar:

- *Logger* acústico

  Um *logger* acústico é uma unidade compacta constituída por um sensor acústico (acelerómetro) e por um *data logger* programável, o qual dispõe de um magneto para assegurar o contacto entre o sensor e um ponto metálico, normalmente válvulas, hidrantes ou a própria conduta. A sua dimensão e configuração permitem que este tipo de equipamento possa ser instalado em espaços bastantes reduzidos, para viabilizar a utilização de todos os pontos de contacto disponíveis na rede de abastecimento de água (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

  Na Figura 4.17 é possível observar-se um conjunto de *loggers* acústicos.

Figura 4.17: *Loggers* acústicos (AdPorto).

Os *loggers* apresentam a vantagem de poderem ser programados e instalados durante o dia, para que possam monitorizar ruídos de fuga durante o período noturno, normalmente entre as 2h e as 4h, quando existem menos interferências de ruído ambiente e o consumo é mínimo. No dia seguinte, os dados podem ser recolhidos e analisados no terreno ou em gabinete (Sardinha et al., 2017).

Um conjunto de *loggers*, usualmente 6, 12 ou 18, permitem a análise de grandes áreas devido ao seu raio de atuação, com pouco esforço e a eficaz inspeção de zonas onde possam existir ruídos ambiente durante o dia, provocados pelo tráfego automóvel ou pela grande movimentação de pessoas. Este tipo de equipamento permite, ainda, que zonas problemáticas de intervenção em horário noturno possam ser inspecionadas ao nível da deteção de fugas, sem que isso coloque em causa a segurança e integridade dos operadores. Contudo, quase sempre existe a necessidade de confirmação das eventuais fugas através de outros equipamentos de modo a limitar a escavação do terreno (Farley, Wyeth et al., 2008), (Sardinha et al., 2017), (CESDA, 2014b).

Para a planificação dos locais de instalação dos *loggers* devem ser considerados dois aspetos importantes: o material das condutas e a pressão de serviço, uma vez que a propagação do ruído é muito dependente desses fatores. A distância de deposição entre unidades poderá ir até aos 200 metros, se os mesmos forem instalados em tubagens metálicas com uma pressão de serviço elevada, reduzindo para distâncias inferiores a 80 metros se estes forem colocados em condutas plásticas, tal como PEAD e PVC. Na generalidade dos equipamentos existentes no mercado, a pressão mínima admissível à sua utilização é de cerca de 1,5 bar, independentemente do material da tubagem (Sardinha et al., 2017).

- Haste de escuta e Geofone

  Quando a área de pesquisa da perda é reduzida, procede-se à aplicação de técnicas de aproximação ao local exato da fuga, com um erro de aproximadamente 1 m, no sentido de se reduzir o esforço e investimento associado à escavação ou pesquisa no solo (Sardinha et al., 2017).

  Assim, são utilizadas hastes de escuta ou geofones para captar as vibrações na tubagem e no solo provocadas pelo escape de água em pressão. Estas vibrações são frequentemente auscultadas à superfície do solo na gama de frequências de 200 a 600 Hz, e quando diretamente na rede de distribuição entre os 600 e 2 000 Hz (Sardinha et al., 2017).

  Na sondagem acústica direta procede-se à utilização da haste de escuta. Esta consiste numa vareta económica e simples de metal com um sinal eletroacústico amplificado.

Na Figura 4.18 apresenta-se um exemplo de sondagem acústica com utilização de haste de escuta.

Figura 4.18: Sondagem acústica (AdPorto).

Na sondagem indireta é utilizado um geofone. Este equipamento é dotado de um amplificador e filtro de ruído, de modo a estar protegido do ruído do tráfego automóvel e do vento (CESDA, 2014b), (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

Na Figura 4.19 é possível observar-se a ilustração da utilização de um geofone.

Figura 4.19: Utilização de um geofone (AdPorto).

Correlação acústica

Ao invés de localizar a perda com base no nível de ruído, o correlador acústico procede à escuta em dois, ou mais, pontos diferentes da tubagem enterrada e determina, por correlação cruzada da diferença de tempo na chegada de duas frequências iguais e com base na velocidade de propagação do som na conduta, a distância a uma das extremidades a que se encontra a fonte de ruído (que normalmente coincide com a fuga). O cálculo da localização da fuga é conseguido através da Equação 4.8 (Sardinha et al., 2017), (CESDA, 2014b).

$$d1 = \frac{L - (v * \Delta t)}{2} \tag{4.8}$$

sendo que,

d1 – distância da fuga ao sensor 1;
L – distância entre sensores;
v – velocidade de propagação do ruído no material e diâmetro da conduta;

Δt – atraso na receção do ruído entre os sensores.

Na Figura 4.20 encontra-se um conjunto de correladores acústicos, bem como a transferência dos dados obtidos por estes para um computador.

Figura 4.20: Correladores acústicos e transferência dos resultados por estes obtidos para um computador (AdPorto).

A eficácia deste método deriva da velocidade de propagação do ruído, a qual depende das características do fluido, do tipo de material da conduta e da intensidade do ruído produzido pela fuga. Para além disso, a correlação acústica requer pontos de escuta como acessórios metálicos e/ou hidrantes (Farley, Wyeth et al., 2008), (CESDA, 2014b).

Nos casos de a distância entre os sensores não permitir a escuta simultânea do mesmo ruído, o tipo de material das condutas ser plástico ou não existirem órgãos para a instalação dos sensores, utilizam-se sensores hidrofónicos, ou seja, instalados diretamente em contato com a água. Estes sensores hidrofónicos apresentam um maior alcance na receção do ruído (Sardinha et al., 2017), (Farley, Wyeth et al., 2008).

Antes de se realizar uma inspeção de correlação, deve ser elaborado um programa de deteção de fugas, incluindo uma planta do local de aplicação com a indicação de todas as válvulas e hidrantes a utilizar na inspeção - que devem estar numerados e ordenados no plano, bem como um quadro com a indicação da extensão total das condutas e a distância estimada entre os pontos de teste (Sardinha et al., 2017).

Injeção de Gás Traçador

Este método é por vezes realizado quando a perda não produz ruído suficiente para ser detetada acusticamente, nomeadamente devido à pressão reduzida ou a materiais plásticos de fraca propagação de ruído (Sardinha et al., 2017), (CESDA, 2014b).

A injeção de gás traçador requer a suspensão do troço de conduta sob suspeita de rotura, bem como de todos os ramais anexos. O gás traçador é injetado no troço a ensaiar através de um hidrante ou boca-de-rega, com pressão suficiente para assegurar a sua libertação pelo orifício de fuga, sendo detetado à superfície. Os gases traçadores mais utilizados para aplicação a condutas de água para consumo humano são o hélio ou uma mistura de hidrogénio e azoto (Sardinha et al., 2017).

Para a concretização deste método, importa assegurar que existe disponibilidade de um volume de gás suficiente para preencher a extensão total da rede e que as condições atmosféricas são adequadas, uma vez que a presença de ventos pode conduzir a uma localização errada da perda. Contudo, a injeção de gás traçador é um método ainda pouco utilizado (Sardinha et al., 2017), (CESDA, 2014b).

Ensaio de Estanquidade

Este método é aplicado na deteção de fugas em reservatórios e em condutas com perfil longitudinal ascendente (Sardinha et al., 2017).

Neste último caso, o ensaio de estanquidade começa com a instalação de um registador de pressão no ponto de cota altimétrica mais baixa, depois segue-se com a suspensão de todas as ligações existentes no percurso e, finalmente, o fecho da entrada de água. No final deste procedimento, observa-se a queda da coluna de água até à cota altimétrica do ponto da fuga. Conhecendo-se a altimetria do traçado da conduta, será possível identificar o local da fuga. A precisão da localização depende do grau de precisão do equipamento registador de pressão (Sardinha et al., 2017).

Na Figura 4.21 encontra-se a imagem de um reservatório, no qual se pode aplicar o ensaio de estanquidade, realizando uma medição prévia do nível da água nas colunas do mesmo.

Figura 4.21: Reservatório onde se pode aplicar o ensaio de estanquidade (AdPorto).

Inspeção por câmara de vídeo

A inspeção por câmara de vídeo consiste na introdução de uma câmara de vídeo, através de uma abertura, na conduta, na qual o abastecimento de água foi previamente interrompido. A câmara de vídeo é controlada remotamente e permite que se observem os pontos de fuga presentes na conduta (CESDA, 2014b).

Para a realização deste método é necessário um investimento significativo em equipamento e pessoal técnico especializado e, muitas vezes, não é conclusivo, uma vez que pequenas fugas não são facilmente detetadas, além de que as curvas e pontos de convergência podem ser de difícil observação (CESDA, 2014b).

Observação direta ou escavação do terreno

A observação direta é o método mais simples de detetar fugas e normalmente é efetuado pelos moradores, os quais informam as EG. Consiste na observação direta do local de implantação das condutas de escorrência irregular de água, de nascimento de vegetação ou musgo, de humidade anormal no solo, ou mesmo na audição de ruído de uma fuga sem qualquer tipo de equipamento (CESDA, 2014b). Na Figura 4.22 encontra-se um exemplo de deteção de fuga por observação direta.

Figura 4.22: Observação direta (AdPorto).

Quanto à escavação do terreno, esta realiza-se por troços ou por divisão da tubagem em dois troços iguais, na qual se identificou uma provável fuga. É um método de recurso, apenas utilizado em situações excecionais, devido aos meios necessários para efetuar a escavação e aos custos associados (CESDA, 2014b).

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 5

Redução de Perdas de Água no Sistema de Abastecimento de Água do Porto

5.1 Águas do Porto, E.M.

5.1.1 Contextualização Histórica

Data de 1392 o registo histórico mais remoto que revela o facto de há mais de seis séculos o Porto já possuir fontes e chafarizes para uso público. No entanto, estes não apresentavam quaisquer condições de higiene (AdPorto, 2017).

Com o agravar da situação, no reinado de D. Filipe I, em 1607, iniciou-se o encanamento do Jardim da Praça 9 de Abril, denominado comumente por Jardim da Arca d'Água. Deste modo, permitiu-se o transporte da água até à cidade, alimentando várias fontes ao longo do seu percurso. Contudo, com o decorrer dos anos, as obstruções e as fugas obrigavam a sucessivas reparações, o que afetava negativamente o abastecimento de água à população (AdPorto, 2017).

A maioria da população recorria às fontes públicas, enquanto que os mais abastados estabeleciam contratos com os "aguadeiros", os quais vendiam água "avulso" ou "por assinatura". De qualquer das formas, existiam os graves problemas da contaminação das águas e das doenças transmitidas. Estes problemas associados à evolução dos cuidados com a saúde e às exigências quanto à qualidade de vida impunham uma transformação radical no sistema (AdPorto, 2017).

A partir de 1855, surgem várias companhias candidatas ao projeto e execução de obras de captação, elevação, transporte e distribuição domiciliária de água. Todavia, só a 22 de março de 1882 foi assinado o contrato com a *Compagnie Générale des Eaux pour l'Étranger*, o qual é aprovado por Carta de Lei, em 27 de julho do mesmo ano. Por este documento, é dada à Cidade do Porto a água dos Rios Sousa e Ferreira para seu uso exclusivo. Foram construídos a Central do Sousa e alguns reservatórios e assentes mais de 70 km de tubagens. Os traba-

lhos ficaram concluídos em 1886, ficando em 1 de janeiro de 1887 o abastecimento regularizado (AdPorto, 2017).

O contrato com a *Compagnie Générale* era válido por 99 anos (prazo máximo admitido por Lei). No entanto, mostrando-se o sistema extremamente vulnerável em regime de cheias e estando o serviço prestado pela empresa a degradar-se, a Câmara Municipal do Porto (CMP) resgatou a concessão em 28 de março de 1927. No mesmo ano, em 1 de abril, criou os Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto (SMAS do Porto) (AdPorto, 2017).

Os SMAS começaram por beneficiar a Central do Sousa e construir a Central de Nova Sintra (1929). Em 1934, por decreto-lei, viram-se na obrigação de abastecer os concelhos de Gondomar, Gaia e Matosinhos. Como reforço à captação do Sousa, procederam às aberturas de poços no areal de Zebreiros (rio Douro), estando em 1938 oito em funcionamento (AdPorto, 2017).

Na década de 70, com a construção da barragem de Crestuma, por intrusão de água do mar, graves problemas surgiram nas captações de Zebreiros face ao aumento do teor de cloretos. Foi decidido construir novas captações no subleito do Douro, a montante da barragem na zona de Lever. Em 1985, entrava em funcionamento a Central Elevatória de Lever, desativando-se a centenária Central do Sousa e as captações de Zebreiros (AdPorto, 2017).

A captação e o tratamento de água necessitavam de grandes investimentos. Por isso, constituiu-se uma empresa de capitais públicos – Águas do Douro e Paiva (AdDP) – que a partir de janeiro de 1998 passou a garantir a exploração do sistema em alta (captação, tratamento e adução de água) à Área Metropolitana do Porto, passando os SMAS a garantir apenas distribuição em baixa de água na cidade (AdPorto, 2017).

Os SMAS apresentavam-se pouco eficientes, tanto a nível operacional como financeiro. Desta forma, num contexto de reestruturação e reorganização da empresa, em outubro de 2006, os SMAS foram substituídos pela empresa AdPorto, a qual, nessa altura, ficou encarregada pela gestão de uma rede de abastecimento com cerca de 120 anos e com uma extensão de 740 km de rede de distribuição que abastecia cerca de 153 000 clientes. A AdPorto é uma empresa municipal cujo capital social é detido, na sua totalidade, pela CMP. Atualmente, a AdPorto está estruturada de acordo com o organograma apresentado na Figura 5.1 (AdPorto, 2017).

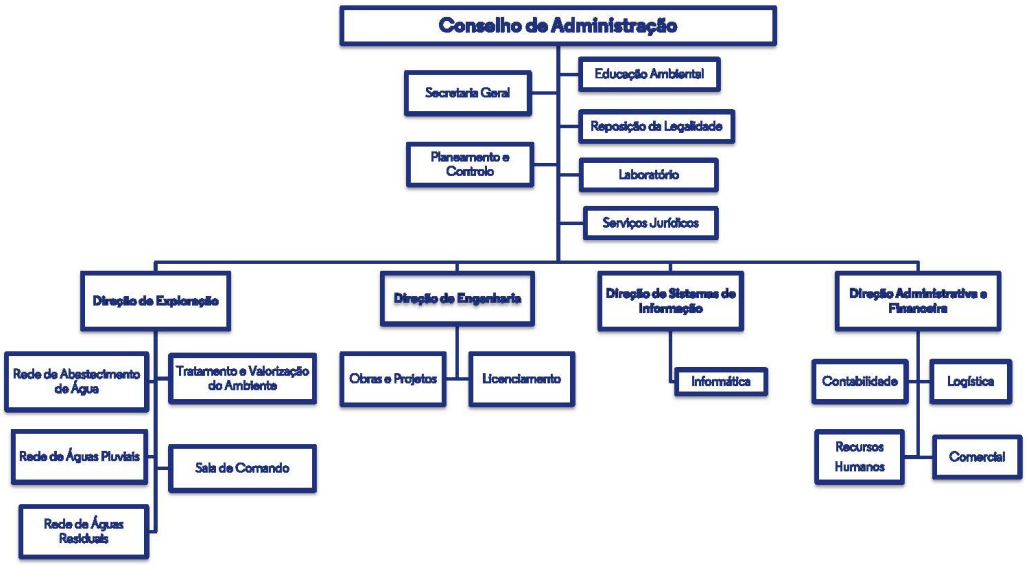

Figura 5.1: Organograma da AdPorto.

O objeto social da AdPorto corresponde à gestão integrada e sustentável de todo o ciclo urbano da água no Município do Porto, englobando as seguintes atividades (AdPorto, 2015):

- Distribuição de água;
- Drenagem e tratamento de águas residuais;
- Drenagem de águas pluviais;
- Reabilitação e renaturalização de rios e ribeiras urbanas;
- Melhoria das áreas e águas balneares;
- Promoção da educação ambiental e da participação pública.

5.1.2 Sistema de Abastecimento de Água do Porto

Atualmente a AdPorto, é responsável pelo abastecimento de água a 153 821 clientes, um equivalente populacional de 370 000 habitantes. Diariamente são fornecidos, em média, 46 428 m^3 de água aos portuenses (AdPorto, 2016).

A componente do sistema em alta é da responsabilidade da empresa AdDP, cujo sistema adutor se desenvolve desde as captações de Lever I – Gaia, Lever II – Porto e ETA de Lever até aos reservatórios multimunicipais de Jovim e de Ramalde. A partir destes, o abastecimento realiza-se através de dois eixos adutores da responsabilidade da AdDP: um a norte através da Estrada da Circunvalação (42% do consumo total) e outro a sul que abastece o reservatório de Nova Sintra (58% do consumo total) (AdPorto, 2016).

A água é fornecida à AdPorto através de 12 PE, os quais se encontram distribuídos pelos eixos adutores. A partir dos PE, a água é encaminhada para seis

reservatórios municipais (Bonfim, Carvalhido, Congregados, Nova Sintra, Pasteleira e Santo Isidro) e, de forma direta, para a rede de distribuição ao longo do eixo adutor da Estrada da Circunvalação. Os seis reservatórios do sistema em baixa constituem uma capacidade máxima de armazenamento de 125 450 m^3, que corresponde a uma reserva média superior a 2 dias de consumo (AdPorto, 2016).

Graças ao Projeto "Porto Gravítico", a água é distribuída de forma gravítica a praticamente toda a cidade (aproximadamente 96%), à exceção da zona de cota mais elevada da cidade, designada ZMC Congregados Superior (com cerca de 9 000 clientes). Nesta ZMC, o abastecimento de forma gravítica não é possível devido à topografia e à adução em alta. A distribuição gravítica de água, ou seja, sem necessidade de recurso a estações elevatórias, confere maior fiabilidade no sistema e diminui os gastos da empresa (AdPorto, 2015).

Na Figura 5.2 é possível observar o SAA do Porto.

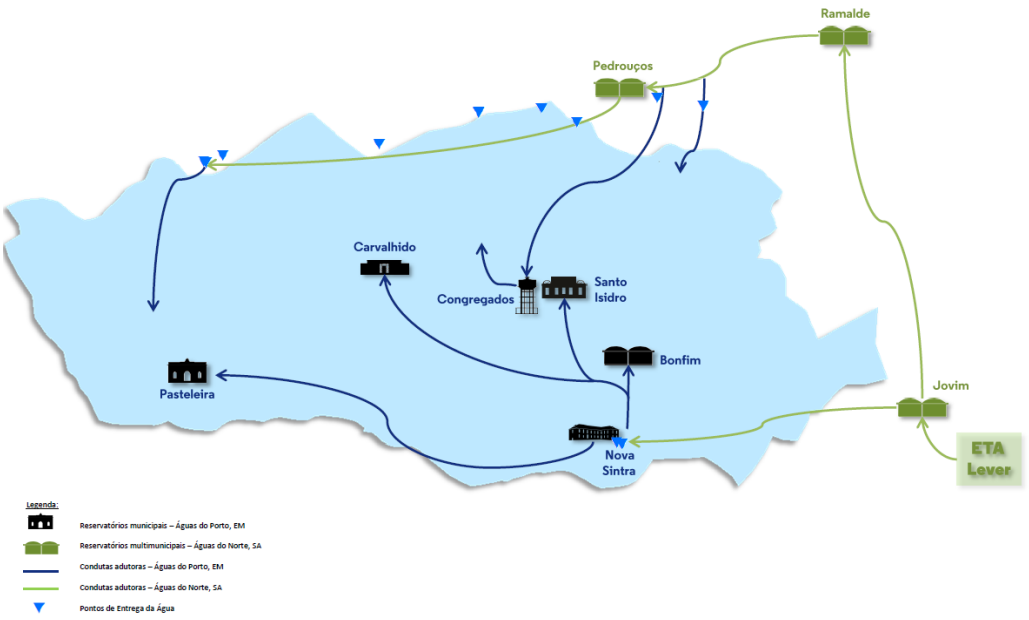

Figura 5.2: Sistema de Abastecimento de Água do Porto (AdPorto, 2016).

A rede de abastecimento de água tem uma extensão total de 799 km, correspondendo 42 km a condutas adutoras e os restantes 757 km a condutas distribuidoras, com diâmetros que oscilam até aos 800 mm, e possui 67 597 ramais (AdPorto, 2016).

Atualmente, o sistema possui 51 ZMC, 18 que correspondem a zonas de abastecimento principais e as restantes 33 a sub-ZMC interiores de menores dimensões, tal como se pode observar nas Figuras 5.3 e 5.4, respetivamente. Todas as ZMC possuem equipamentos de monitorização e controlo digital, em tempo real, do

caudal e da pressão nos pontos de entrega e nos respetivos reservatórios (entradas e saídas) (AdPorto, 2016).

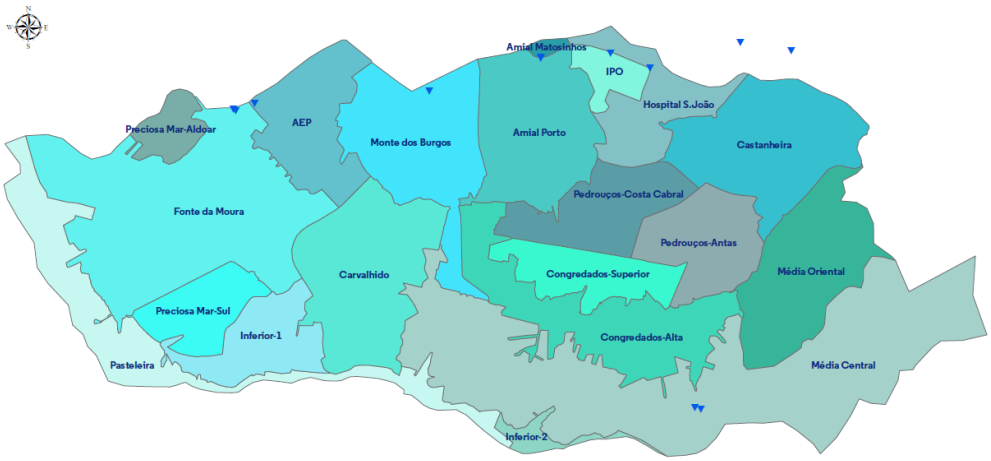

Figura 5.3: ZMC do SAA do Porto (AdPorto, 2015).

Figura 5.4: Sub-ZMC do SAA do Porto (AdPorto, 2015).

Em 2016, a AES contabilizou um total de 20 820 536 m^3 e o volume de AF foi de 16 947 151 m^3. A diferença entre as duas, isto é, a ANF apresenta um volume total de 3 873 385 m^3, ou seja, a ANF equivale a 18,6% da AES à data (AdPorto, 2016).

Na Figura 5.5 apresenta-se a representação gráfica da evolução da AES, AF e ANF desde 2006 até 2016.

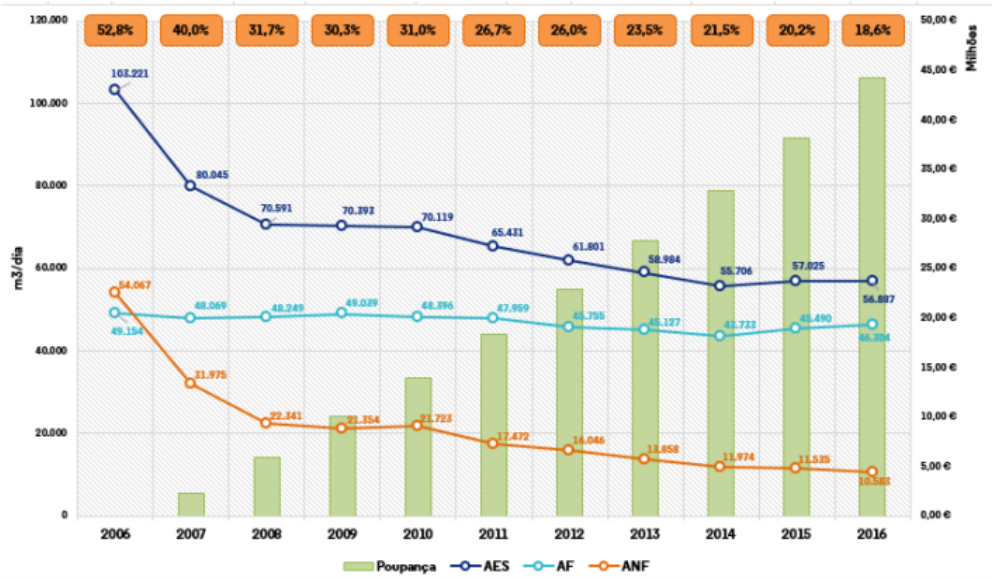

Figura 5.5: Evolução da AES, AF e ANF de 2006 até 2016 no SAA do Porto (AdPorto, 2016).

Analisando a Figura 5.5, observa-se que, ao longo do período considerado, tem vindo a ocorrer uma redução muito significativa da ANF, que passou de 52,8% em 2006 para 18,6% em 2016.

Esta redução da ANF resulta do combate às PR e PA, materializado nos projetos “Porto sem Perdas” e "Projeto de Redução da ANF". Estes projetos concretizam-se através da implementação de medidas que se destinam a melhorar a eficiência na gestão operacional da rede de abastecimento, vocacionadas para a deteção precoce e reparação de fugas assim como para o controlo de pressão na rede. Para além disso, os projetos levaram à consolidação dos sistemas de monitorização, de telemetria e de telegestão da rede para controlo em tempo real da AES, nomeadamente nos PE, dos níveis de água armazenada nos reservatórios, dos caudais distribuídos e consumos dos clientes e dos níveis de pressão na rede (AdPorto, 2013), (AdPorto, 2015).

Verifica-se, ainda, que os resultados alcançados são fruto dos investimentos efetuados pela empresa na renovação da rede de abastecimento de água (condutas

problemáticas e com materiais obsoletos) e na renovação do parque dos contadores (equipamentos avariados e em submedição) (AdPorto, 2016).

Em 2016, a AdPorto registou uma redução de 5,5% do número total de roturas e avarias identificadas comparativamente com o ano transato, no qual se registaram 1 481 ocorrências. Das 1 399 ocorrências registadas, 586 (42%) foram roturas em condutas, 392 (28%) foram roturas em ramais domiciliários e 421 (30%) foram avarias em acessórios da rede. Do total das ocorrências, o CAP detetou 54,5%, o que demonstra a sua clara importância na deteção destas ocorrências, bem como na rapidez de reparação das mesmas. As restantes (45,5%) foram reportadas pelos clientes, população em geral e piquete da empresa. Ao nível da remodelação da rede, os investimentos neste campo seguem um plano de acordo com prioridades (máxima, intermédia e fraca), baseado numa análise multicritério considerando as seguintes variáveis: a obsolescência dos materiais e o número de roturas acumuladas. Em 2016 foram substituídos 13,53 km de condutas, 1 155 ramais domiciliários e 82 hidrantes e instalados 262 ramais (AdPorto, 2016).

Relativamente ao custo de aquisição da água à AdDP, este é atualmente de 0,3709 €/m^3. Esta água é vendida aos clientes a diversos preços, dependendo do tipo de consumo. Para um cliente doméstico, o preço aumenta com o valor do volume consumido, variando entre 0,5731 €/m^3 e 2,8108 €/m^3,de acordo com respetivo escalão, e não considerando as restantes tarifas obrigatórias associadas.

5.1.3 Telemetria na AdPorto

No final de maio de 2017, a cidade do Porto tinha um total de 153 431 contadores, sendo que destes 23 964 possuiam telemetria, ou seja, cerca de 15,6% da cidade possuia telemetria. A localização dos contadores com telemetria na cidade do Porto por ZMC e sub-ZMC, encontra-se apresentada na Figura 5.6.

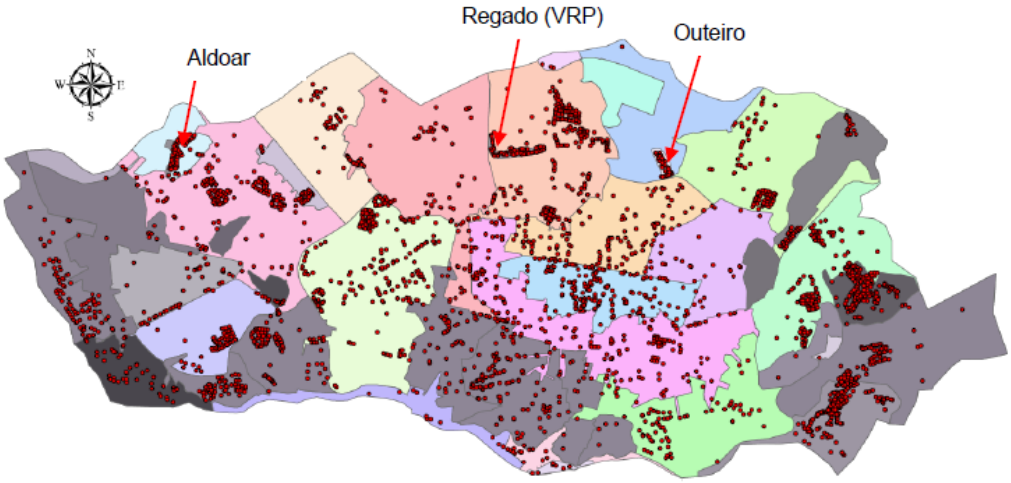

Figura 5.6: Localização dos contadores com telemetria instalados na cidade do Porto por ZMC e sub-ZMC.

Analisando a Figura 5.6, conclui-se que a distribuição de telemetria pelo Porto é muito dispersa. No entanto, existem alguns aglomerados com maior concentração de contadores com telemetria localizados nos bairros sociais, como é o caso dos bairros de Aldoar, Regado e Outeiro, por exemplo.

Os contadores de telemetria domésticos são uma grande vantagem em grandes aglomerados urbanos, como bairros habitacionais, uma vez que permitem a recolha regular de leituras quando os contadores se encontram dentro das habitações. Para além disso, por serem edifícios com muitos fogos, a instalação destes contadores torna mais rentável a deslocação dos colaboradores para realização de leituras e possibilita a deteção instantânea de anomalias e ilícitos prediais.

5.2 Planeamento do Estudo a Realizar

Antes de se iniciar a componente prática deste trabalho, existem algumas considerações a ter em conta.

Este estudo realizou-se entre fevereiro e junho de 2017, sendo que os métodos de CAP foram aplicados nos meses de abril e maio.

Quanto à quantificação das PR globais, os dados foram recolhidos para o período de um ano, entre maio de 2016 e abril de 2017.

Importam referir estas datas uma vez que, dependendo da época do ano, as variáveis utilizadas assumem valores diferentes. Por exemplo, o CAN referente à rega dos espaços verdes não existe durante todo o ano, tendo-se considerado a sua existência apenas nos meses entre maio e setembro.

Ressalvadas estas considerações, proceder-se-á à descrição das zonas em es-

tudo: sub-ZMC Aldoar e ZMC Preciosa-Mar Aldoar. Posteriormente, apresentam-se os procedimentos e os resultados com estes obtidos relativos à aplicação de métodos de CAP e à quantificação das PR.

5.3 Descrição da sub-ZMC Aldoar e da ZMC Preciosa-Mar Aldoar

Para a realização deste estudo, pretendia-se que a zona a analisar fosse de pequena a média dimensão e apresenta-se a combinação de maior índice de ANF e maior número de contadores com telemetria. Tendo em conta estas especificações e uma vez que, na AdPorto, as áreas com maior concentração de telemetria são os bairros, optou-se pela sub-ZMC Aldoar, a qual pertence à ZMC Preciosa-Mar Aldoar.

A sub-ZMC Aldoar é constituída maioritariamente pelo bairro de Aldoar, o qual tem 16 blocos de habitação social. Nesta sub-ZMC existe um total de 406 clientes, sendo que 395 destes apresentam contador com telemetria, ou seja, 97,3% da sub-ZMC Aldoar apresenta telemetria.

Na Tabela 5.1 podem observar-se algumas características da rede de distribuição da sub-ZMC Aldoar.

Tabela 5.1: Características da rede de distribuição da sub-ZMC Aldoar

Características	Valor
Comprimento total das condutas (km)	1,437
Número de ramais	60
Pressão média (m.c.a.)	48
Comprimento médio dos ramais (km)	0,005

A sub-ZMC Aldoar pertence à ZMC Preciosa-Mar Aldoar, tal como se encontra na Figura 5.7.

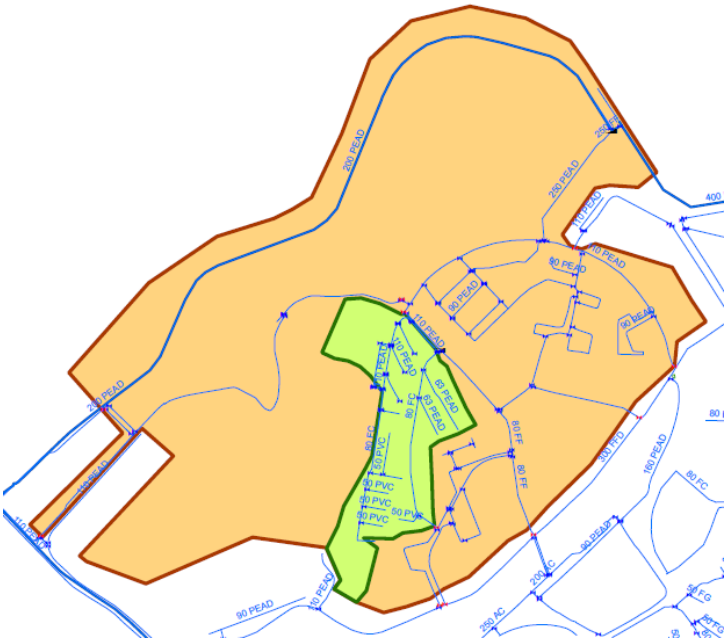

Figura 5.7: Representação da ZMC Preciosa-Mar Aldoar (a laranja) e da sub-ZMC Aldoar (a verde) (AdPorto).

A ZMC Preciosa-Mar Aldoar apresenta um total de 1249 clientes, no entanto apenas 673 possuem contadores com telemetria, o que equivale a 53,9% de telemetria na ZMC, sendo que esta se encontra maioritariamente instalada no bairro de Aldoar.

Esta ZMC é também caracterizada pela presença de três grandes clientes, que são a SUCH (Serviço de Utilização Comum dos Hospitais), o Hospital Privado da CUF e o Hospital Magalhães Lemos.

Na Tabela 5.2 podem-se observar algumas características da rede de distribuição da ZMC Preciosa-Mar Aldoar.

Tabela 5.2: Características da rede de distribuição da ZMC Preciosa-Mar Aldoar

Características	Valor
Comprimento total das condutas (km)	8,863
Número de ramais	500
Pressão média (m.c.a.)	51
Comprimento médio dos ramais (km)	0,0015

5.3.1 Avaliação do Consumo Autorizado Noturno

Sub-ZMC Aldoar

Como referido, o CA na sub-ZMC Aldoar é maioritariamente doméstico, sendo que apenas existe um contador associado a consumos não-domésticos, designadamente o do Centro Social S.Martinho Aldoar.

Esta sub-ZMC, como mencionado, apresenta 97,3% dos contadores com telemetria, pelo que através da média de duas leituras de telemetria, realizadas no âmbito deste estudo, efetuadas no período das 2h às 5h, foi possível determinar o CAN nesta sub-ZMC, o qual é de 0,559 m^3/h.

O equipamento utilizado nas leituras de telemetria encontra-se apresentado na Figura 5.8.

Figura 5.8: Aparelho utilizado nas leituras de telemetria (AdPorto).

Para a realização das leituras de telemetria procedeu-se a um levantamento dos contadores na sub-ZMC e com eles elaborou-se uma rota específica. Esta rota foi realizada por duas vezes em noites distintas. Em cada noite foi efetuada duas vezes às 2h e às 5h, na modalidade *drive-by*. Os dados foram posteriormente analisados.

ZMC Preciosa-Mar Aldoar

Por sua vez, o CA na ZMC Preciosa-Mar Aldoar também é maioritariamente doméstico, no entanto, apresenta três grandes clientes, regas de espaços verdes (consumos especiais) e consumos não-domésticos.

Na ausência de contadores de telemetria em toda a ZMC Preciosa-Mar Aldoar, o CAN doméstico foi extrapolado a partir das duas leituras de telemetria realizadas na sub-ZMC Aldoar. Assim, consideraram-se os 394 clientes da sub-ZMC como modelo para os restantes 855 clientes domésticos da ZMC, obtendo-se para estes uma estimativa do CAN de 1,01 m^3/h. Isto é possível de se efetuar, uma vez que a tipologia de habitação/ utilização e o padrão de consumo é praticamente idêntico em toda a ZMC.

O CAN relativo à rega de espaços verdes é proveniente de cinco principais ramais próprios para rega de espaços verdes existentes na ZMC, munidos de contadores com telemetria. No entanto, apenas um se encontra na área de cobertura de um concentrador e os restantes só apresentam leituras mensais. Assim sendo, para o cálculo do CAN proveniente da rega somou-se o valor exato do caudal da boca-de-rega com contador abrangido pelo concentrador e o caudal determinado a partir do volume mensal consumido para os contadores com leituras mensais, tendo em conta que o dia de rega corresponde a duas horas, mas apenas uma hora está dentro do período das 2h às 5h. Importa referir que não se conhecendo o período de rega, assumiu-se que esta ocorre de maio a setembro. O valor obtido para o CAN relativo à rega de espaços verdes é de cerca de 2,17 m^3/h.

Quanto aos grandes clientes, cada um deles apresenta um contador com emissor de impulsos conectado a um *data logger* que recebe os impulsos, integra-os de 15 em 15 minutos e envia-os, uma vez por dia, para o *software* de monitorização e controlo, acessível através de um computador. Pelo que os consumos noturnos para cada um dos dias foram retirados do *software* de monitorização e controlo para o caudal médio entre as 2h e as 5h.

5.4 Aplicação do Controlo Ativo de Perdas

Com o intuito de se proceder à deteção de PR na ZMC Preciosa-Mar Aldoar, optou-se pela realização de um *step testing*, uma vez que este tipo de teste nunca tinha sido concretizado pela AdPorto, mas era do interesse da empresa incluí-los nos métodos de CAP, oportunidade esta que foi aproveitada no âmbito deste estudo.

De modo a determinar a localização exata das possíveis fugas, a encontrar com a realização do *step testing*, selecionou-se o método de sondagem com recurso a haste de escuta, o tradicional método da AdPorto.

Para além destes métodos, procedeu-se à aplicação do método de sondagem através da colocação de *loggers* acústicos na sub-ZMC Aldoar, de modo a aferir a existência de PR na rede.

5.4.1 Realização de um *Step Testing*

Em primeiro lugar, procedeu-se ao planeamento do teste de fecho sequencial. A partir do SIG (Sistema de Informação Geográfica) foi possível aceder ao cadastro da rede de distribuição e criar um mapa da ZMC Preciosa-Mar Aldoar com a indicação dos nomes das ruas, do traçado das condutas e das válvulas existentes e suas posições (fechadas ou abertas). No mapa da ZMC assinalaram-se, também, os três grandes clientes mencionados.

Analisando a zona em estudo, definiram-se as subzonas a fechar, assim como a sua ordem e respetivas horas de fecho. Esta seleção foi efetuada do ponto de vista tático por forma a melhor sequenciar os ensaios a realizar no terreno. O mapa da ZMC com a delimitação das oito subzonas de fecho pode ser observado na Figura 5.9.

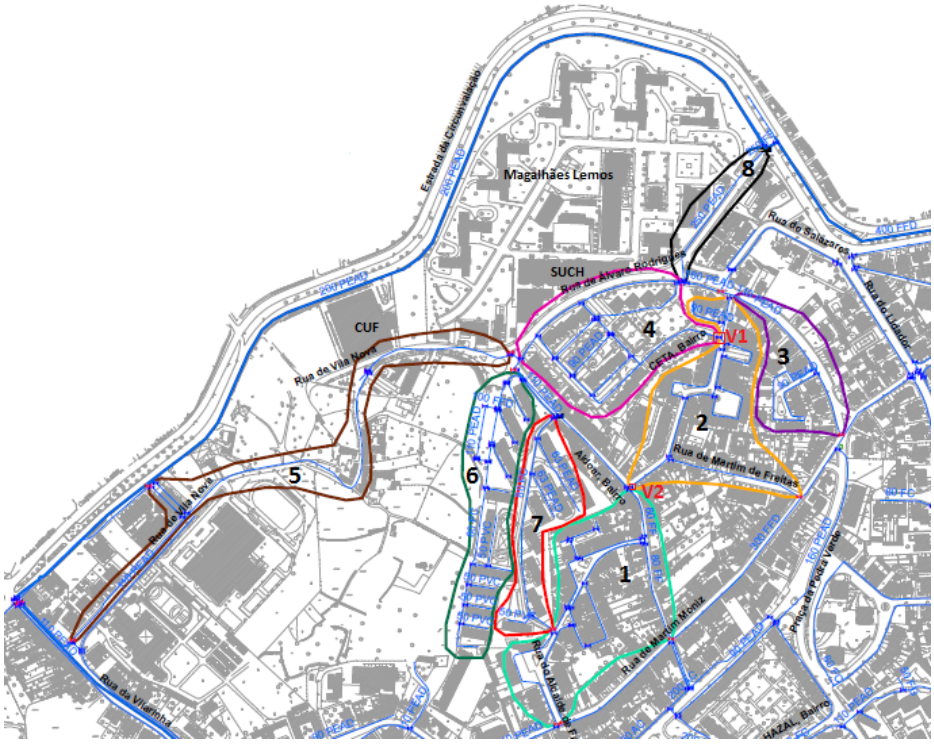

Figura 5.9: Identificação das oito subzonas do *step testing* (AdPorto).

O fecho das válvulas V1 e V2, que se observam na Figura 5.9, procedeu-se durante o período diurno. Isto porque, estas válvulas podiam ser fechadas antes da realização do teste, uma vez que os seus fechos não interrompiam o abastecimento de água aos clientes.

Após a seleção das válvulas a fechar, procedeu-se à verificação do estado das

mesmas, concluindo-se que se encontravam operacionais. Assim sendo, fecharam-se as referidas válvulas V1 e V2, visto que o *step testing* se iria realizar no mesmo dia, durante o período noturno.

Para além da verificação do estado das válvulas, garantiu-se que o *data logger* estava a reportar corretamente os dados obtidos do contador-totalizador de entrada da ZMC e alterou-se a frequência do registo do caudal pelo *data logger* de 15 em 15 minutos para de 1 em 1 minuto, de modo a se proceder a uma análise mais eficaz e estratégica das variações do caudal a obter com a realização do *step testing*.

Para a realização do teste de fecho sequencial, ao invés de se seguir a metodologia normal de um *step testing*, ou seja, fechos sucessivos até se atingir o valor zero no medidor de caudal e posteriores aberturas em ordem inversa, optou-se por se realizar fechos e aberturas sucessivas das várias subzonas, de modo a que o abastecimento de água nestas apenas fosse suprimido durante o menor período de tempo possível, evitando assim transtornos para os clientes. Deste modo, evitou-se igualmente o fecho total da água ao total dos clientes da ZMC, dispensando a comunicação prévia aos mesmos, bem como a danificação do estado das infraestruturas instaladas.

No decorrer do teste, realizou-se um TPZ para cada subzona fechada, o qual consistiu em colocar um manómetro numa boca-de-incêndio no interior da referida subzona. Este processo encontra-se ilustrado na Figura 5.10.

Figura 5.10: Realização do TPZ (AdPorto).

Para além do TPZ para assegurar a estanquidade das válvulas fechadas, recorreu-se à sondagem com haste de escuta, fruto da elevada experiência e *know-how* dos

técnicos da EG envolvidos. Esta operação pode ser observada na Figura 5.11.

Figura 5.11: Realização da sondagem acústica com haste de escuta (AdPorto).

Para cada subzona registou-se a hora de fecho e abertura e entre as duas aguardou-se cerca de 30 minutos, uma vez que, como era a primeira vez que se realizava um *step testing* e não se encontrava ninguém a observar as variações do caudal ao momento, o tempo que o caudal demoraria a estabilizar não era um dado adquirido. Na Tabela 5.3 podem verificar-se as horas de fecho e abertura das oito subzonas analisadas.

Tabela 5.3: Horas de fecho e abertura das 8 subzonas em estudo

Subzona	Hora de Fecho	Hora de Abertura
1	1h00	1h26
2	1h30	2h00
3	2h00	2h30
4 (1º vál.)	2h41	3h12
4 (2º vál.)	2h45	3h09
5	3h20	3h40
6	3h47	4h13
7	4h20	4h43
8	4h51	5h25

A consulta das variações do caudal obtidas com o teste realizou-se no dia seguinte, uma vez que o caudal de entrada na ZMC foi registado pelo *data logger*, o qual enviou os dados para o *software* de monitorização e controlo, acessível através de um computador.

As representações gráficas das variações do caudal e da pressão de entrada na ZMC, obtidas com o fecho das subzonas 1 a 8, assim como o caudal e a pressão de entrada na sub-ZMC e os consumos dos grandes clientes, encontram-se nas Figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15. No Anexo A também se encontra a representação gráfica das operações efetuadas nas subzonas do *step testing*, mas numa única figura.

De seguida procede-se à análise destas figuras. Importa salientar que a hora nelas registada corresponde ao horário de inverno, posto isto, tendo o *step testing* sido realizado no horário de verão, torna-se necessário acrescentar uma hora àquela que se encontra registada, para se obter a hora correta das operações de fecho e abertura das válvulas sequenciais.

Subzonas 1 e 2

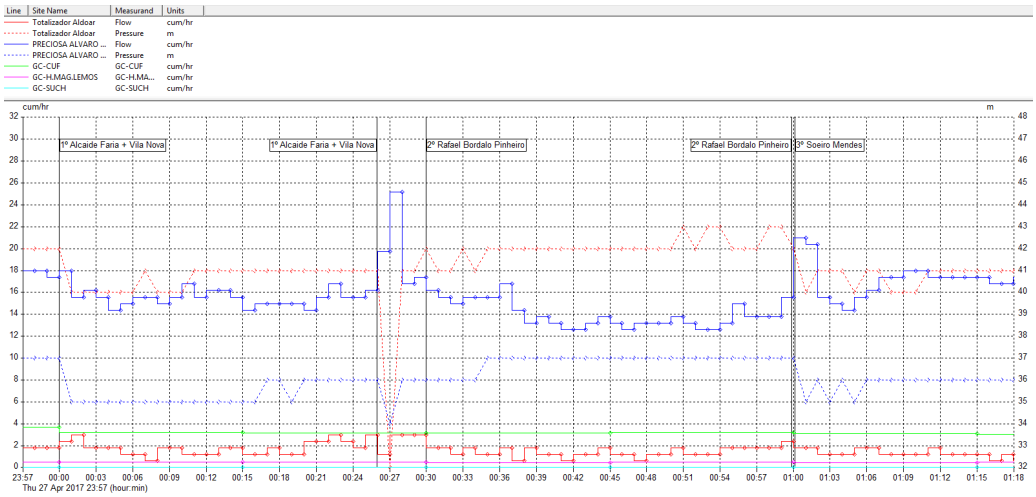

Figura 5.12: Representação gráfica das variações dos caudais durante o 1º e 2º fechos do *step testing* (AdPorto).

Analisando a Figura 5.12, relativa às operações realizadas nas subzonas 1 e 2 do *step testing*, observa-se que não ocorreu uma variação significativa do caudal de entrada na ZMC em nenhum dos fechos. Apenas se verifica uma variação mais significativa do caudal aquando da abertura das válvulas sequenciais, o que reflete o facto de a água estar a preencher a rede, uma vez que durante os fechos destas subzonas ocorreram alguns consumos.

Subzonas 3 e 4

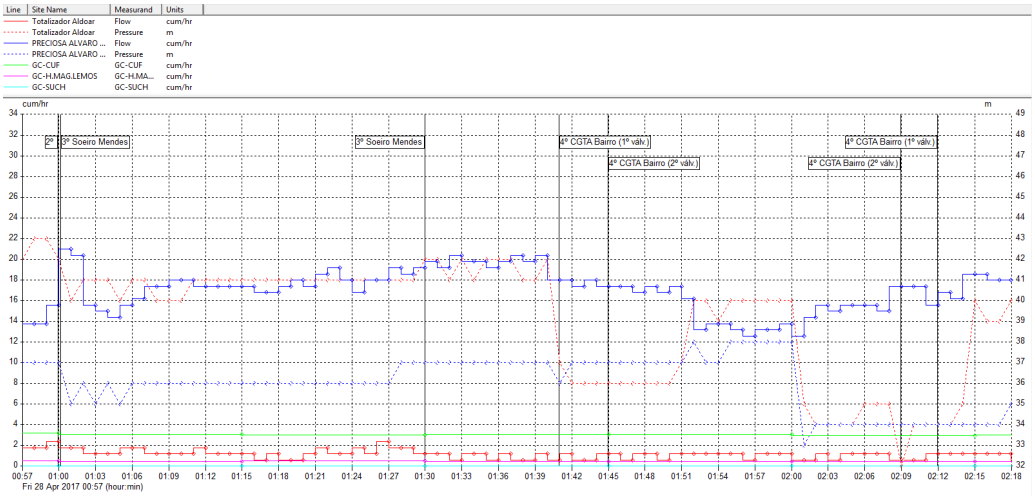

Figura 5.13: Representação gráfica das variações dos caudais durante o 3º e 4º fechos do *step testing* (AdPorto).

A Figura 5.13 corresponde às operações efetuadas nas subzonas 3 e 4 do *step testing*. Na subzona 3, uma vez que o seu fecho ocorre na mesma altura que a abertura da válvula sequencial da subzona 2, verifica-se, nos primeiros minutos, uma variação acentuada do caudal de entrada na ZMC que diz respeito ao enchimento da rede da subzona 2, não representando, portanto, qualquer perda. Após o caudal de entrada na ZMC estabilizar, não se verifica a ocorrência de variações significativas, pelo que se conclui que esta subzona não apresenta PR expressivas minimamente.

Importa referir que após a realização da abertura da subzona 3 do *step testing*, a válvula V2 foi aberta, de modo a não impedir o abastecimento.

Ainda analisando a Figura 5.13, a subzona 4 foi a única que requereu o fecho de duas válvulas sequenciais para garantir o seu isolamento. Assim sendo, a variação do caudal de entrada na ZMC deve ser analisada para o período compreendido entre o fecho e a abertura da 2º válvula. Analisando este período, denota-se uma significativa redução do caudal de entrada na ZMC, a qual não é justificável por nenhum dos consumos representados, pelo que se atenta para o facto de haver a possibilidade de existência de uma fuga nesta subzona.

Subzonas 5 e 6

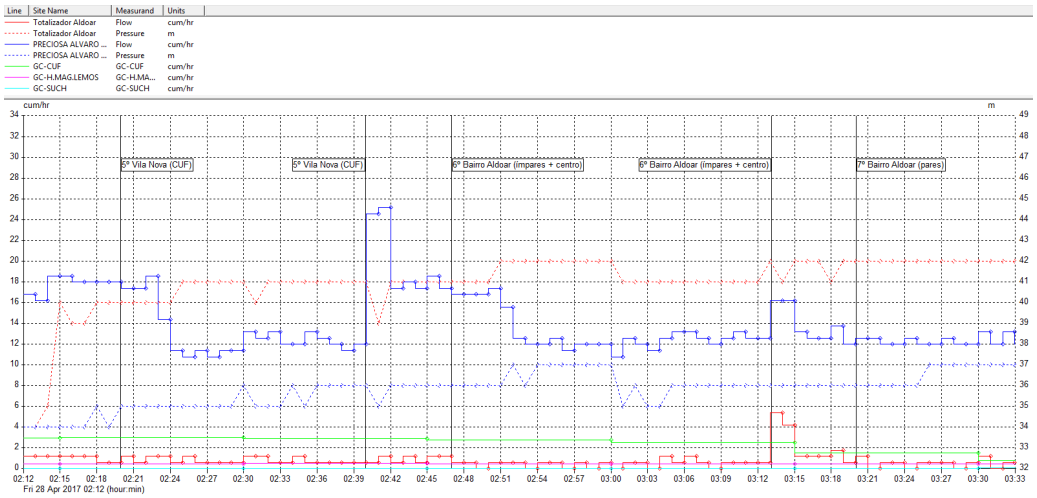

Figura 5.14: Representação gráfica das variações dos caudais durante o 5º e 6º fechos do *step testing* (AdPorto).

Analisando a Figura 5.14, para a subzona 5, observa-se que ocorreu uma considerável diminuição do caudal de entrada na ZMC poucos minutos após o fecho da válvula sequencial, que não é suportada por nenhum dos consumos representados, pelo que se reporta a possibilidade de existência de uma fuga nesta subzona.

Ainda na Figura 5.14 encontra-se a representação da variação dos caudais durante as operações na subzona 6 do *step testing*, analisando-a verifica-se uma ligeira diminuição do caudal de entrada na ZMC, no entanto a mesma diminuição não se verifica na entrada da sub-ZMC, pelo não existem indícios da presença de fugas nesta subzona. No momento de abertura da válvula sequencial, observa-se um aumento do caudal, o que é devido ao enchimento da rede nesta subzona.

Subzonas 7 e 8

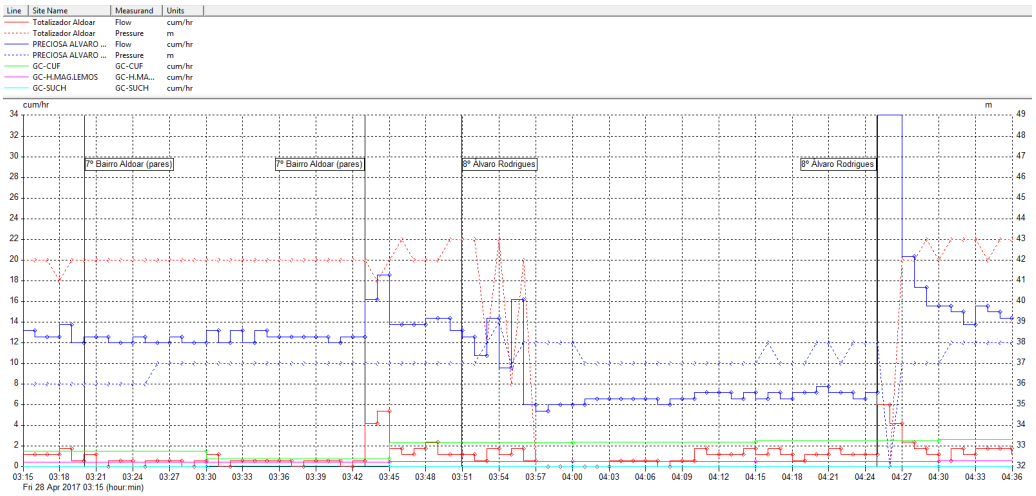

Figura 5.15: Representação gráfica das variações dos caudais durante o 7º e 8º fechos do *step testing* (AdPorto).

A Figura 5.15 representa as operações executadas nas subzonas 7 e 8 do *step testing*. Na subzona 7 a única variação do caudal de entrada na ZMC observada é o aumento do caudal aquando da abertura da válvula sequencial, o que corresponde ao preenchimento em pressão da rede nesta subzona.

Na última subzona do *step-testing*, subzona 8, também representada na Figura 5.15, observam-se sucessivas diminuições e aumentos do caudal de entrada na ZMC nos minutos iniciais, isto ilustra as tentativas do correto fecho da válvula sequencial, de modo a que a subzona ficasse isolada. A redução bastante significativa que ocorre de seguida deve-se ao facto de se ter procedido ao fecho da quase totalidade da ZMC.

5.4.2 Sondagem Acústica

Tendo-se analisado os resultados obtidos com a realização do *step testing*, identificaram-se duas possíveis fugas nas subzonas 4 e 5.

Posto isto, uma vez que as subzonas são de pequenas dimensões, optou-se por se recorrer à sondagem acústica com recurso a haste de escuta, de modo a confirmar a existência de fugas e, em caso afirmativo, definir as suas localizações exatas.

Após sondagem, conclui-se que a subzona 4 apresentava uma fuga, que foi posteriormente reparada. Na Figura 5.16 encontram-se imagens da fuga encontrada, antes e após reparação.

Figura 5.16: Fuga encontrada com a realização do *step testing* antes (à esquerda) e após (à direita) reparação (AdPorto).

Quanto à subzona 5, a mesma não apresentava indícios de perdas, pelo que se conclui que a significativa diminuição obtida com o *step testing* se deveu ao enchimento da cisterna do Hospital Privado da CUF, que manteve o seu consumo constante, como se pode aferir pela Figura 5.17, e provavelmente das piscinas privadas presentes nesta subzona.

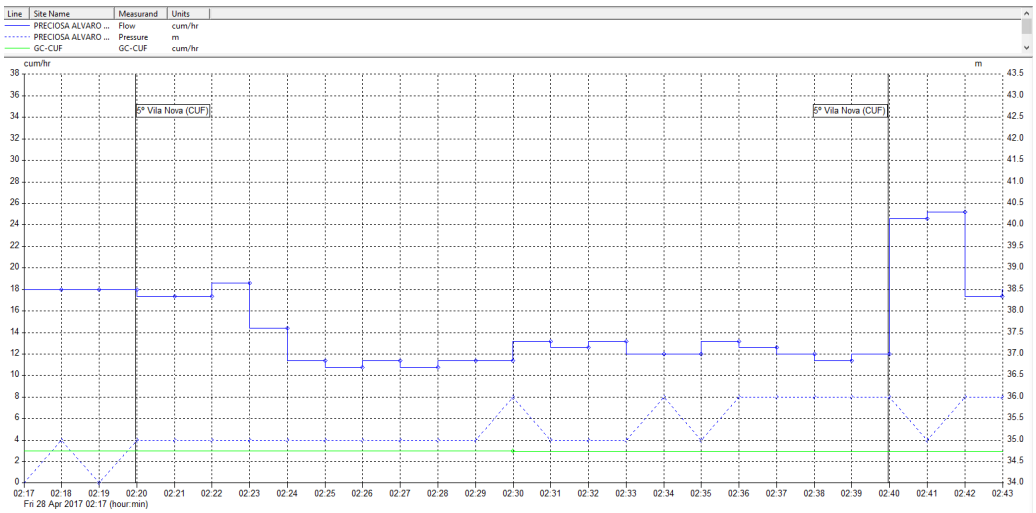

Figura 5.17: Representação gráfica do consumo e da pressão na entrada da ZMC Preciosa-Mar Aldoar e do consumo do grande cliente em causa (AdPorto).

5.4.3 Colocação de *Loggers* Acústicos

Apesar de através dos resultados obtidos com a realização do *step testing* não ser evidente a existência de fugas na área do bairro, colocaram-se *loggers* acústicos nesta, uma vez que ainda se suspeitava da presença de PR.

A suspeita de perdas de água baseava-se no facto de a diferença entre os CAN e o CMN do contador-totalizador da sub-ZMC Aldoar, para as noites das leituras de telemetria, ser bastante significativa, da ordem dos 50%. Atendendo ao facto de as referidas leituras de telemetria terem sido realizadas em período noturno, a probabilidade de se tratarem de PR, e não de PA, era superior, uma vez que é esperado que os consumidores neste período estejam inativos.

Os *loggers* foram programados para monitorizar os eventuais ruídos de fuga durante o período noturno, altura em que existem menos interferências de ruído ambiente e o consumo é mínimo, no espaço de 3 dias. Utilizou-se um conjunto de 15 *loggers* acústicos, os quais foram colocados nas válvulas assinaladas na Figura 5.18.

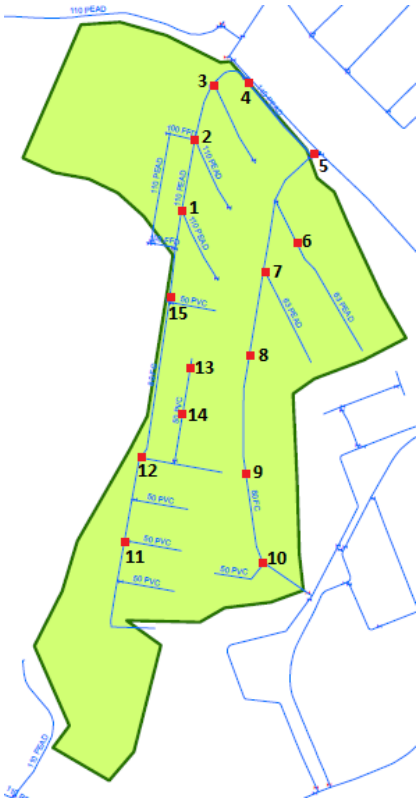

Figura 5.18: Localização das válvulas onde se colocaram os *loggers* acústicos (AdPorto).

Como se pode observar na Figura 5.18, tomou-se em consideração a redução da distância entre os *loggers*, uma vez que as condutas eram maioritariamente de material plástico. Apesar de as condutas de plástico, neste caso PEAD e PVC, isolarem o ruído de fuga, os *loggers* utilizados apresentavam a vantagem de terem um modo de operação dedicado a monitorizar os ruídos neste material, pelo que o seu funcionamento continuava eficaz.

Na Figura 5.19 ilustra-se a colocação dos *loggers*.

Figura 5.19: Colocação dos *loggers* acústicos (AdPorto).

Após as 3 noites de registo, os dados foram recolhidos por um patrulhador, na modalidade *drive-by*, como se pode aferir pela Figura 5.20.

Figura 5.20: Recolha dos dados obtidos pelos *loggers* acústicos na modalidade *drive-by* (AdPorto).

De seguida, o patrulhador descarregou a informação para um computador, via *bluetooth*. Os resultados obtidos apontavam para a possível existência de duas fugas, reportadas pelos *loggers* 5 e 10.

Posto isto, realizou-se uma sondagem acústica com recuro a haste de escuta, da qual não surtiu nenhuma confirmação de fuga. Tal pode dever-se ao facto de as fugas serem de reduzidas dimensões e por isso, o ouvido humano não conseguir ainda captar o ruído por elas provocado, ou pode advir de um ruído constante relacionado com a distribuição de gás ou eletricidade ou mesmo um contador de água nas proximidades, o qual é assumido pelo *logger* como sendo uma fuga de água. Relativamente ao *logger* 5, este pode ainda ter reportado a fuga existente numa boca-de-rega próxima dele, cuja responsabilidade pertencia a privados e que prontamente foi reparada.

5.5 Quantificação das Perdas Reais

5.5.1 Perdas Reais Globais

Nas empresas, as PR são normalmente calculadas com base na informação existente de AES, CAF e CANF e na estimativa das PA, isto é, através de uma abordagem *Top-Down* do BH.

No entanto, como referido, esta abordagem leva à sobrestimação do problema das perdas físicas no sistema, pelo que se optou por se recorrer à abordagem *Bottom-Up* para aferir a quantidade de PR na ZMC em estudo.

Deste modo, de acordo com a Equação 4.4, torna-se necessário aferir o CMN, o CAN e o FND para a ZMC Preciosa-Mar Aldoar. Note-se que, para se obter um cálculo mais correto do volume de PR no sistema, optou-se por se analisar as referidas variáveis para um período de 1 ano, tendo em consideração os primeiros 7 dias de cada mês, de maio de 2016 a abril de 2017.

O CMN, para cada um dos dias, obteve-se através da média dos caudais para o período entre as 2h e as 5h, por meio do *software* de monitorização e controlo, no qual se encontram registados os caudais de 15 em 15 minutos do contador-totalizador da ZMC Preciosa-Mar Aldoar.

O CAN da ZMC Preciosa-Mar Aldoar obteve-se de acordo com o explicitado no Subcapítulo 5.2.1.

O FND determinou-se de acordo com a Equação 4.5, considerando-se para a determinação das pressões horárias 7 dias consecutivos para cada um dos trimestres do ano. É de referir que, na ZMC Preciosa-Mar Aldoar, as pressões durante o período diurno são superiores às do período noturno, uma vez que a zona é dotada de uma VRP com modelação temporal.

Para o cálculo do FND aferiu-se o valor do expoente N1 através da Equação 4.6, uma vez que a ZMC apresenta um baixo nível de perdas de base (Anexo C). Para tal foi necessário determinar o ILI, cujo processo de cálculo se apresenta no Anexo B e que tem o valor de 4,5.

Os dados utilizados para o cálculo do FND encontram-se no Anexo C. O FND obtido foi de 26,7 h/d.

Tendo as variáveis necessárias, calculou-se o valor das PR anuais na ZMC Preciosa-Mar Aldoar, as quais são de 50 538 m^3. Ou seja, estas perdas representam cerca de 18,4% da AES.

5.5.2 Perda Real encontrada com o *Step Testing*

Em particular, foi também quantificada a perda encontrada na subzona 4 com a realização do *step testing*.

Uma fuga numa conduta que escoa através de um orifício ou de uma fenda pode ser considerada como o caudal que se escoa por um orifício, que é passível de ser determinado recorrendo-se à Equação 5.1, conhecida como equação de Torricelli que relaciona o caudal de fuga com a pressão.

$$Q = C_d A\sqrt{2gh}\ [m^3/s] \tag{5.1}$$

na qual,

Q - Caudal de fuga escoado pelo orifício;
C_d - Coeficiente de descarga;
A - Área do orifício [m^2];
g - Aceleração da gravidade [m/s^2];

h - Pressão no orifício [m.c.a.].

Na prática, o caudal de fuga é calculado através de uma expressão mais generalizada, a qual se apresenta na Equação 5.2.

$$Q = Ch^{N1} \ [m^3/s] \tag{5.2}$$

na qual,

Q - Caudal de fuga escoado pelo orifício;
C - Coeficiente de fuga = C_d*A*$(2g)^{1/2}$;
h - Pressão no orifício [m.c.a.];
N1 - Expoente da equação de FAVAD.

Neste contexto, é recomendável a utilização da Equação 5.2, ao invés da Equação 5.1, uma vez que esta última considera que o expoente de fuga é 0,5, o que nesta situação não é o que acontece, visto que o N1 é igual a 1,4.

Tendo definida a equação a utilizar, estimou-se um orifício de fuga com um diâmetro de 1 cm para se proceder ao cálculo da área do mesmo. Para o C_d considerou-se o valor de 0,6, uma vez que é o valor que se assume na literatura para orifícios destas dimensões.

Assim, o caudal de fuga obtido é de cerca de 2,83 m^3/h, ou seja, cerca de 24 778 m^3/ano.

5.6 Poupança Anual

No sentido de que a água perdida traduz-se num não retorno financeiro, importa quantificar os custos associados a esta. Note-se que a água proveniente de perdas físicas tem de ser contabilizada ao custo de aquisição pela empresa.

Atualmente, o custo de aquisição da água pela AdPorto à AdDP é de 0,3709 €/m^3.

Desta é possível quantificar as PR globais e a encontrada com a realização do *step testing* em termos financeiros, tal como se pode observar na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Poupança anual a resultar da reparação das PR globais da ZMC Preciosa-Mar Aldoar e da PR encontrada com a realização do *step testing*

Perdas Reais	Volume [m^3/ano]	Poupança [€/ano]
Globais	50 538	18 745
Encontrada com o *step testing*	24 778	9 190

5.7 Outras Ocorrências de Relevo

Através do estudo da ZMC Preciosa-Mar Aldoar, encontraram-se outras ocorrências não relacionadas com as PR, mas que importam referir pois, estão diretamente relacionados com o índice de ANF.

5.7.1 Substituição de Contador

Ao analisar os consumos dos grandes clientes, verificou-se que o contador da SUCH apresentava um comportamento idêntico ao contador do Hospital Magalhães Lemos, tal como se pode observar na Figura 5.21.

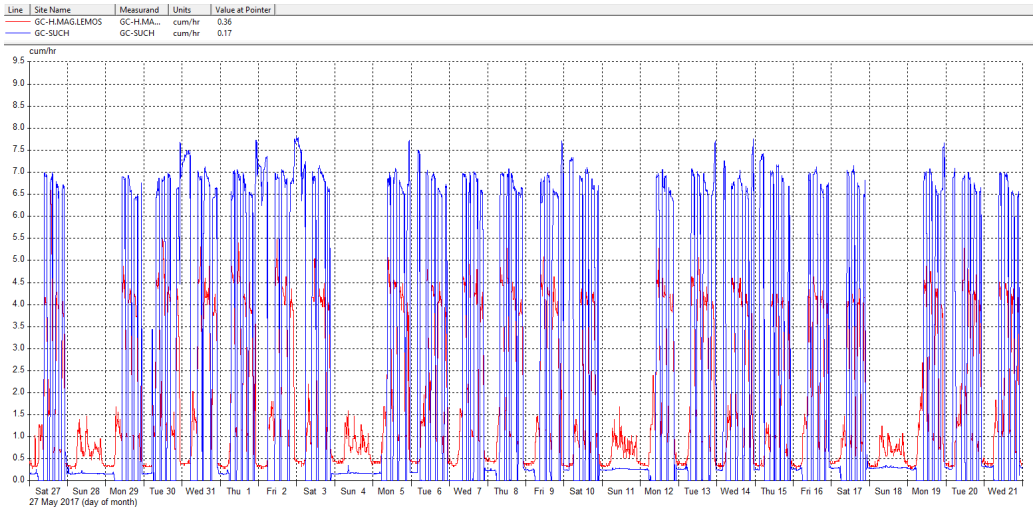

Figura 5.21: Representação gráfica dos consumos dos dois grandes clientes em estudo (AdPorto).

Assim, uma vez que, de entre os dois, o contador da SUCH era o mais antigo, o que contabilizava um volume totalizado muito superior (evidenciando maior desgaste do equipamento) e o que apresentava variações discrepantes ao nível dos caudais mais elevados, procedeu-se à avaliação da sua substituição por um contador de maior calibre.

Na Figura 5.22 é possível observar-se o contador em causa.

Figura 5.22: Contador que se pretende substituir (AdPorto).

No entanto, como se pode verificar pela 5.22, o nicho do contador em causa não oferece as condições físicas, de segurança e regulamentares necessárias para a substituição do equipamento por um de maior calibre. Assim sendo, foi informado o proprietário/ utilizador para as alterações que eram necessárias efetuar a fim de ser possível a realização do serviço. Uma vez que as alterações não foram efetuadas em tempo útil compatível com o término deste estudo, não foi possível retirar conclusões acerca da substituição deste contador.

5.7.2 Verificação da Existência de Perdas Aparentes

Com o intuito de averiguar a existência da outra parcela das perdas de água, as PA, na sub-ZMC Aldoar procedeu-se ao estudo de uma pequena amostra passível de poder estar a furtar água - os moradores com contratos rescindidos.

Para a realização deste estudo analisaram-se os contratos da sub-ZMC Aldoar, identificaram-se os que se encontravam rescindidos, no total onze, e listaram-se as moradas associadas aos referidos contratos.

Posteriormente, realizou-se uma visita a cada uma das onze casas. Aferiu-se que três se encontravam habitadas, o que levou à suspeita da existência de consumos ilícitos. Tendo, por isso, sido reportadas às devidas diligências internas da empresa.

5.8 Análise SWOT

A análise SWOT é uma ferramenta de gestão muito utilizada para a abordagem estratégica. O termo SWOT é composto pelas iniciais das palavras Strengths (Pontos Fortes), Weaknesses (Pontos Fracos), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças).

Esta análise realizou-se para o *step testing* alvo deste estudo e encontra-se na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Análise SWOT para o *step testing* realizado

S - Pontos Fortes	**O - Oportunidades**
• Diminuição do tempo de suspensão do abastecimento aos clientes • Dispensa do envio de avisos prévios aos clientes	• Redução das perdas reais existentes e dos consequentes custos a estas associados
W - Pontos Fracos	**T - Ameaças**
• Inconclusão acerca do que acontece na última subzona de fecho	• Necessidade da existência de válvulas de seccionamento e de equipamento de medição adequados

Página intencionalmente deixada em branco

Capítulo 6

Conclusões e Propostas para Desenvolvimentos Futuros

6.1 Conclusões

As perdas de água são uma realidade das EG, que se traduzem numa das suas principais ineficiências. No entanto, como comprovado com o desenvolvimento deste trabalho, as perdas de água podem ser eficazmente reduzidas através da aplicação de diversas metodologias e estratégias.

Em concreto, o desenvolvimento deste trabalho centrou-se na redução das PR através da aplicação de métodos de CAP.

A realização de um teste de fecho sequencial para deteção de PR com a diferença de, ao invés de fechos sucessivos, terem sido realizados fechos e aberturas alternadas, proporcionou a diminuição do período de tempo de supressão do abastecimento aos clientes e a dispensa do envio de avisos prévios aos mesmos.

No entanto, identificou-se uma desvantagem nesta alteração ao *step testing* tradicional pois, não se tendo realizado fechos sucessivos sem aberturas, o fecho da última válvula sequencial traduz-se numa diminuição muito significativa do caudal de entrada na zona em estudo, não se conseguindo, portanto, aferir com certeza a existência de possíveis fugas.

Uma outra conclusão a retirar da realização deste teste é relativa à duração dos fechos, os quais foram de 30 minutos, mas que não necessitariam de ser tão longos pois, ao fim de aproximadamente 15 minutos o caudal de entrada a analisar já se encontrava estabilizado.

Contudo, a realização deste *step testing* revelou-se bem sucedida, uma vez que foi possível identificar uma fuga. Com a sua localização e reparação, obteve-se uma poupança anual de 9 190 euros.

Tendo em consideração estas conclusões, e de acordo com a pretensão da AdPorto, elaborou-se um procedimento geral para a realização de uma metodologia prática de *step testing* na empresa (Anexo D).

Relativamente à análise da existência de PR na sub-ZMC Aldoar, através da

colocação de *loggers* acústicos e da realização de sondagens acústicas, esta não reportou nenhuma ocorrência. Pelo que se pode concluir que a diferença entre o CAN e o CMN observada se deve a eventuais ilícitos, a erros de medição do contador-totalizador (devidos ao sobredimensionamento e à idade do contador) de entrada na sub-ZMC e/ou à integração das medições do caudal pelo *data logger*.

Em relação à quantificação das PR anuais na ZMC Preciosa-Mar Aldoar através da expressão relativa à abordagem *Bottom-Up*, conclui-se que o volume de PR anuais é de 50 538 m^3, o que corresponde a um gasto anual de 18 745 euros. Porém, esta quantificação pode não traduzir a realidade, uma vez que mesmo considerando períodos noturnos, podem ocorrer PA. E, sendo assim, o volume de perdas não é exclusivamente devido a perdas físicas.

Em suma, ficou patente com este trabalho a importância da metodologia do *step testing* nos SAA, pelo que a sua implementação como estratégia regular é uma mais valia com resultados práticos imediatos. Ao permitir a deteção instantânea de fugas de água na rede, tirando partido de apenas um medidor de caudal geral/ totalizador e das normais válvulas de seccionamento já instaladas, o *step testing* revela-se como um método eficaz, devendo ser integrado nas estratégias das EG no seu CAP diário.

6.2 Propostas para Desenvolvimentos Futuros

Perante o trabalho desenvolvido, seguem-se algumas propostas para o desenvolvimentos futuros no âmbito do tema em causa:

- Estudo dos perfis de consumo dos clientes, de modo a que, para cada subzona de um teste de fecho sequencial, se conheça o CAN. Desta forma, seria possível saber a diminuição esperada do caudal de entrada na zona em estudo, identificando mais facilmente a existência de PR;
- Realização de uma análise custo-benefício para a substituição dos contadores normais por contadores de telemetria para toda a zona, uma vez que esta substituição originaria um conhecimento mais exato dos CA;
- Avaliação da outra faceta das perdas de água, as PA, de modo a desassocia-las ao máximo das PR;
- Expansão da quantificação das PR através da abordagem *Bottom-Up* do BH, a todas as ZMC do Porto, de modo a priorizar estas de acordo com as necessidades de intervenção;
- Implementação da metodologia do *step tesing* a toda o SAA da cidade do Porto.

Referências Bibliográficas

AdPorto (2013). *Relatório e Contas 2013*. Águas do Porto, E.M.

— (2015). *Relatório e Contas 2015*. Águas do Porto, E.M.

— (2016). *Relatório e Contas 2016*. Águas do Porto, E.M.

— (2017). *Distribuição de Água: Contextualização Histórica. Disponível em: http://www.aguasdoporto.pt/distribuicao-de-agua/contextualizacao-historica. Acedido a 17/03/2017 às 10:25*.

Alegre, H., S. Coelho, M. Almeida e P. Vieira (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição.* IRAR, LNEC.

Boulos, P.F. e A.S. Aboujaoude (2011). «Managing leaks using flow step-testing, network modeling, and field measurement». Em: American Water Works Association (AWWA).

CESDA, Comissão Especializada de Sistemas de Distribuição de Água (2014a). *Ficha de Boas Práticas: Balanço Hídrico*. Lisboa.

— (2014b). *Ficha de Boas Práticas: Deteção de Fugas.* Lisboa.

— (2014c). *Ficha de Boas Práticas: Gestão de Pressões.* Lisboa.

— (2014d). *Ficha de Boas Práticas: Setorização da Rede.* Lisboa.

Decreto Regulamentar n.° 23/95 (de 23 de agosto). *Diário da República n.° 194/95 - I Série B.* Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.

Decreto-Lei n.° 10/2014 (de 6 de março). *Diário da República n.° 15/2014, Série I.* Ministério da Administração Interna. Lisboa.

Decreto-Lei n.° 194/2009 (de 20 de agosto). *Diário da República n.° 161/2009, Série I.* Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto-Lei n.° 92/2013 (de 11 de julho). *Diário da República n.° 132 - Série I.* Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

ERSAR (2016). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. Volume 1 - Caraterização do setor de águas e resíduos*. Entidade Reguladora de Águas e Resíduos (ERSAR).

Fanner, P. e A. Lambert (2001). «Calculating SRELL with Pressure Management, Active Leakage Control and Leak Run-Time Options, with confidence limits». Em:

Farley, M. (2001). *Leakage management and control, A best practice training manual*. World Health Organizatio.

Farley, M. e S. Trow (2003). *Losses in Water Distribution Networks*. 2ª edição. Londres: IWA Publishing.

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

Frauendorfer, R. e R. Liemberger (2010). *The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water*. 1ª edição. Asian Development Bank.

Hamilton, S. e R. McKenzie (2014). *Water Management and Water Loss*. IWA Publishing.

Lambert, A. (2015a). *FAVAD N1. Disponível em: http://www.leakssuite.com/concepts/favad/. Acedido a 19/05/2017 às 11:16*.

— (2015b). «Leakage Performance Indicators fit for purpose». Em: *Água & Ambiente*.

Lambert, A., T. Brown, M. Takizawa D. e Weimer (1999). «A review of performance indicators for real losses from water supply systems». Em: *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua* 48.6, pp. 227–237.

Lei n.° 35/2013 (de 11 de julho). *Diário da República n.° 42/2013 - Série I*. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.

Loureiro, D., A. Álvares e S. Coelho, eds. (2007). *Aplicação de sistemas de telemetria Domiciliária em Sistemas de Distribuição de Água. I Conferência INSSAA-Modelação de Sistemas de Abastecimento de Água*.

Mankenberg (2017). «Mankenberg Valves». Em: *https://www.mankenberg.de. Acedido a 21/06/2017 às 14:05*.

Martins, J.P. (2014). *Management of change in water companies - in search of sustainability and excellence*. IWA Publishing.

— (2016). *Gestão de Perdas de Água*. Porto: Apontamentos da unidade curricular Gestão de Sistemas Ambientais, MIEA, FEUP.

Matos, J.S. (2011). *Apontamentos de Sistemas de abastecimento de água e saneamento. Instituto superior técnico de Lisboa. Disponível em: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779576883621/Aula%20de%20VAE%20Abril%202011.pdf.*

Methods, H., T. M. Walski, D. V. Chase, D. A. Savic, W. M. Grayman, S. Beckwith e E. Koelle (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management.* 1ª edição. Civil, Environmental Engineering e Engineering Mechanics Faculty Publications.

Morrison, J., S. Tooms e D. Rogers (2007). *District Metered Areas: Guidance Notes.* 1º edição. IWA Publishing.

Paixão, M. (1999). *Águas e esgotos em urbanizações e instalações prediais.* 2ª edição. Alfragide.

PAM Saint-Gobain (2017). «PAM Valves». Em: *http://www.pamline.fr/catalog/details/RPRVT27VTX650. Acedido a 21/06/2017 às 09:16.*

Pegler (2017). «Pegler Valves». Em: *http://www.pegleryorkshire.co.uk/EN/Brands/Pegler/Check_Valves. Acedido a 15/06/2017 às 15:09.*

PENSAAR 2020 (2015). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020.* Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Gabinete do Secretário de Estado do Ambiente. Diário da República n.º 84/2015, Série II.

Sardinha, J., F. Serranito, A. Donnelly, V. Marmelo, P. Saraiva, N. Dias, R. Guimarães, D. Morais e V. Rocha (2017). *Controlo Ativo de Perdas de Águas - EPAL Technical Editions.* 2ª edição. Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A.

Venancio, S. (2009). *Abastecimento de Água - Capítulo IX: Reservatórios de Água.* Disponivel em: http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv00.htm. Acedido a 25/05/2017 às 16:05.

WSUP, Water Sanitation for the urban poor: (2017). *A Guide to Non-Revenue Water Reduction: How to Limit Losses, Strenghten Commercial Viability and Improve Services.*

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo A

Representação Gráfica do *Step Testing*

PRECIOSA ALVARO RODRIGUES
Line Site Name Measurand Units
Totalizador Aldoar Flow cum/hr
Totalizador Aldoar Pressure m
PRECIOSA ALVARO RODRIGUES Flow cum/hr
PRECIOSA ALVARO RODRIGUES Pressure m
GC-CUF GC-CUF cum/hr
GC-H.MAG.LEMOS GC-H.MAG.LEMOS cum/hr
GC-SUCH GC-SUCH cum/hr
cum/hr
m
1º
2º
3º
4º (1º valv.)
4º (2º valv.)
5º
6º
7º
8º
1 / 1
Thu 27 Apr 2017 23:45 (hour:min)

Anexo B

Determinação do ILI

Para se obter o ILI para a ZMC Preciosa-Mar Aldoar recorreu-se à Equação 4.1.

Deste modo, começou-se por se quantificar as CARL, determinando o mínimo dos CMN mensais para o período de um ano, os quais se apresentam na Tabela B.1.

Tabela B.1: Mínimo dos CMN mensais para a ZMC Preciosa-Mar Aldoar

Mês	CMN (m^3/h)
maio 2016	5,60
junho 2016	6,08
julho 2016	6,88
agosto 2016	6,36
setembro 2016	6,72
outubro 2016	6,68
novembro 2016	7,08
dezembro 2016	7,96
janeiro 2016	7,88
fevereiro 2016	9,04
março 2016	10,48
abril 2016	5,40
Mínimo	**5,40**

O valor das CARL é de 5,40 m^3/h, ou seja, é de 129 600 L/d.

Por último, determinou-se as UARL através da Equação 4.2, para isso foram utilizados os dados presentes na Tabela 5.2. Assim, o valor das UARL é de 28 538 L/d.

O ILI obtido foi de 4,5.

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo C

Determinação do FND

Para a determinação do FND, tendo-se calculado o ILI, procedeu-se à determinação do exponente N1.

Na Tabela C.1 podem observar-se os dados necessários para o cálculo do expoente N1 a partir da Equação 4.6, assim como o valor do mesmo.

Tabela C.1: Dados utilizados para o cálculo do expoente N1 e seu valor

Parâmetro	Valor
p	15
ILI	4,5
N1	**1,4**

Determinado o exponente N1, aferiu-se o valor das restantes variáveis necessárias para determinar o FND, segundo a Equação 4.5.

Na Tabela C.2 encontram-se as médias das pressões horárias dos 7 dias de cada uma das 4 semanas distribuídas por cada um dos 4 trimestres do ano em estudo (maio de 2016 a abril de 2017). Para as pressões horárias obtidas, a pressão à qual correspondia o menor caudal observado era 31 m.c.a, sendo portanto esta a P_{min}.

Tabela C.2: Médias das pressões horárias utilizadas para a determinação do FND

Hora	Média das pressões (m.c.a.)
00h - 01h	36
01h - 02h	36
02h - 03h	30
03h - 04h	31
04h - 05h	31
05h - 06h	31
06h - 07h	43
07h - 08h	43
08h - 09h	47
09h - 10h	47
10h - 11h	47
11h - 12h	46
12h - 13h	47
13h - 14h	46
14h - 15h	46
15h - 16h	44
16h - 17h	43
17h - 18h	42
18h - 19h	42
19h - 20h	41
20h - 21h	41
21h - 22h	42
22h - 23h	43
23h - 24h	42

Aplicando os dados determinados, a Equação 4.5 traduz-se num valor do FND de 26,7 h/d.

Anexo D

Procedimento Geral para Realização de um *Step Testing* na AdPorto

1. Planeamento do *Step Testing*

   (a) Elaborar um mapa da zona do teste, através do *software* de cadastro da rede (SIG), com a indicação de:

      i. Nomes das ruas;
      ii. Traçado das condutas (materiais e diâmetros);
      iii. Válvulas de seccionamento, com as suas posições (fechadas ou abertas) e, caso aplicável, com a direção de fecho;
      iv. Grandes clientes.

   (b) Enviar, quando necessário, avisos prévios aos clientes afetados pelo teste, de acordo com a legislação em vigor. E, no caso de existirem consumidores aos quais o abastecimento de água não possa ser suprimido, realizar a leitura dos respetivos contadores e subtrair o valor consumido ao total do caudal de entrada na zona, durante a realização do teste.

   (c) Garantir que o medidor de caudal se encontra associado a um *data logger* ou a um sistema de telemetria/ telegestão para que se registe o caudal, de modo a que se consiga analisar as manobras efetuadas (fecho de válvulas) e eventuais reduções de caudais. E definir o *data logger* para registar o caudal de 1 em 1 minuto durante a realização do *step testing*.

   (d) Definir as subzonas e as suas ordem e hora de fecho, de modo a abranger toda a zona do teste e tendo em conta que o teste se deve realizar da subzona mais afastada para a subzona mais próxima do medidor de caudal. Para cada subzona, definir as válvulas a fechar.

   (e) Verificar o estado das válvulas a operar durante o teste e se estas não se encontrarem nas condições adequadas, proceder à sua substituição.

(f) Proceder ao fecho, durante o dia, das válvulas selecionadas que não interrompam o abastecimento de água aos clientes.

(g) Ter conhecimento do CMN e dos CAN dos grandes clientes para que seja possível estabelecer uma comparação com os resultados a obter.

2. Realização do *Step Testing*

(a) Iniciar o *step testing*, cumprindo a ordem e a hora de fecho de cada subzona.

(b) Para cada subzona:

i. Fechar as válvulas sequenciais;

ii. Realizar um TPZ para garantir a estanquidade da subzona (colocar manómetro num hidrante, por exemplo, dentro da subzona);

iii. Aguardar 15 minutos (sugestão).

(c) Quando todas as subzonas estiverem fechadas, proceder à abertura das mesmas, seguindo a ordem inversa à do fecho.

Material necessário:

- Manómetros;
- Martelos e ferramentas básicas;
- Chave de abertura de tampas de cabeça móvel;
- Chave de hidrantes que serve como haste de escuta;
- Chave de manobras.

3. Análise de Resultados

(a) Analisar a variação do caudal e da pressão para o período do teste no medidor de caudal da entrada e a variação do caudal nos contadores dos grandes clientes e noutros medidores de caudal que possam existir dentro da zona analisada, através do *software* de monitorização e controlo.

(b) Identificar as variações de caudal que indiquem uma possível perda e localizá-la para posterior sondagem acústica.

Observações: Um *step testing* requer o envolvimento de um técnico responsável pelo planeamento e acompanhamento durante a realização do mesmo e pela análise de resultados. Para além disso, requer dois operadores para o fecho das válvulas durante o dia e aquando da sua realização.