

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2021/2022

REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Otimização da Solução de Setorização Interior da Rede de
Abastecimento da Cidade do Porto

BRUNA FILIPA MARTINS PEREIRA

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador: Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins
do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto

Coorientador: Engenheiro Flávio Reis Oliveira - Coordenador do
Abastecimento de Água na Águas e Energia do Porto, E.M.

SETEMBRO DE 2022

Ao meu avô.

If there is magic on this planet, it is contained in water.

Loren Eiseley

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação em ambiente empresarial nas Águas e Energia do Porto, E.M. não teria sido possível sem a oportunidade concedida pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Um especial obrigado ao Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins pelos conselhos, ajuda, conhecimentos transmitidos e orientação neste percurso.

Ao Eng. Flávio Oliveira, um sincero obrigado pelo tempo, disponibilidade, orientação, sabedoria, confiança e apoio na revisão da dissertação.

À Eng. Susana Garcia, um especial agradecimento pelo acompanhamento diário prestado, que foi imprescindível na realização desta dissertação.

À Eduarda Barroso e restante equipa da Gestão de Operações, um gigante obrigado pela receção calorosa e companhia ao longo do trabalho.

Ao Sr. Fortuna e aos sondadores pelas inúmeras e enriquecedoras visitas ao terreno.

À minha família, pelo apoio nesta etapa da minha vida.

Às minhas amigas para a vida, Sofia Jesus e Magdolna Nagy, por ouvirem os meus desabafos e preocupações.

Por fim, um obrigado a mim por ter acreditado em mim, pelo trabalho árduo e por não ter desistido.

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

RESUMO

No âmbito do Mestrado de Engenharia do Ambiente, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi realizada a presente dissertação em ambiente empresarial na Águas e Energia do Porto, E.M. com o principal objetivo da otimização da atual solução de setorização interior da rede de abastecimento de água da cidade do Porto para a redução das perdas de água, considerando os custos e benefícios deste processo.

A redução e o controlo das perdas reais de água nos sistemas de abastecimento de água é um dos objetivos mais importantes das entidades gestoras. Deste modo, existem diversos métodos de redução e controlo sendo a setorização uma medida eficaz e de baixo investimento. Aliada à setorização, a gestão de pressões também apresenta um papel importante na medida em que é possível diminuir as flutuações da pressão ao longo do dia que representam um fator influenciador na ocorrência de roturas e, consequentemente, aumento do volume de perdas de água.

O presente trabalho teve como foco o Projeto “Setorização Mais”, nomeadamente a Fase 2, em que foram elaboradas e validadas soluções de setorização interior para as zonas de medição e controlo existentes, assim como, soluções de implementação de válvulas redutoras de pressão. As metodologias aplicadas a cada caso são, também, especificadas de modo a ser possível executar o correto dimensionamento destas novas zonas de setorização e de gestão de pressões.

Por fim, é efetuada uma estimativa orçamental do investimento necessário e o cálculo do volume de perdas reais de água resultante da setorização e gestão de pressões com base nos resultados obtidos da Fase 1 do Projeto “Setorização Mais”, sendo assim possível obter o *payback period* deste investimento.

Os resultados obtidos neste estudo comprovam a importância da implementação de medidas de redução de perdas de água, nomeadamente a setorização e gestão de pressões, contribuindo assim para o aumento da eficiência da entidade gestora do sistema de abastecimento de água.

PALAVRAS-CHAVE: perdas reais de água, sistema de abastecimento de água, zona de medição e controlo, gestão da pressão, investimento e *payback period*.

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

ABSTRACT

Under the Master's Degree in Environmental Engineering, from the Faculty of Engineering of the University of Porto, this dissertation was carried out in a business environment in Águas e Energia do Porto, E.M. with the main objective of optimizing the current solution of interior district metered area design of the water supply network of Porto to reduce water losses, considering the costs and benefits of this project.

Reducing and controlling water losses in water supply systems is one of the most important objectives of managing entities. There are several methods of reduction and control, and district metered area design is an effective and low-investment measure. Pressure management also plays a key role in reducing pressure fluctuations throughout the day which represent an influencing factor in the occurrence of ruptures and an increase in the volume of water losses.

The present work is focused on the "Setorização Mais" project, namely Phase 2, in which interior district metered areas design solutions were elaborated and validated for the existing district metered areas and pressure-reducing valve implementation solutions. The methodologies applied to each case are also specified for the design of these new district metered areas and the pressure management of the water supply network.

Finally, a budget estimate of the investment is made and the value of the volume of water losses resulting from the district metered areas design and pressure management is obtained, based on the results from Phase 1 of the "Setorização Mais" project. This way is possible to acquire the payback period of this investment.

The results achieved in this study prove the importance of implementing measures to reduce water losses, namely district metered areas design and pressure management, contributing to the increase of the efficiency of the managing entity of the water supply system.

KEYWORDS: water losses, water supply system, district metered area, pressure management, investment and payback period.

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

ÍNDICE GERAL

Resumo	i
Abstract.....	iii
1. Introdução	1
1.1. Descrição do Problema.....	1
1.2. Organização da Dissertação.....	2
2. Enquadramento do Setor do Abastecimento de Água.....	5
2.1. O Abastecimento de Água em Portugal.....	5
2.1.1. Evolução do Setor ao Longo do Tempo	5
2.1.2. Importância, Objetivos e Legislação aplicável	6
2.1.3. Modelos de Gestão das Entidades Gestoras.....	7
2.1.4. Modelo Regulatório – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos	8
2.2. Caracterização de um Sistema de Abastecimento de Água.....	9
2.2.1. Componente “em Alta”	9
2.2.2. Componente “em Baixa”	10
2.2.2.1. Armazenamento de Água Tratada	12
2.2.2.2. Transporte e Distribuição	15
2.2.2.3. Equipamentos da Rede de Distribuição	16
2.3. Principais Problemas do Setor do Abastecimento de Água e a Gestão da Água Não Faturada.....	22
3. Perdas de Água.....	29
3.1. Tipologias.....	30
3.2. Fatores influenciadores das Perdas Reais	30
3.3. Roturas e Perdas de base nas Infraestruturas hidráulicas	33
3.4. Redução das Perdas Reais	34
3.4.1. Balanço Hídrico.....	35
3.4.2. Gestão e Redução da Pressão na Rede e da sua Flutuação.....	36
3.4.3. Controlo Ativo de Perdas	39
3.4.4. Setorização da Rede de Distribuição	42
3.4.4.1. Conceito de ZMC	43
3.4.4.2. Equipamentos de monitorização	44
3.4.5. Rapidez e Qualidade da Reparação das Avarias detetadas	45

3.4.6.	Gestão Patrimonial das Infraestruturas e dos Ativos.....	45
4.	Âmbitos e Objetivos da Dissertação	47
5.	Águas e Energia do Porto, E.M.	49
5.1.	Enquadramento Histórico da EG	49
5.2.	O Sistema de Abastecimento de Água.....	51
5.3.	Água Não Faturada e Perdas Reais	52
5.4.	Programa Estratégico de Gestão e Redução da ANF	53
6.	Setorização da Rede da Cidade do Porto – Estudo Prévio e Aplicação Real	55
6.1.	Preâmbulo.....	55
6.2.	Projeto Setorização Mais: Fase 1	55
6.2.1.	Objetivos, Âmbito e Caracterização	55
6.2.2.	Dimensionamento e Empreitada	56
6.2.2.1.	Disposições Construtivas e Notas Gerais.....	58
6.2.3.	Estimativa Orçamental	59
6.2.4.	Resultados Obtidos e Input para a Fase 2	60
6.3.	Metodologia Aplicada	61
6.3.1.	Zonas de Medição e Controlo	61
6.3.1.1.	Nível Económico de Perdas.....	62
6.3.1.2.	Densidade Geográfica dos Consumidores – Clientes e Ramais	62
6.3.1.3.	Variação Topográfica do Terreno	62
6.3.1.4.	Qualidade da Água	63
6.3.1.5.	Dimensão – Objetivo face à Situação Operacional da EG	63
6.3.2.	Zonas de Redução de Pressão	63
6.3.2.1.	Influência da Pressão nas Perdas de Água	64
6.3.2.2.	Potenciais Adversidades da Redução da Pressão	65
6.4.	Projeto Setorização Mais: Fase 2	66
6.4.1.	Objetivos, Âmbito e Caracterização	66
6.4.2.	Dimensionamento das Zonas Interiores	66
6.4.2.1.	Softwares Utilizados.....	66
6.4.2.2.	Calibração dos modelos.....	67
6.4.2.3.	Processo de Setorização.....	69
6.4.2.4.	Exemplo da Aplicação do Processo de Setorização para as ZMC	71

6.4.2.5.	Exemplo da Aplicação do Processo de Setorização para as ZRP.....	73
6.4.3.	Sub-ZMC Dimensionadas	76
6.4.4.	Estimativa Orçamental e Poupança anual	78
7.	Considerações Finais	81
7.1.	Conclusões	81
7.2.	Recomendações para Trabalhos Futuros.....	82
	Referências Bibliográficas	83
	Anexos	86

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Aqueduto da Amoreira (C.M. de Elvas, 2020).....	5
Figura 2. 2 – Distribuição geográficas das EG em Portugal, à esquerda “em alta” e à direita “em baixa” (ERSAR, 2022).....	6
Figura 2. 3 – Ciclo do Abastecimento de Água (ERSAR, 2022).....	9
Figura 2. 4 - Indicadores gerais do setor de abastecimento de água “em Alta” (ERSAR, 2022).....	10
Figura 2. 5 - Distribuição geográfica das EG “em Alta” (ERSAR, 2022).....	10
Figura 2. 6 – Distribuição geográfica da EG “em Baixa” (ERSAR, 2022).....	11
Figura 2. 7 - Indicadores gerais do setor de abastecimento de água “em Baixa” (ERSAR, 2022).....	11
Figura 2. 8 – Grupos eletrobomba da Estação Elevatória de Santo Isidro, no Porto (atualmente fora de serviço).....	12
Figura 2. 9 – Torre dos Congregados, no Porto (célula elevada).....	13
Figura 2. 10 – Reservatório dos Congregados, no Porto (células apoiadas)	13
Figura 2. 11 – Reservatório de Santo Isidro, no Porto (células enterradas).....	14
Figura 2. 12 – Reservatório de Nova Sintra, no Porto (células semienterradas).....	14
Figura 2. 13 – Diferentes tipos de redes: a) ramificada; b) emalhada; c) mista, em que R representa o reservatório (Piqueiro, 2020).....	15
Figura 2. 14 – Válvula de cunha elástica da rede (esquerda), cunha elástica de ramal (centro) e cunha metálica (direita) (Fucoli Somepal).....	16
Figura 2. 15 – Válvula de borboleta, sem (esquerda) e com atuador (direita) (Fucoli Somepal).....	16
Figura 2. 16 – Válvula de descarga de fundo (Fucoli Somepal).....	17
Figura 2. 17 – Válvulas de retenção do tipo bola (esquerda), borboleta (centro) e com obturador (direita) (Fucoli Somepal).	17
Figura 2. 18 – VRP (Humberto Poças, SA).	17
Figura 2. 19 – Válvula de mural (Fucoli Somepal).....	18
Figura 2. 20 – Válvula altimétrica do Reservatório dos Congregados, no Porto.	18
Figura 2. 21 – Câmara de manobra na Rua do Cativo, no Porto.	18
Figura 2. 22 – Ventosa de simples (esquerda), duplo (centro) e triplo efeito (direita) (Fucoli Somepal).	19
Figura 2. 23 – Caudalímetro utilizado no SAA da cidade do Porto (Krohne).....	19
Figura 2. 24 – Manómetro.	19
Figura 2. 25 – Boca de rega e lavagem (Fucoli Somepal).	20
Figura 2. 26 – Boca de incêndio de parede (esquerda), hidrante enterrado (centro) e dois marcos de incêndio (direita) (Fucoli Somepal).....	20
Figura 2. 27 – Exemplos de várias juntas multimateriais, de garras, de desmontagem, de ligação, de transição/gibault e cega (Fucoli Somepal).	20
Figura 2. 28 – Tubagem simples (esquerda) e flangeada (direita) (Fucoli Somepal).	21

Figura 2. 29 – Curvas (esquerda), tês (centro esquerda), forquilha (centro direita) e cruzetas (direita) (Fucoli Somepal).	21
Figura 2. 30 – União (esquerda) e cone de redução (direita) (Fucoli Somepal).	21
Figura 2. 31 – Filtro do tipo H (esquerda) (CLA-VAL) e do tipo Y (direita) (Fucoli Somepal).	22
Figura 2. 32 – Distribuição geográfica da ANF em Portugal com base na qualidade do serviço, em 2020 (APDA, 2020).	26
Figura 2. 33 – Evolução da média nacional de ANF desde 2011 até 2020 (APDA, 2020).	27
Figura 2. 34 – Evolução da média nacional das perdas reais desde 2011 até 2020 (APDA, 2020).	27
Figura 2. 35 – Relação entre a ANF, AES e AF (Martins, 2021).	27
Figura 3. 1 – Diagrama de SAA com pontos-chave de monitorização de perdas de água (Farley M., 2001).	29
Figura 3. 2 – Relação entre o volume de água perdido e o tempo de reconhecimento (Farley et al., 2008).	33
Figura 3. 3 – Rotura numa conduta adutora no Porto (AEdP, 2019).	34
Figura 3. 4 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída fixa (Alegre et al., 2005).	37
Figura 3. 5 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída regulada por tempo (Alegre et al., 2005).	38
Figura 3. 6 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída regulada pelo caudal (Alegre et al., 2005).	38
Figura 3. 7 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída modulada por pressão em ponto crítico (Alegre et al., 2005).	39
Figura 3. 8 – VRP instalada na Rua de D. Hugo, no Porto (A – VRP; B – Caudalímetro; C – Filtro do tipo H; e D – Válvulas de seccionamento).	39
Figura 3. 9 – Loggers acústicos utilizados na AEdP.	40
Figura 3. 10 – Correladores de ruído utilizados na AEdP.	41
Figura 3. 11 – Geofone utilizado na AEdP.	41
Figura 3. 12 – Funcionamento de uma haste de som tradicional na AEdP.	42
Figura 3. 13 – Esquema de concretização da setorização de uma rede de distribuição de água (Farley M., 2001)	42
Figura 3. 14 – Variação do caudal noturno em função do tempo (Morrison et al., 2007).	43
Figura 3. 15 – Medidor de pressão (A) e data logger (B) da câmara de manobra da Rua de Dr. Ricardo Jorge, no Porto.	44
Figura 3. 16 – Variação da pressão comunicada pelo data logger da Rua de Dr. Ricardo Jorge, no Porto.	45
Figura 5. 1 – Sede da AEdP, no Porto (Rua Barão de Nova Sintra, n.º 285).	49
Figura 5. 2 – Organograma atual da AEdP (Adaptado de AEdP, 2022).	50
Figura 5. 3 – Mapa das ZMC principais do SAA da AEdP (Obtido do SIG a 27-06-2022).	51
Figura 5. 4 – Mapa das Sub-ZMC interiores do SAA da AEdP (Obtido do SIG a 27-06-2022).	52
Figura 5. 5 – Variação do índice de ANF entre 2006 e 2021 (AEdP, 2022).	52

Figura 5. 6 – Poupança económica acumulada entre 2006 e 2021 (AEdP, 2022).	53
Figura 6. 1 – ZMC principais no Município do Porto aquando do arranque do projeto (AEdP, 2019).	56
Figura 6. 2 – Sub-ZMC interiores no Município do Porto aquando do arranque do projeto (AEdP, 2019).	56
Figura 6. 3 – Sub-ZMC interiores definidas para implementação (AEdP, 2019).	57
Figura 6. 4 – Exemplo de planta do caudalímetro e caixa de manobra na Sub-ZMC “Nova do Tronco” (AEdP, 2019).	57
Figura 6. 5 – Exemplo de planta do caudalímetro e caixa de manobra na Sub-ZMC “São Roque” (AEdP, 2019).	58
Figura 6. 6 – Relação das perdas reais de água com a AES nos anos 2019 e 2021.	60
Figura 6. 7 – Fases de conceção e implementação (Farley M., 2001).	61
Figura 6. 8 – Exemplo de descarga controlada de um marco de incêndio localizado num troço “sem saída”, na AEdP.	63
Figura 6. 9 – Ponto crítico de uma ZRP (AZP – “Average Zone Pressure”) (Farley M., 2001).	64
Figura 6. 10 – Relação entre as variações de pressão e o caudal de perdas reais de água (Alegre et al., 2005).	65
Figura 6. 11 – ZMC principais e Sub-ZMC interiores alvo de setorização (Mapa obtido do SIG a 19-08-2022).	66
Figura 6. 12 – Informações do reservatório criado para a calibração.	68
Figura 6. 13 – Padrão criado para a calibração do modelo.	68
Figura 6. 14 – Gráfico de comparação entre os valores antes e depois da calibração do modelo.	69
Figura 6. 15 – Sub-ZMC “Santa Catarina” e localização do respetivo caudalímetro (Obtido do SIG a 27-06-2022).	71
Figura 6. 16 – Sub-ZMC “Galerias” resultante da setorização (Mapa obtido do SIG a 27-06-2022).	72
Figura 6. 17 – Sub-ZMC “Carmo”, “Mouzinho de Albuquerque” e localização dos respetivos caudalímetros (Obtido do SIG a 29-06-2022).	72
Figura 6. 18 – Sub-ZMC “Cedofeita” e “Mouzinho de Albuquerque” resultantes da setorização (Mapa obtido do SIG a 29-06-2022).	73
Figura 6. 19 – ZMC “Preciosa Mar-Sul” e localização do respetivo caudalímetro (Obtido do SIG a 29-06-2022).	73
Figura 6. 20 – Sub-ZMC “Pinhais da Foz” e “Serralves” resultantes da setorização (Mapa obtido do SIG a 29-06-2022).	74
Figura 6. 21 – Pressões na ZMC “Preciosa do Mar-Sul” após setorização.	74
Figura 6. 22 – Variação da pressão no ponto de entrada da ZRP após a instalação da VRP.	75
Figura 6. 23 – Variação da pressão no ponto crítico da ZRP após a instalação da VRP.	75
Figura 6. 24 – ZRP “VRP Diogo Botelho” resultante da modelação (Mapa obtido do SIG a 29-06-2022).	76
Figura 6. 25 – Sub-ZMC (vermelho) e ZRP (verde) criadas (Mapa obtido do SIG a 19-08-2022).	78

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. 1 – Modelos de gestão dos serviços de águas e resíduos (Adaptado de ERSAR, 2022)	7
Tabela 2. 2 – Focos principais das fases estratégicas de 2000 a 2022 (Adaptado de Ministério do Ambiente e da Ação Climática, 2022)	22
Tabela 3. 1 – Estratégia para controlo de perdas (Farley M., 2001)	34
Tabela 3. 2 – Matriz do BH (IWA, 2000).....	35
Tabela 6. 1 – Estimativa orçamental da Fase 1 do projeto por componentes.....	60
Tabela 6. 2 – Valores recomendados para o expoente “n” (Adaptado de Alegre et al., 2005)	65
Tabela 6. 3 – Valores do ponto inicial (data logger) da rede calculados às 00h00.....	67
Tabela 6. 4 – ZMC principais e Sub-ZMC alvo de setorização.....	69
Tabela 6. 5 – Resultados do dimensionamento das Sub-ZMC	76
Tabela 6. 6 – Estimativa orçamental do projeto	79
Tabela 6. 7 – Resultados de poupança anual de água após a instalação das VRP	80
Tabela A. 1 – Valores necessários à calibração do modelo	87

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

ACRÓNIMOS

AA	Abastecimento de Água
AC	Aço
ACi	Aço Inoxidável
AdDP	Águas do Douro e Paiva
AEdP	Águas e Energia do Porto, E.M.
AES	Água Entrada no Sistema
AF	Água Faturada
ANF	Água Não Faturada
APDA	Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas
BE	Betão
BH	Balanço Hídrico
CAP	Controlo Ativo de Perdas
EE	Estação Elevatória
EG	Entidade Gestora
EPAL	Empresa Portuguesa das Águas Livres
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA	Estação de Tratamento de Águas
FC	Fibrocimento
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FF	Ferro Fundido
FFD	Ferro Fundido Dúctil
FG	Ferro Galvanizado
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IWA	<i>International Water Association</i>
MEA	Mestrado em Engenharia do Ambiente
NEP	Nível Económico de Perdas
PEAASAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento das Águas Residuais
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEMD	Polietileno de Média Densidade

PENSAAR	Nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento das Águas Residuais
PENSAARP	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento das Águas Residuais
PRV	Fibra de Vidro
PVC	Policloreto de Vinilo
R&C	Relatório e Contas
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
SIIPA	Sistema de Informação de Indicadores de Perdas de Água
SMAS	Serviços Municipalizados de Água e Saneamento
VRP	Válvula Redutora de Pressão
ZMC	Zona de Medição e Controlo
ZRP	Zona de Redução de Pressão

1

INTRODUÇÃO

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A água sempre foi e continuará a ser um bem essencial à vida, e no decorrer dos séculos a sua qualidade tem melhorado significativamente graças à evolução dos processos de tratamento. Contudo, apesar da água que chega aos consumidores possuir algumas das melhores características, esta pode apresentar diversos problemas relativamente ao seu armazenamento, transporte e distribuição. Nos reservatórios de água tratada e ao longo das condutas que transportam a água podem ocorrer roturas, roturas essas que são responsáveis pelas perdas reais, o que leva a um aumento da água não faturada (ANF) registada pela entidade gestora (EG). Geralmente a ANF é constituída maioritariamente por perdas reais, contudo existem as perdas aparentes e os consumos de água não autorizados que podem ser definidos como água que não providenciou lucro para a EG, mas foi consumida. A água perdida devido às perdas reais é considerada um desperdício ambiental, operacional, social e económico-financeiro e é imprescindível que a sua percentagem em relação à água entrada no sistema (AES) seja a menor possível.

É de notar que a AES é um investimento para a EG e o seu retorno é proveniente da água faturada (AF). Caso o valor do retorno seja inferior ao investimento realizado, a EG está a ser prejudicada e, consequentemente, os consumidores também, visto que de modo a compensar o custo em falta, as tarifas da água podem aumentar significativamente. Por outro lado, com a diminuição das perdas reais, o desperdício de água é menor e é possível obter o maior retorno do investimento da AES, diminuindo, assim, o valor das tarifas em vigor, ou, em último recurso, impedir o seu aumento desnecessário.

Além da problemática económica, cada vez mais é importante preservar a água que existe devido à sua escassez e a opinião pública tem um peso muito grande sobre este assunto, sendo que em casos de má gestão pode gerar-se um problema de credibilidade e prejudicar a reputação da EG e a confiança que os respetivos consumidores depositam na mesma.

Apesar dos valores de ANF em Portugal terem diminuído ao longo dos anos, graças à monitorização constante da rede de abastecimento, reparação quase imediata das roturas e à prevenção das mesmas, é ainda possível melhorar e obter valores de ANF cada vez menores. No ano de 2020, o valor médio da ANF divulgado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) em Portugal foi de 28,7%, para a componente “em baixa” e 5,7% para a componente “em alta”. O valor de 28,7% representa todas as EG “em baixa” em Portugal, contudo nem todas comunicaram a ANF que registaram nesse ano. Embora algumas EG apresentem valores de ANF de cerca de 10%, grande parte das EG do país possui uma percentagem de ANF superior a 40%, o que representa quase metade da AES em cada uma (ERSAR, 2022).

Devido às diferentes razões apresentadas é essencial aumentar a eficiência das EG de modo a existir a diminuição da ANF e, mais concretamente, das perdas reais. A melhoria desta componente permite às EG poupar dinheiro que pode ser investido noutros setores, atenua as tarifas em vigor, o que resulta numa maior satisfação dos consumidores e, conseqüentemente, numa melhor reputação da EG e, o mais importante, a água não é desperdiçada.

Por fim, um dos assuntos mais sérios relativamente às perdas de água é a seca que se tem registado em Portugal, que torna a água que ainda se encontra disponível, cada vez mais escassa. Segundo o Boletim de Seca de 15 de maio de 2022, publicado pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), 19,8% do país encontra-se em seca moderada e os restantes 80,2% em seca severa, sendo que o período de outubro de 2021 a maio de 2022 é o segundo mais seco desde 1931. É esperado que este período de seca se agrave cada vez mais no futuro, o que reforça a necessidade emergente de aumentar a eficiência das EG no que respeita, principalmente, à gestão consciente deste bem essencial que é a água (IPMA, 2022).

A presente dissertação foi desenvolvida com o principal objetivo de otimizar a atual solução de setorização interior da rede abastecimento da cidade do Porto, de modo a reduzir as perdas de água, tendo sido efetuada a pesquisa bibliográfica relativa a este tema.

1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

Capítulo 1

Capítulo de enquadramento do âmbito geral da dissertação.

Capítulo 2

Capítulo onde é apresentado um enquadramento geral do Setor do Abastecimento de Água em Portugal, abordando a sua evolução, importância e gestão. Além disso, é realizada a caracterização de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) tendo em conta as suas diferentes componentes e, por fim, são apresentados os principais problemas neste setor e como é executada a gestão da ANF.

Capítulo 3

Este capítulo apresenta o tema geral da dissertação e engloba as perdas reais, sendo referidas as suas tipologias, fatores que as influenciam e, mais importante, como é concretizada a sua redução e mitigação. São apresentados diversos conceitos como as Zonas de Medição e Controlo (ZMC), o controlo e gestão da pressão na rede, o Controlo Ativo de Perdas (CAP) e o Balanço Hídrico (BH), dentro do tema “Setorização da Rede de Distribuição”. Neste capítulo são ainda abordados alguns equipamentos utilizados para a monitorização e controlo da rede.

Capítulo 4

Capítulo onde são identificados o âmbito e objetivos da presente dissertação.

Capítulo 5

Capítulo de enquadramento da EG que aborda a sua história, a sua evolução em termos de ANF e perdas reais.

Capítulo 6

Este capítulo apresenta o projeto “Setorização Mais”, o foco prático da presente dissertação. Estão incluídas as metodologias aplicadas e um estudo prévio da fase anterior, assim como os resultados obtidos em relação às estimativas de poupança de água no futuro. São apresentadas ainda alguns exemplos de modelação das ZMC.

Capítulo 7

Capítulo onde são apresentadas as considerações finais relativamente aos resultados obtidos e algumas recomendações para trabalhos futuros.

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

2

ENQUADRAMENTO DO SETOR DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1. O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL

2.1.1. EVOLUÇÃO DO SETOR AO LONGO DO TEMPO

A água para consumo humano está cada vez mais acessível a toda a gente, contudo nem sempre foi assim. O primeiro aqueduto em Portugal foi construído entre o séc. XVI e XVII, denominado o Aqueduto da Amoreira (Figura 2.1), localizado em Elvas. Possui uma extensão de cerca de 1,3 Km em galerias subterrâneas desde a nascente e mais de 5 Km em arcadas, algumas com mais de 30 m de altura (C.M. de Elvas, 2020).



Figura 2. 1 – Aqueduto da Amoreira (C.M. de Elvas, 2020).

Ao longo dos séculos foram construídos mais de 40 aquedutos distribuídos por todo o País, sendo que Lisboa é o distrito com o aqueduto que foi declarado como Monumento Nacional desde 1910, o

Aqueduto das Águas Livres. Foi construído entre 1731 e 1799, foi capaz de resistir ao terramoto de 1755 e possui uma extensão de cerca de 58 Km (EPAL, 2022).

Em 1993 foi constituída a Águas de Portugal, SA, com o objetivo de desenvolver Sistemas Multimunicipais de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais. Em 2005 a Lei da Água transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva Quadro Água (Águas de Portugal, SA, 2015).

Atualmente existem cerca de 250 EG de abastecimento público de água em Portugal, o que resulta num total de aproximadamente 117 000 Km de rede de abastecimento de água construída, instalada e em funcionamento (ERSAR, 2020).

2.1.2. IMPORTÂNCIA, OBJETIVOS E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

O setor de abastecimento de água faz parte do ciclo urbano da água compreendendo todas as fases existentes desde a captação da água até à sua utilização. Todas estas fases e atividades são essenciais ao bem-estar, segurança e saúde da população, e ao mesmo tempo, importantes para a proteção do ambiente, tendo sempre em conta assuntos de cariz económico.

Com o objetivo principal de assegurar a distribuição de água própria para consumo a todos os habitantes de Portugal existem um elevado número de EG (cerca de 250), distribuídas por todo o país devido à elevada dispersão populacional, como está apresentado na Figura 2.2.

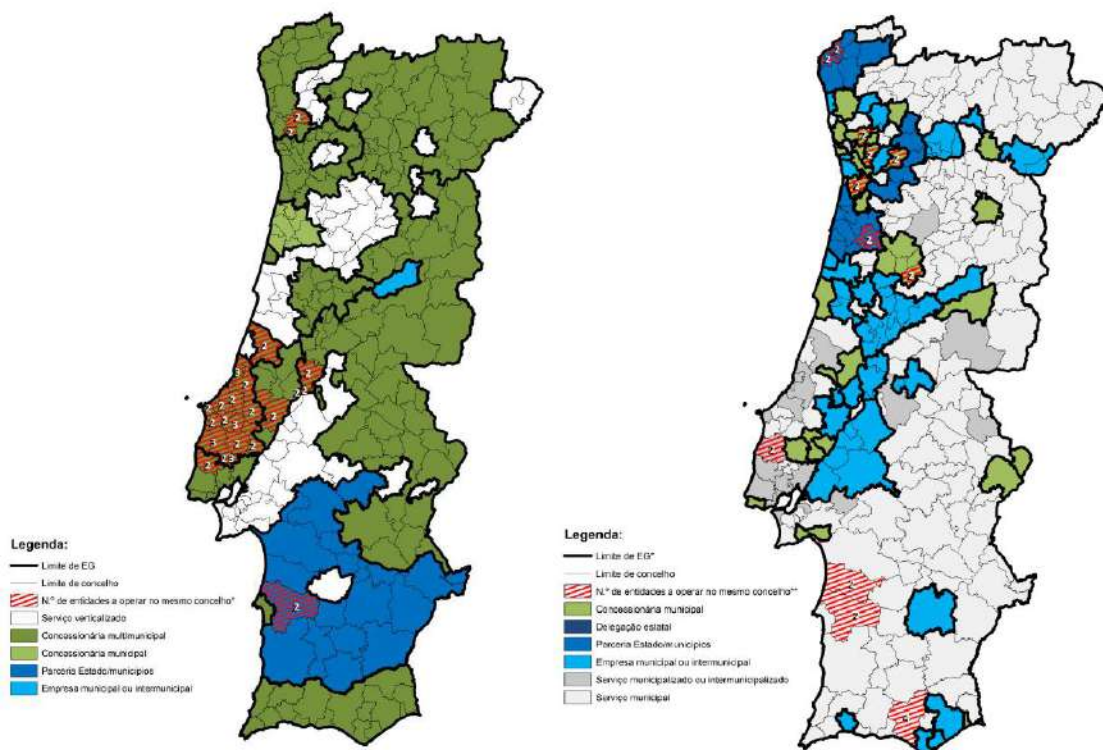


Figura 2. 2 – Distribuição geográficas das EG em Portugal, à esquerda “em alta” e à direita “em baixa” (ERSAR, 2022).

De acordo com a Ordem dos Engenheiros Região Norte existem os seguintes Decretos-Lei aplicáveis às diferentes atividades do SAA (Ordem dos Engenheiros Região Norte, 2022):

- **Sistemas Públicos e Distribuição de Água:** Decreto Regulamentar n.º 23/95 e Decreto-Lei n.º 194/2009;
- **Normas de Qualidade da Ambiental no Domínio da Política da Água:** Decretos-Lei n.º 218/2015 e 83/2011;
- **Regime Jurídico da Construção, Exploração e Gestão dos Sistemas Multimunicipais de Captação e Tratamento de Água para Consumo Público:** Decretos-Lei n.º 319/94, 195/2009 e 222/2003;
- **Perímetros de Proteção para Captações de Águas Subterrâneas destinadas ao Abastecimento Público:** Decreto-Lei n.º 382/99;
- **Regime da Qualidade da Água destinada ao Consumo Humano:** Decretos-Lei n.º 306/2007, 9/2021, 152/2017 e 92/2010;
- **Delimitação dos Perímetros de Protecção das Captações destinadas ao Abastecimento Público de Água para Consumo Humano:** Decreto-Lei n.º 702/2009;
- **Captação de Águas Subterrâneas:** Decretos-Lei n.º 141/2014, 84/2011, 97/2011, 133/2005, 131/2005.

2.1.3. MODELOS DE GESTÃO DAS ENTIDADES GESTORAS

A responsabilidade da distribuição da água pelo país está dividida entre os Municípios e o Estado, sendo que são considerados sistemas multimunicipais os sistemas de titularidade estatal que sirvam pelo menos dois municípios e exijam a intervenção do Estado em função de razões de interesse nacional, e sistemas municipais todos os outros, relativamente aos quais cabe aos Municípios, em conjunto ou isoladamente, através de associações de municípios, ou em parceria com o Estado, definir o modo de organização e gestão (também designados de titularidade municipal) (ERSAR, 2022).

Devido à diversidade dos modelos de gestão existentes, na Tabela 2.1 estão apresentados os modelos utilizados em sistemas de titularidade estatal e municipal ou intermunicipal.

Tabela 2. 1 – Modelos de gestão dos serviços de águas e resíduos (Adaptado de ERSAR, 2022)

Modelos de gestão utilizados em sistemas de titularidade estatal		
Modelo	Entidade Gestora	Tipo de colaboração
Gestão direta	Estado	Não aplicável
Gestão delegada	Empresa pública	Não aplicável
Gestão concessionada	Empresa concessionária multimunicipal	Participação do Estado e Municípios no capital social da entidade gestora concessionária, podendo ocorrer participação minoritária de capitais privados no caso dos serviços de abastecimento de água e saneamento de águas residuais ou maioritária no caso de serviços de gestão de resíduos urbanos

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
Gestão delegada	Empresa constituída em parceria com o Estado (integrada no setor empresarial local ou do Estado)	Participação do Estado e Municípios no capital social da entidade gestora da parceria
	Empresa do setor empresarial local sem participação do Estado (constituída nos termos da lei comercial)	Eventual participação de vários Municípios no capital social da entidade gestora, no caso de serviço intermunicipal, podendo ocorrer participação minoritária de capitais privados
Gestão concessionada	Empresa concessionária municipal	Parceria Público-Privada (Municípios e outras entidades privadas)

Relativamente à gestão direta dos sistemas de titularidade municipal, esta pode ser efetuada através dos respetivos serviços municipais, municipalizados ou intermunicipalizados que se regem pelo regime jurídico de funcionamento dos órgãos dos municípios e freguesias. O grau de autonomia administrativa e financeira é a principal diferença entre os serviços municipais e municipalizados. No caso da gestão delegada existe a criação de um contrato entre o município e a empresa que defina os objetivos e a política de preços a seguir pela empresa. Os municípios podem também constituir parcerias público-privadas institucionais, selecionando parceiros privados através de contratação pública (ERSAR, 2022).

2.1.4. MODELO REGULATÓRIO – ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS

A ERSAR tem como objetivo a supervisão e regulação dos setores de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos sólidos urbanos. Para além disso, tem capacidade para exercer funções de autoridade competente para a fiscalização e coordenação do regime da qualidade da água para consumo humano (água potável) (ERSAR, 2022).

Para assegurar este objetivo, a ERSAR possui um modelo regulatório e de supervisão que consiste em dois planos de intervenção. Num primeiro plano pela regulação estrutural dos setores e num segundo plano pela regulação dos comportamentos das entidades gestoras, que possuem atividades regulatórias complementares. A supervisão é uma tarefa paralela a esta regulação, tendo em conta que estas são complementadas com atividades de cooperação junto das partes interessadas (ERSAR, 2022):

- **Regulação estrutural dos setores:** contribuição para a organização, legislação e definição das regras do setor;

- **Regulação comportamental das entidades gestoras:** regulação legal, contratual, económica, da qualidade do serviço, da qualidade da água para consumo e da interface com os utilizadores;
- **Atividades regulatórias complementares:** contribuição para a informação e capacitação do setor e para a investigação, inovação e realização dos estudos;
- **Supervisão:** realização de ações de inspeção, de auditorias e outras ações de monitorização e aplicação de contraordenações e sanções;
- **Cooperação:** colaboração com entidades nacionais e internacionais.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Um SAA inclui todas as fases e atividades desde a captação da água bruta até à sua distribuição aos consumidores em formato potável. Ao longo deste percurso existem diferentes equipamentos e infraestruturas hidráulicas com funções distintas. De modo geral, um SAA possui as seguintes fases, pela seguinte ordem: captação de água bruta, tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA), elevação, transporte e armazenamento da água tratada, distribuição pela população e finalmente, utilização (Figura 2.3). Estas etapas estão ainda distribuídas nas componentes “em Alta” e “em Baixa”.



Figura 2. 3 – Ciclo do Abastecimento de Água (ERSAR, 2022).

2.2.1. COMPONENTE “EM ALTA”

A componente “em alta” num SAA inclui as fases desde a captação até ao transporte de água tratada para a componente “em baixa”, ou seja, é o início do ciclo de abastecimento. Esta componente inclui os pontos onde é efetuada a captação da água bruta, as estações elevatórias, as ETA e as condutas adutoras até aos reservatórios. O serviço de abastecimento “em alta” é efetuado, na maior parte, por entidades concessionárias que abrangem cerca de 72% da população. Na Figura 2.4 está apresentada a distribuição geográfica das componentes “em alta” em Portugal continental, com referência ao final de 2020.

Para além da distribuição geográfica das EG é importante considerar os indicadores gerais que caracterizam o peso percentual dos vários modelos de gestão. Estes indicadores são o tipo de EG e os concelhos, área e população abrangidos pelos vários modelos. Na Figura 2.5 é possível observar estes indicadores.

Verifica-se que as concessões multimunicipais são o modelo de gestão predominante na vertente “em alta”, possuindo uma percentagem de 74%, que corresponde a 174 municípios e mais de 5 milhões de habitantes.

As delegações estatais também possuem uma percentagem relevante, apesar de a única entidade ser a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL). Como existe uma população de quase 2 milhões de habitantes que são abrangidos “em alta” pela EPAL, tendo em conta a densidade populacional da água que servem, as delegações estatais tornam-se o segundo modelo de gestão mais predominante.

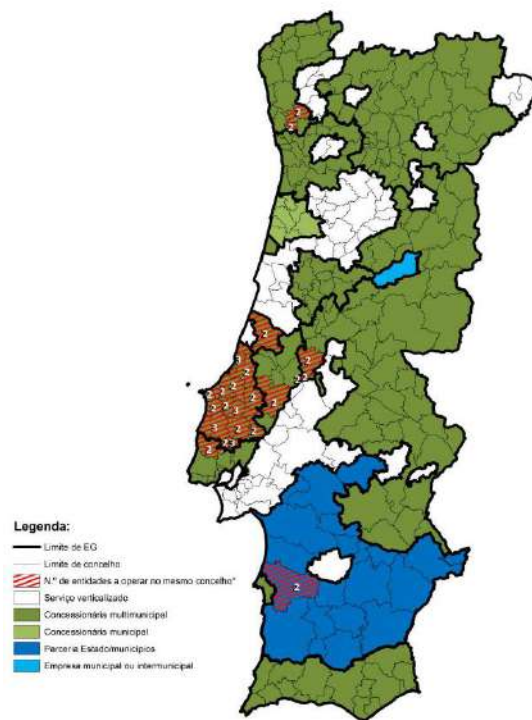


Figura 2. 4 - Distribuição geográfica das EG “em Alta” (ERSAR, 2022).



Figura 2. 5 - Indicadores gerais do setor de abastecimento de água “em Alta” (ERSAR, 2022)

2.2.2. COMPONENTE “EM BAIXA”

A componente “em baixa” compõe o restante do ciclo de abastecimento, ou seja, desde que a componente “em alta” fornece a água tratada até ao momento em que é distribuída pelos consumidores finais. Inclui, então, os reservatórios de água tratada, as estações elevatórias para a distribuição, as condutas adutoras, a rede de distribuição e os ramais domiciliários. No serviço de abastecimento “em baixa” o que se destaca mais é o modelo de gestão direta, ou seja, os serviços municipais, municipalizados e intermunicipalizados, com uma abrangência de 48% da população. Na Figura 2.6 está apresentada a distribuição geográfica das componentes “em baixa” em Portugal continental, no final de 2020.

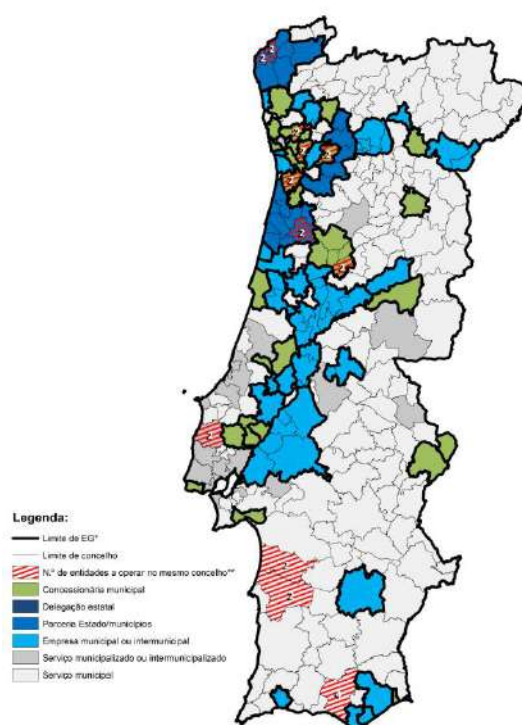


Figura 2. 6 – Distribuição geográfica da EG “em Baixa” (ERSAR, 2022)

Tal como no caso das EG “em alta”, também se aplicam indicadores gerais para a vertente “em baixa”, que estão apresentados na Figura 2.7.

Verifica-se que o modelo de gestão dos serviços municipais é o predominante nesta vertente, com uma percentagem de 55% da totalidade de Municípios, ou seja 159, e com um total de 2,6 milhões de habitantes abrangidos.

Apesar de abranger praticamente a mesma quantidade de população que os serviços municipalizados e intermunicipalizados, que apenas compreendem 20 Municípios, os serviços municipais estão maioritariamente localizados no interior de Portugal, o que corresponde a uma menor densidade populacional.

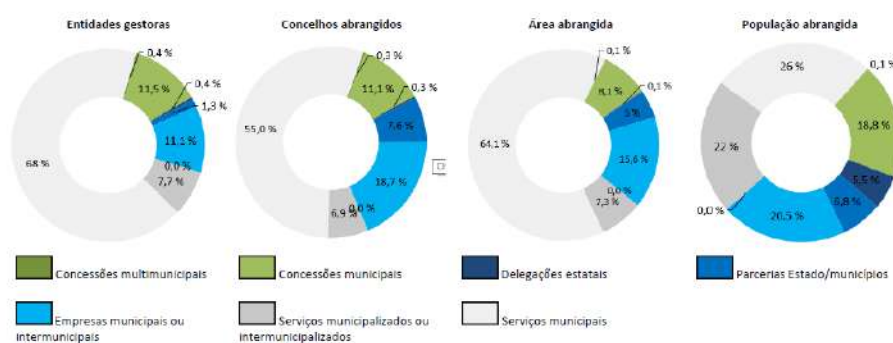


Figura 2. 7 - Indicadores gerais do setor de abastecimento de água “em Baixa” (ERSAR, 2022).

Visto que o tema da presente dissertação compreende a rede de distribuição de água, o foco estará presente na vertente “em baixa”.

2.2.2.1. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA TRATADA

A água tratada nas ETA é transportada por condutas adutoras até aos reservatórios existentes a montante da rede de distribuição. A existência destes reservatórios é essencial para o bom funcionamento da rede, visto que seria impossível as condutas adutoras fornecerem um caudal de água necessário para satisfazer as necessidades dos consumidores a qualquer momento.

Os reservatórios estão estrategicamente posicionados o mais próximo possível do centro de gravidade, ou seja, no ponto de pressão mínima de modo a ser possível fazer uma distribuição, preferencialmente, por escoamento gravítico para evitar gastos de energia com a elevação de água. Contudo, nem sempre é possível escoar a água com recurso à inclinação do terreno e os reservatórios têm de ser elevados para atingir a pressão mínima e a água tem de ser elevada até ao reservatório com a ajuda de grupos eletrobomba (Figura 2.8).



Figura 2. 8 – Grupos eletrobomba da Estação Elevatória de Santo Isidro, no Porto (atualmente fora de serviço).

Os reservatórios de água tratada apresentam as seguintes funções:

- Armazenamento de água;
- Regularização do caudal para compensar as flutuações de consumo;
- Reserva de água em caso de emergências;
- Equilíbrio de pressões na rede de distribuição;
- Regularização do funcionamento de bombagens.

Os reservatórios são, por norma, estruturas em betão armado que podem ser enterradas, semienterradas, apoiadas ou elevadas (Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 1995).

Nas Figuras 2.9, 2.10, 2.11 e 2.12 observam-se exemplos de reais de reservatórios elevados, apoiados, enterrados e semienterrados, pertencentes ao SAA da cidade do Porto.



Figura 2. 9 – Torre dos Congregados, no Porto (célula elevada).



Figura 2. 10 – Reservatório dos Congregados, no Porto (células apoiadas)



Figura 2. 11 – Reservatório de Santo Isidro, no Porto (células enterradas).



Figura 2. 12 – Reservatório de Nova Sintra, no Porto (células semienterradas).

2.2.2.2. TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO

Relativamente ao transporte e distribuição da água pela população e/ou consumidores finais, estes são exercidos por condutas e ramais domiciliários de ligação de diâmetro inferior ao das condutas de adução. Estas condutas e ramais podem ser de vários materiais:

- Aço (AC);
- Aço inoxidável (ACi);
- Betão (BE);
- Ferro fundido (FF);
- Ferro fundido dúctil (FFD);
- Ferro galvanizado (FG);
- Fibra de vidro (PRV);
- Fibrocimento (FC);
- Policloreto de vinilo (PVC);
- Polietileno de baixa, média e alta densidade (PEBD, PEMD e PEAD, respetivamente).

As condutas mais antigas são, comumente, constituídas por materiais ferrosos antigos (FF, FG) ou por FC, ao passo que as mais recentes por materiais plásticos (PEAD) ou ferrosos melhorados laboratorialmente (FFD).

As condutas na rede de distribuição de água podem ainda ser do tipo emalhadadas, ramificadas ou mistas, como se apresenta na Figura 2.13. Habitualmente uma rede do tipo emalhada é o ideal, visto que existe mais de que um sentido de escoamento da água. Caso decorra uma avaria numa tubagem é possível isolar uma zona e manter o fornecimento da água noutra, dado que se suspende apenas um sentido de escoamento, o que não acontece com as redes ramificadas pois a água escoar toda numa única direção.

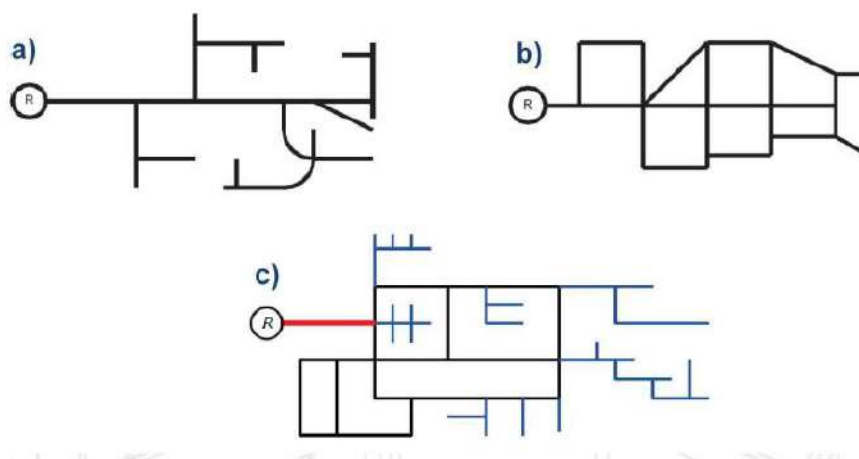


Figura 2. 13 – Diferentes tipos de redes: a) ramificada; b) emalhada; c) mista, em que R representa o reservatório (Piqueiro, 2020).

No dimensionamento da rede é necessário aplicar o critério da velocidade máxima para limitar a perda de carga nas condutas, evitar o seu desgaste rápido e controlar os efeitos de fenómenos transitórios, como o choque hidráulico que transforma a energia cinética em elástica, podendo causar roturas nas condutas. De acordo com o Decreto-Regulamentar n.º 23/95, a velocidade de escoamento deve seguir a Equação 2.1, onde “V” representa a velocidade limite em m/s e “D” o diâmetro interno da tubagem em mm.

$$V = 0,127 \times D^{0,4} \quad (2.1)$$

Segundo o mesmo Decreto, para além da velocidade, a pressão deve-se manter entre os 100 kPa e 600 kPa, com uma variação máxima de 300 kPa para não existirem grandes flutuações da pressão. Na rede pública e ao nível do arruamento a pressão deve seguir a Equação 2.2, onde “*H*” representa a pressão mínima em kPa e “*n*” o número de pisos acima do solo, incluído o piso térreo.

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

Por fim, nos ramais domiciliários de ligação é necessariamente aconselhável que a sua velocidade de escoamento esteja compreendida entre 0,5 m/s e 2 m/s, e que o seu diâmetro nominal mínimo seja de 20 mm.

2.2.2.3. EQUIPAMENTOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Além das condutas de distribuição existem diversos equipamentos que permitem o bom funcionamento da rede de distribuição, sendo que cada um tem uma função específica de acordo com o Decreto-Regulamentar n.º 23/95:

- **Válvulas de seccionamento:** interrompem o abastecimento de água, isolando troços da rede, podendo ser de cunha elástica ou metálica (Figura 2.14), de borboleta (Figura 2.15) e/ou com ou sem redutor e atuador pneumático;



Figura 2. 14 – Válvula de cunha elástica da rede (esquerda), cunha elástica de ramal (centro) e cunha metálica (direita) (Fucoli Somepal).



Figura 2. 15 – Válvula de borboleta, sem (esquerda) e com atuador (direita) (Fucoli Somepal).

Válvulas de descargas de fundo: permitem o esvaziamento de troços de condutas e de partes da rede situados entre as válvulas de seccionamento para operações de limpeza, desinfeção ou reparação (Figura 2.16);



Figura 2. 16 – Válvula de descarga de fundo (Fucoli Somepal).

- **Válvulas de retenção:** impedem a alteração do sentido de escoamento da água podendo ser do tipo bola, borboleta ou com obturador (Figura 2.17);

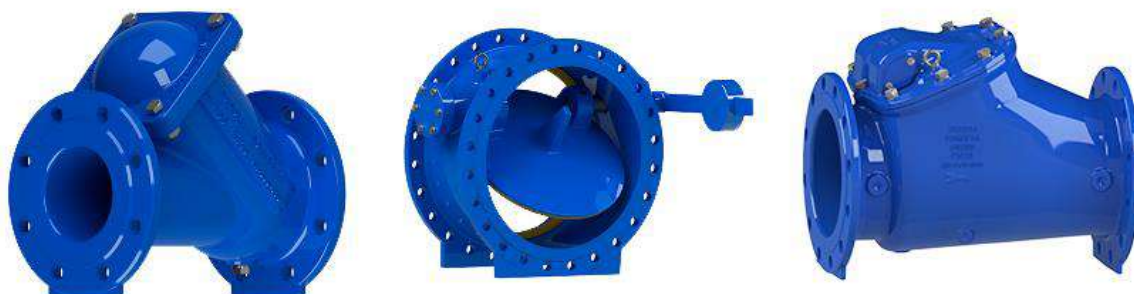


Figura 2. 17 – Válvulas de retenção do tipo bola (esquerda), borboleta (centro) e com obturador (direita) (Fucoli Somepal).

- **Válvulas redutoras de pressão (VRP) e câmaras de perda de carga:** regulam a pressão na rede, reduzindo os níveis disponíveis para jusante e podem ter um funcionamento simples, por patamares ou inteligente com o recurso de reguladores elétricos acoplados - no SAA da cidade do Porto não existem câmaras de perda de carga, apenas VRP (Figura 2.18);



Figura 2. 18 – VRP (Humberto Poças, SA).

- **Válvula de mural:** utilizadas em instalações ao ar livre como reservatórios, barragens e canais (Figura 2.19);



Figura 2. 19 – Válvula de mural (Fucoli Somepal).

- **Válvula altimétrica:** utilizadas à entrada dos reservatórios com o objetivo de regular o caudal dos mesmos (Figura 2.20);



Figura 2. 20 – Válvula altimétrica do Reservatório dos Congregados, no Porto.

- **Câmaras de manobra:** destinam-se à instalação de acessórios no sistema e facilitam o acesso para observação e operações de leitura (Figura 2.21);



Figura 2. 21 – Câmara de manobra na Rua do Cativo, no Porto.

- **Ventosas:** permitem a admissão e expulsão de ar nas condutas, podendo ser simples, de duplo ou de triplo efeito (Figura 2.22);



Figura 2. 22 – Ventosa de simples (esquerda), duplo (centro) e triplo efeito (direita) (Fucoli Somepal).

- **Medidores de caudal ou caudalímetros:** determinam o volume da água que se escoia através de uma determinada secção (Figura 2.23);



Figura 2. 23 – Caudalímetro utilizado no SAA da cidade do Porto (Krohne).

- **Manómetro:** determinam a pressão da água que se escoia na tubagem (Figura 2.24);



Figura 2. 24 – Manómetro.

- **Bocas de rega e lavagem:** a sua implementação é função da organização urbanística dos aglomerados populacionais (Figura 2.25);

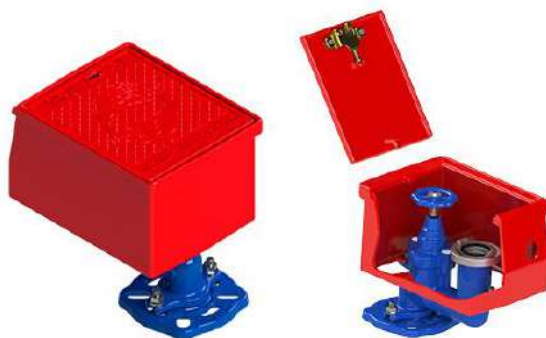


Figura 2. 25 – Boca de rega e lavagem (Fucoli Somepal).

- **Hidrantes:** consideram-se hidrantes as bocas de incêndio e marcos de água, e são de uso exclusivo pelas corporações de bombeiros e serviços municipais, quando devidamente autorizados pelas EG para os devidos efeitos (Figura 2.26);



Figura 2. 26 – Boca de incêndio de parede (esquerda), hidrante enterrado (centro) e dois marcos de incêndio (direita) (Fucoli Somepal).

- **Juntas:** estabelecem a ligação de tubos, elementos acessórios e outros dispositivos e devem ser estanques, possibilitar a dilatação e facilitar a montagem e desmontagem de tubos e acessórios, podendo ser multimateriais, de garras, de desmontagem, de ligação, de transição/gibault ou cegas;



Figura 2. 27 – Exemplos de várias juntas multimateriais, de garras, de desmontagem, de ligação, de transição/gibault e cega (Fucoli Somepal).

- **Tubagens:** destinadas ao transporte da água desde os reservatórios até aos consumidores finais, podendo ser constituídas por diversos materiais (AC, ACi, BE, FF, FFD, FG, PRFV, FC, PVC, PEBD, PEMD ou PEAD) (Figura 2.28);



Figura 2. 28 – Tubagem simples (esquerda) e flangeada (direita) (Fucoli Somepal).

- **Curvas, Tês, Cruzetas e Forquilhas:** acessórios de ligação entre as tubagens sendo que as curvas fazem a ligação entre duas tubagens e podem ter diferentes graus de curvatura, os tês e as forquilhas executam a ligação entre três tubagens e as cruzetas entre quatro tubagens. Todos estes acessórios podem ser flangeados (Figura 2.29);



Figura 2. 29 – Curvas (esquerda), tês (centro esquerda), forquilha (centro direita) e cruzetas (direita) (Fucoli Somepal).

- **União e Cone de Redução:** acessórios de ligação entre duas tubagens de diâmetros distintos de modo a existir a mudança de diâmetro de secção de escoamento de água (Figura 2.30);



Figura 2. 30 – União (esquerda) e cone de redução (direita) (Fucoli Somepal).

- **Filtros:** interrompem a passagem de impurezas que possam danificar certos alguns equipamentos como as VRP e podem ser do tipo H ou Y (Figura 2.31).

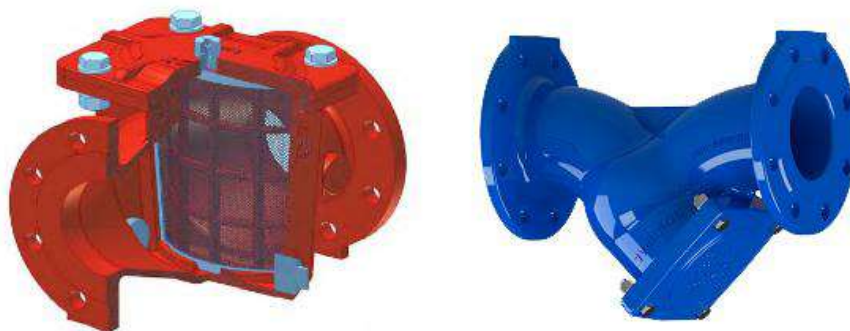


Figura 2. 31 – Filtro do tipo H (esquerda) (CLA-VAL) e do tipo Y (direita) (Fucoli Somepal).

2.3. PRINCIPAIS PROBLEMAS DO SETOR DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA E A GESTÃO DA ÁGUA NÃO FATURADA

Os principais problemas no setor do abastecimento de água podem ser considerados como os objetivos a cumprir definidos pelos planos estratégicos que são elaborados ao longo do tempo. Em abril de 2000 foi aprovado o primeiro Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento das Águas Residuais (PEAASAR), que vigorou desde 2000 a 2006, tendo desempenhado um papel imprescindível na estruturação de ambos os setores de abastecimento de águas (AA) e saneamento de águas residuais (SAR). Contudo, este PEAASAR 2000-2006 não foi a primeira fase da estratégia da reforma do setor de água. Esta primeira fase não teve um instrumento de planeamento específico, mas vigorou desde 1993 a 1999 e teve como focos os seguintes pontos (Ministério do Ambiente e da Ação Climática, 2022):

- Separação do setor em alta e baixa;
- Constituição dos sistemas multimunicipais de titularidade estatal de primeira geração (maioritariamente o litoral do País);
- Criação do regulador dos serviços;
- Abertura da gestão dos serviços a privados.

Após o PEAASAR 2000-2006 surgiu o PEAASAR 2007-2013 com vista a dar seguimento aos progressos verificados até 2006, e em vigor até ao passado ano de 2020 existiu a Nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PENSAAR) tendo-se iniciado em 2014. O PENSAAR 2014-2020 teve como objetivo principal promover os setores de AA e SAR para um patamar de excelência, além de continuar a cumprir as necessidades da população com um serviço público de água e saneamento de qualidade adequada. Na Tabela 2.2 observam-se os focos principais de todas as fases estratégicas desde 2000 a 2020.

Tabela 2. 2 – Focos principais das fases estratégicas de 2000 a 2022 (Adaptado de Ministério do Ambiente e da Ação Climática, 2022)

Fase estratégica	Focos principais
PEAASAR 2000-2006	Constituição dos sistemas multimunicipais de titularidade estatal de segunda geração (maioritariamente o interior do País)

Conclusão das interligações entre alta e baixa	
PEAASAR 2007-2013	Construção, renovação e reabilitação de redes de distribuição de água e reservas municipais
	Construção, renovação e reabilitação de redes de drenagem de águas residuais
	Separação da componente pluvial em sistemas unitários e erradicação de ligações cruzadas nos sistemas separativos
PENSAAR 2014-2020	Priorização na gestão dos ativos, do seu funcionamento e da qualidade dos serviços prestados com uma sustentabilidade abrangente
	Reforço dos poderes e alargamento do âmbito do regulador

Os setores do AA e do SAR são serviços públicos essenciais para o bom funcionamento da comunidade, quer a nível social, económico, estrutural e ambiental, sendo crucial que se continue a assegurar a melhoria dos mesmos, salientando a atual incerteza que existe devido às alterações climáticas. As catástrofes que podem ocorrer devido ao aumento da frequência de fenómenos extremos obriga à adaptação dos setores de modo a prevenir o colapso dos mesmos.

Atualmente está em vigor o Plano Estratégico para o Abastecimento de Água e Gestão das Águas Residuais e Pluviais (PENSAARP) desde 2021, e estará concluído em 2030. Este plano compreende **quatro objetivos estratégicos globais** e 20 objetivos específicos:

- **A. Serviços eficazes** – acessibilidade física, continuidade e fiabilidade, qualidade das águas distribuídas e rejeitadas, segurança, resiliência, ação climática, equidade e acessibilidade económica;
- **B. Serviços eficientes** – governo e estruturação do setor, organização, modernização e digitalização das EG, gestão e alocação eficiente dos recursos eficientes, eficiência hídrica e energética e a descarbonização;
- **C. Serviços sustentáveis** – sustentabilidade económica, financeira e infraestrutural, utilização e recuperação dos recursos, capital humano e gestão de informação, conhecimento e inovação;
- **D. Valorização dos serviços** – valorização empresarial nos mercados interno e externo, circularidade, valorização ambiental, social e territorial, responsabilidade e ética, contribuição para o desenvolvimento sustentável e cooperação política internacional.

Tendo em conta que o foco da dissertação assenta no setor do AA, é possível definir em mais detalhe cada objetivo específico (Ministério do Ambiente e da Ação Climática, 2022).

A1. Acessibilidade física

Planeia-se que todos os alojamentos possuam acesso ao serviço de AA.

A2. Continuidade e fiabilidade

O acesso ao serviço de AA deve ser contínuo e sem falhas de abastecimento ou que as mesmas não possuam uma duração que possa afetar os consumidores.

A3. Qualidade das águas distribuídas

Acesso a serviço de AA com qualidade, assegurando que a água não se degrade nos sistemas prediais.

A4. Segurança, resiliência e ação climática

Acesso ao serviço com segurança, quer em condições normais de atividade quer em condições anómalas, tendo em conta uma resistência estrutural e capacidade funcional adequadas.

A5. Equidade e acessibilidade económica

Dispersão tarifária reduzida e reforço da aplicação do tarifário social de modo a promover uma macro acessibilidade económica média da população.

B1. Governo e estruturação do setor

Acesso a serviços com uma governação eficiente, tanto institucional como organizacional, para um melhor desempenho e redução de gastos.

B2. Organização, modernização e digitalização

As EG devem estar otimizadas de modo a terem uma boa gestão global além de dar o primeiro passo para modernizar as suas organizações, via inovação e transição digital.

As EG devem estar preparadas para se adaptarem face a outras tendências com impacto e transformação no setor.

B3. Gestão e alocação de recursos financeiros

Racionalização dos investimentos, investindo o capital onde é prioritário e capacidade de acesso aos recursos financeiros em boas condições.

B4. Eficiência hídrica

Assegurar a eficiência das EG no setor do AA devido à propensão para perdas de água.

B5. Eficiência energética e descarbonização

Integração dos objetivos de transição energética, no quadro do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, através da realização do potencial energético inerente às operações dos serviços de águas.

C1. Sustentabilidade económica e financeira

Recuperação de gastos provenientes essencialmente por tarifas, de modo a minimizar a ANF.

C2. Sustentabilidade infraestrutural

Conhecimento das infraestruturas por parte da EG para manutenção do seu valor e adoção de boas práticas de gestão patrimonial.

C3. Utilização e recuperação de recursos

Assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais necessários à prestação do serviço. No caso da água, por exemplo, optar por origens alternativas e redução de volumes captados e perdas.

C4. Capital humano

As EG devem assegurar competências, formação contínua, equilíbrio de funções e renovação do capital humano.

C5. Gestão de informação, conhecimento e inovação

Reforço da análise e divulgação do conhecimento e de boas práticas, da investigação e inovação. O setor deve assegurar a valorização económica pelo empreendedorismo.

D1. Valorização empresarial e económica

Promover a competitividade, o crescimento e o emprego em todo o setor e valorizar o empreendedorismo e a internacionalização do setor.

D2. Circularidade e valorização ambiental e territorial

Contribuição para cidades mais verdes e ecossistemas saudáveis. Promover a redução do volume de água captado e melhoria das ETA. Diversificação das origens da água e produção e disponibilização de águas residuais tratadas para reutilização.

D3. Valorização social

Melhoria da perceção do valor do serviço, a sua essencialidade para a qualidade de vida, saúde, economia e ambiente. Aplicar mecanismos de sensibilização, comunicação e transformação de comportamentos.

D4. Transparência, responsabilização e ética

Transparência na administração e prestação dos serviços, responsabilização e promoção de uma cultura ética para melhoria do relacionamento com a população.

D5. Contribuição para o desenvolvimento sustentável

Garantia da disponibilidade e gestão sustentável de água potável.

De estes objetivos específicos, os seguintes são os prioritários: **C1, B1, C2, B4, B3, A4, C4 e B2.**

Para a elaboração do PENSAARP 2021-2030 foi necessário efetuar um balanço do plano anterior – PENSAAR 2014-2020 – e é de salientar as seguintes evidências:

- Desconhecimento dos gastos reais dos serviços em muitas EG;
- Gestão ineficiente dos ativos;
- Descargas industriais sem pré-tratamento nas redes de drenagem;
- Afluências indevidas nas redes de drenagem, conduzindo a focos de poluição;
- Poluentes de preocupação emergente, com efeito desconhecido nos ecossistemas;
- Instalação de atividades que podem colocar em causa a qualidade de água na origem.

A evolução anual destes indicadores demonstraram uma estagnação das médias nacionais, nomeadamente, da ANF e das perdas reais, o que sugere que as metas estabelecidas pelo PENSAAR 2014-2020 não foram cumpridas, como era esperado inicialmente.

Entrando em detalhe na gestão da ANF ao nível nacional, esta é avaliada pelo Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP). O RASARP é elaborado anualmente pela ERSAR com base nos dados reportados obrigatoriamente pelas EG no final de cada exercício. O RASARP é, assim, divulgado todos os anos e traduz a realidade da qualidade do serviço do setor da água e dos resíduos ao nível nacional.

Tal como está descrito no RASARP “o nível de perdas económicas correspondentes à água que, apesar de ser captada, tratada, transportada, armazenada e distribuída, não chega a ser faturada aos consumidores” traduz com eficácia prática o problema das perdas de água e da ANF.

Com referência ao ano de 2020, os dados obtidos da avaliação global de Portugal foram, em média, de 28,7% de ANF para a globalidade das EG com a componente “em baixa”.

Observa-se na Figura 2.32 a distribuição geográfica da ANF em Portugal com base na qualidade do serviço. De acordo com os dados apresentados no RASARP, 82,4%, 77% e 74,1% são os índices de ANF mais elevados no país, enquanto 10,4%, 9,9% e 8,9% são os índices mais baixos. É de salientar que estes últimos valores são referentes a EG com poucos habitantes, ou seja, possuem uma rede de distribuição muito menor e uma abrangência territorial e em termos de densidade de consumidores abastecidos comparado com as grandes cidades, logo é natural que existam menos perdas reais de água, e, portanto, um índice de ANF inferior. E tal representa uma menor expressão no panorama dos resultados nacionais.

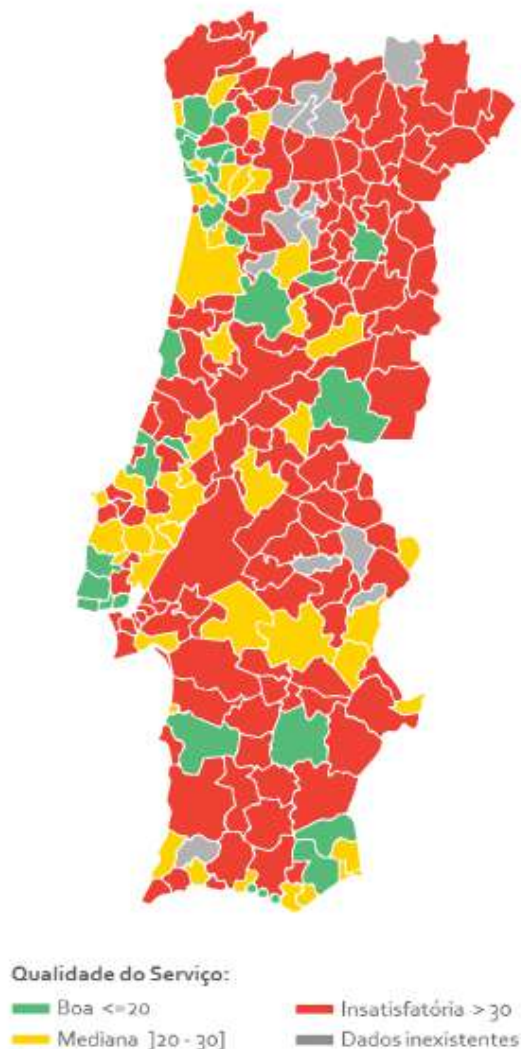


Figura 2. 32 – Distribuição geográfica da ANF em Portugal com base na qualidade do serviço, em 2020 (APDA, 2020).

Recorrendo ao Sistema de Informação de Indicadores de Perdas de Água (SIIPA), da Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA), é possível obter a evolução da ANF e das perdas reais de água ao longo dos anos como está apresentado na Figura 2.33 e 2.34, respetivamente.

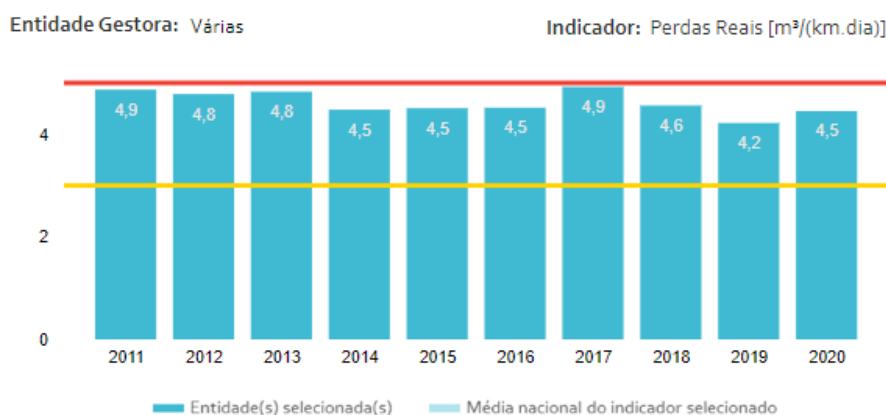


Figura 2. 33 – Evolução da média nacional das perdas reais desde 2011 até 2020 (APDA, 2020).

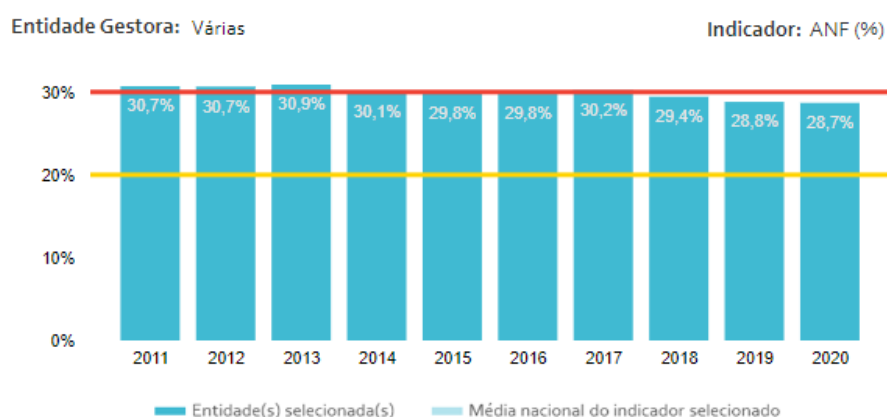


Figura 2. 34 – Evolução da média nacional de ANF desde 2011 até 2020 (APDA, 2020).

Como se observa na Figura 2.34, pelos dados retirados do RASARP e disponíveis no SIIPA, no ano de 2020 houve um aumento de perdas reais em comparação com 2019, apesar do índice de ANF ter diminuído (Figura 2.33). Esta diminuição da ANF é devida ao facto de a AES no ano de 2020 ser inferior à do ano de 2019 (cerca de 1 milhão de m³ de diferença). Esta relação entre a ANF e AES está representada na Figura 2.35.

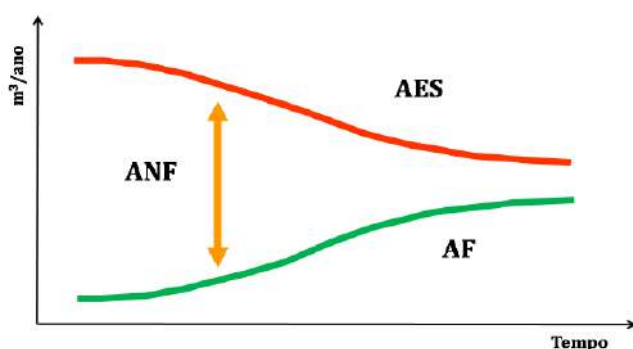


Figura 2. 35 – Relação entre a ANF, AES e AF (Martins, 2021).

Para ser possível diminuir a ANF, de forma expedita, é necessário reduzir o diferencial entre a AES e a AF, diminuindo, pois, as perdas de água.

Apesar de a ANF ser também dependente de perdas reais e perdas aparentes, na presente dissertação o foco é a redução direta das perdas reais.

3

PERDAS DE ÁGUA

Como é de conhecimento da população, a água potável é um recurso limitado e por essa razão a sua preservação é imprescindível, além de que existem diversas razões que justificam uma estratégia de combate às perdas de água, como por exemplo:

- Redução do stress ecológico e da emergência climática;
- Redução de riscos para a saúde e maior segurança no abastecimento de água devido à possibilidade de infiltração de poluentes na rede de abastecimento pelas roturas;
- Diminuição de danos estruturais;
- Melhoria na satisfação dos consumidores;
- Diminuição das perdas financeiras.

Por definição, **perdas de água** é a diferença entre o volume de água introduzido no sistema e o volume do consumo autorizado.

Na Figura 3.1. observa-se um diagrama de um SAA relacionado com as perdas de água.

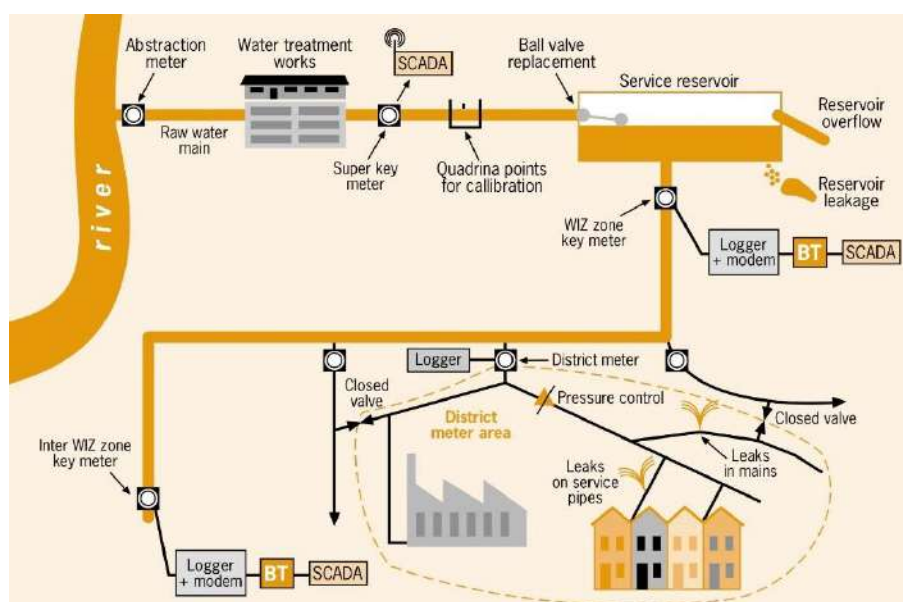


Figura 3. 1 – Diagrama de SAA com pontos-chave de monitorização de perdas de água (Farley M., 2001).

3.1. TIPOLOGIAS

As perdas de água subdividem-se em reais e aparentes. Pode-se classificar as perdas reais como perdas físicas e as perdas aparentes com perdas não físicas ou comerciais, sendo que as suas definições são as seguintes (Farley M., 2001):

- **Perdas reais ou físicas:** volume de água que se perde através de todo o tipo de fugas, roturas e extravasamentos de condutas, reservatórios e ramais;
- **Perdas aparentes ou não físicas/comerciais:** volume de água correspondente a consumos ilícitos e erros de medição resultantes de problemas nos contadores ou no sistema de faturação e, geralmente, é um valor estimado.

Tal como já foi mencionado anteriormente, o foco nesta dissertação serão as perdas reais e a sua redução.

3.2. FATORES INFLUENCIADORES DAS PERDAS REAIS

O valor das perdas reais é altamente influenciado pelas características do ambiente envolvente, condições de instalação e respetivos materiais constituintes, estratégias de deteção e reparação, e pela sua gestão de operação com base nas práticas da EG. Possuindo uma natureza influenciável, as perdas reais nas infraestruturas de um SAA podem ocorrer devido a diversas razões:

- Pressão da água que circula e as suas flutuações ao longo do dia;
- Estado de conservação das condutas de distribuição, reservatórios e ramais domiciliários;
- Material, idade e instalação original das infraestruturas;
- Número, tipologia e qualidade das ligações;
- Quantidade e estado de conservação dos acessórios da rede;
- Condições do solo;
- Temperaturas médias e variações ao longo do tempo;
- Velocidade do escoamento nas infraestruturas e respetiva flutuação;
- Cargas de tráfego automóvel;
- Anomalias nos equipamentos de regulação da rede;
- Manobras operacionais na rede.

Cada um destes fatores pode ser explicado em maior detalhe (Farley M., 2001).

Pressão da água que circula e as suas flutuações ao longo do dia

É seguro dizer que a pressão é dos fatores com maior influência no que toca à ocorrência de perdas reais. A incidência de perdas de água devido a fugas e roturas ou acessórios com defeito aumenta de acordo com o aumento da pressão na rede. Do mesmo modo, em infraestruturas mais antigas, um aumento da pressão, mesmo que mínimo, pode resultar em roturas com grande expressão e volume perdido, sendo ideal reduzir a pressão para não se sucederem problemas.

A localização das fugas também é dependente da pressão. Quanto maior a pressão, maior a quantidade de água perdida, pelo que a rotura pode ser rapidamente detetada e reparada devido ao aparecimento de água na superfície num curto período de tempo. Para além da quantidade de água perdida, o ruído provocado pela fuga também aumenta em função da pressão, logo é possível localizar a fuga através de métodos de “sondagem”. Contudo, em contrapartida, caso a pressão não seja tão elevada torna-se mais complicado de localizar fugas que possam ocorrer devido a outros fatores.

A pressão pode variar, igualmente, como resultado da ativação de alguns acessórios presentes no SAA. A manobra de abertura ou fecho de uma válvula pode resultar num aumento súbito da pressão, provocando roturas ou aumentando a expressão e volumes de água de roturas pré-existent. No caso de tubagens plásticas, essencialmente, é possível que o aumento da pressão obrigue os troços das tubagens a dobrar, criando locais de tensão que podem evoluir, tendencialmente, para roturas.

Os ciclos de pressão também são responsáveis pelo aparecimento de roturas. Devido à elevada flutuação da pressão na rede entre valores muito altos e muito baixos podem surgir problemas de fadiga nas condutas.

Estado e material das condutas de distribuição, reservatórios e ramais domiciliários

O estado de conservação das condutas de distribuição, reservatórios e ramais domiciliários é um fator que influencia muito a probabilidade de ocorrência de perdas de água. O problema mais sério nesta categoria é a corrosão que afeta as tubagens metálicas.

Relativamente à corrosão interna, esta afeta mais e com maior grau de severidade as condutas de distribuição que transportem águas macias (baixa dureza), e no caso de condutas de FF e FFD desenvolvem-se blocos de ferrugem nas paredes das tubagens e, conseqüentemente, estas perdem a capacidade de suportar pressão, levando à maior ocorrência de roturas.

No que toca à corrosão externa, o solo é fonte direta dos danos nas tubagens. A concentração de sais dissolvidos, oxigénio, humidade, pH e atividade bacteriana são fatores que provocam a corrosão nestas condutas, tendo efeitos semelhantes aos da corrosão interna. Outro fator que leva à corrosão são os elevados níveis de compostos de sulfato que existam no solo ou na água.

Condutas constituídas por materiais plásticos podem ser degradadas devido a condições naturais, como a radiação ultravioleta, aquando do seu armazenamento.

Idade e instalação original das infraestruturas

A idade das infraestruturas é proporcional ao seu estado de conservação, pelo que quanto mais antigas, tendencialmente mais degradadas estão e, conseqüentemente, maior a probabilidade de ocorrência de roturas. A idade é um fator que influencia muitos outros fatores, visto que os seus efeitos aumentam com o tempo. Todavia, é de salientar que a idade por si só não pode ser considerada um fator direto.

Número, tipologia e qualidade das ligações

O número de ligações efetuadas cria mais locais de quebra e ligação nas condutas, aumentando ainda as variações de pressão na rede, levando ao aumento da probabilidade de ocorrência de rotura. Do mesmo modo, a sua tipologia e qualidade também influenciam esta probabilidade. Se uma ligação for mal executada, quer em ramais domiciliários, quer nas condutas de adução e/ou de distribuição, é altamente provável que ocorra uma fuga na respetiva ligação.

Quantidade e estado de conservação dos acessórios da rede

Tal como as condutas e os ramais domiciliários, os acessórios mais antigos podem apresentar elevada degradação, o que resulta num mau funcionamento. A sua quantidade influencia diretamente as variações de pressão que ocorrem aquando do escoamento da água pelos mesmos. Quanto mais

acessórios numa rede, mais e maiores as variações que ocorrem, sendo que maior número destes elementos constitui igualmente mais pontos suscetíveis de fuga.

Condições do solo

As condições do solo afetam especialmente a quantidade de tempo que a fuga demora a ser detetada e localizada. Se um solo for permeável, como os solos arenosos, as perdas de água costumam ser mais prolongadas visto demorar mais tempo a detetar a fuga. No caso de solos argilosos, ou seja, impermeáveis, a fuga manifesta-se rapidamente à superfície, o que resulta num menor tempo de deteção e, consequentemente, até à reparação. Contudo, o aumento da humidade dos solos argilosos pode igualmente provocar o encolhimento das tubagens levando a roturas.

O movimento do solo devido a atividades de mineração ou terremotos pode ser também fator influenciador do aparecimento de roturas.

Temperaturas médias e variações ao longo do tempo

A temperatura do meio envolvente pode, indiretamente, provocar roturas, no sentido em que altera as propriedades dos materiais das condutas. O frio extremo, por exemplo, provoca a contração dos materiais, o que leva, por exemplo, a brechas nas junções das condutas ou quebra das condutas mais antigas que se encontram mais fragilizadas.

Em janeiro de 2021 este problema fez-se especialmente sentir no SAA do Porto devido à vaga de frio que afetou Portugal, aumentando a necessidade de intervenção para minimizar o impacto das roturas. A Águas e Energia do Porto, E.M. (AEdP) registou um total de 132 roturas de conduta, 65 de ramal e ainda 29 avarias em acessórios no mês de janeiro, o que representou um aumento de 18,5% em relação a 2020 e constituiu uma sobrecarga de avarias e roturas muito anormal devido às condições climáticas (AEdP, 2022).

Velocidade do escoamento nas infraestruturas e respetiva flutuação

O escoamento de água nas tubagens é representado pelo Teorema de Bernoulli, que traduz a relação da velocidade de escoamento com a pressão, sendo que esta relação é inversamente proporcional - quanto maior a velocidade, menor a pressão exercida nas paredes das condutas. Deste modo, se a velocidade variar devido a alterações nos diâmetros das condutas – de modo a manter um caudal constante – existirão muitas variações de pressão. Seguindo o mesmo raciocínio, em condutas de maior diâmetro, como as adutoras, a sua velocidade é menor que em condutas com diâmetro inferior, possuindo uma maior probabilidade de ocorrência de roturas.

Cargas de tráfego automóvel

Os efeitos da vibração e elevada carga e sobrecarga transportada por veículos pesados, por exemplo, afeta as condutas enterradas dos arruamentos, levando à ocorrência de roturas.

Anomalias nos equipamentos de regulação da rede

O mau funcionamento de equipamentos como, por exemplo, uma VRP, pode levar ao aumento da pressão da rede, que em condições normais estaria com uma pressão mais baixa, provocando maior probabilidade de roturas na rede, bem como o aumento de volume de água perdido nas avarias já existentes (perdas de base).

Manobras operacionais na rede

A realização de manobras na rede como a abertura ou fecho de válvulas de seccionamento pode provocar o aumento súbito da pressão, com as consequentes e demais desvantagens já referidas nos pontos anteriores.

3.3. ROTURAS E PERDAS DE BASE NAS INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS

As roturas podem ocorrer em diversos locais como as condutas de distribuição, nas paredes ou soleiras dos reservatórios, nos ramais de ligação e nos acessórios da rede. Além disso, as fugas podem ser visíveis ou invisíveis, sendo que no caso das últimas, estas podem existir durante um período de tempo indeterminado.

Dependendo do tipo de rotura, existem diferentes tipos de perdas de água:

- **Perdas de água por roturas comunicadas** – visíveis, rapidamente comunicadas pela população ou por trabalhadores da EG e possuem um baixo tempo de reconhecimento;
- **Perdas de água por roturas não comunicadas** – normalmente invisíveis à superfície e a sua deteção é dependente do CAP e por essa razão possuem um tempo de reconhecimento elevado.

O volume de água perdido é completamente dependente do tempo de reconhecimento das perdas de água por roturas, como se verifica na Figura 3.2.

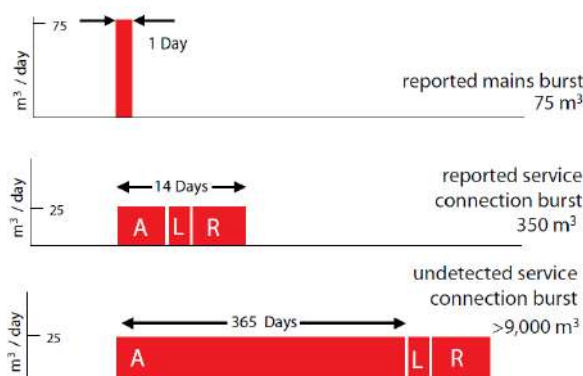


Figura 3. 2 – Relação entre o volume de água perdido e o tempo de reconhecimento (Farley et al., 2008).

Como se observa, na Figura 3.2, o tempo de localização da rotura e a sua reparação não varia, quer o seu reconhecimento demore pouco ou muito tempo, sugerindo que a água que se perde depende inteiramente do tempo de reconhecimento da fuga, como já foi mencionado.

Além das perdas de água por roturas, existem as **perdas de base** que são, por definição, uma acumulação de pequenas fugas que são muito difíceis de detetar, devido ao seu baixo caudal, e não possuem uma

boa relação custo-benefício para efetuar a sua deteção e reparação. É de notar que todas as EG têm perdas de base.

Na Figura 3.3, observa-se um exemplo de rotura que ocorreu numa conduta adutora principal na Rua de Barão Forrester, em março de 2019, no Porto.



Figura 3. 3 – Rotura numa conduta adutora no Porto (AEdP, 2019).

3.4. REDUÇÃO DAS PERDAS REAIS

A metodologia da redução das perdas de água reais é muito abrangente e consiste em diferentes pontos:

- Cálculo do BH;
- Gestão e redução da pressão na rede e da sua flutuação;
- CAP;
- Setorização da rede de distribuição em ZMC;
- Rapidez e qualidade das reparações das avarias detetadas;
- Gestão patrimonial das infraestruturas e dos ativos.

Além destes pontos, a chave para desenvolver uma estratégia para o controlo de perdas assenta em colocar questões sobre a rede de distribuição e como esta funciona, de modo a selecionar a ferramenta para cada solução (Farley M., 2001). Esta estratégia está apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3. 1 – Estratégia para controlo de perdas (Farley M., 2001)

Questão	Ferramenta
Quanta água está a ser perdida?	Cálculo do BH
Onde está a ser perdida?	Sondagens no terreno e transmissão de dados
Porque está a ser perdida?	Revisão da rede e da sua operação
Como melhorar a performance?	Desenvolvimento de estratégias e planos de ação apropriados
Como manter a estratégia?	Monitorização e controlo

3.4.1. BALANÇO HÍDRICO

O BH é o primeiro passo a efetuar na redução das perdas reais de água onde se utiliza uma matriz criada pela Associação Internacional da Água (IWA – *International Water Association*), que se apresenta na Tabela 3.2.

Tabela 3. 2 – Matriz do BH (IWA, 2000)

Água Entrada no Sistema	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Consumo Faturado Medido	Água Faturada
			Consumo Faturado Não Medido	
	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Não Faturado	Consumo Não Faturado Medido	
			Consumo Não Faturado Não Medido	
	Perdas de Água	Perdas Aparentes	Consumo Não Autorizado	Água Não Faturada
			Erros de Medição	
		Perdas Reais	Fugas nas Condutas Adutoras	
			Fugas nas Condutas de Distribuição	
			Fugas e Extravasamentos nos Reservatórios	
			Fugas nos Ramais	

A definição de cada um dos componentes da matriz do BH é a seguinte:

- **AES** – volume total introduzido na parte do SAA que é alvo de cálculo do BH;
- **Consumo Autorizado** – volume total, medido ou não medido, faturado ou não, fornecido a consumidores registados que esteja implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo;
- **Consumo Autorizado Faturado** – volume total que gera lucro para a EG e corresponde ao somatório dos volumes dos consumidores;
- **Consumo Faturado Medido** – volume medido que é cobrado aos consumidores;
- **Consumo Faturado Não Medido** – volume não medido/estimado que é cobrado aos consumidores;
- **Consumo Autorizado Não Faturado** – volume total que não gera lucro para a EG, contudo corresponde a usos legítimos de água;
- **Consumo Não Faturado Medido** – volume medido proveniente de gastos da EG ou usos gratuitos;
- **Consumo Não Faturado Não Medido** – volume não medido/estimado nem faturado, representando, por exemplo, os usos para combate a incêndio;
- **Perdas de Água** – diferença de volume entre a AES e o Consumo Autorizado;
- **Perdas Aparentes** – volume consumido, contudo não foi contabilizado e provém de erros de medição ou ligações ilícitas;
- **Consumo/Usos Não Autorizado** – volume correspondente a ligações ilícitas e/ou manipulação de contadores e furtos de água;

- **Erros de Medição** – volume associado a erros que derivam de avarias de desgaste de contadores e/ou erros nas leituras;
- **Perdas Reais** – volume total correspondente a todo o tipo de fugas, roturas de condutas e ramais, e extravasamentos de reservatórios;
- **Fugas nas Condutas Adutoras** – volume perdido aquando de uma rotura numa conduta adutora;
- **Fugas nas Condutas de Distribuição** – volume perdido aquando de uma rotura numa conduta de distribuição;
- **Fugas e Extravasamentos nos Reservatórios** – volume perdido aquando de uma rotura estrutural num reservatório ou extravasamento devido ao excesso de água para além da capacidade do mesmo;
- **Fugas nos Ramais** – volume perdido aquando de uma rotura num ramal entre a conduta de distribuição e o ramal predial do consumidor;
- **AF** – volume comercializado que resulta do somatório do consumo autorizado faturado medido e não medido. Igual ao Consumo Autorizado;
- **ANF** – diferença de volume entre a AES e a AF, que resulta do somatório do Consumo Autorizado Não Faturado e das Perdas de Água.

Tendo todas estas componentes quantificadas é possível identificar a fonte do maior volume de ANF de modo a resolver o problema. É de salientar que as perdas aparentes são, geralmente, um valor estimado, o que traduz num determinado grau de incerteza no cálculo final da ANF através da globalidade do BH.

3.4.2. GESTÃO E REDUÇÃO DA PRESSÃO NA REDE E DA SUA FLUTUAÇÃO

Tal como já mencionado anteriormente, a pressão é um fator com um peso muito expressivo no que respeita ao controlo das perdas de água. De modo a se reduzir a probabilidade de roturas e, consequentemente, as perdas reais de água é necessário fazer a correta gestão e controlo da pressão na rede de distribuição do SAA.

A pressão é influenciada pela elevação de água e pelo escoamento gravítico, sendo que no caso do Porto, o SAA funciona maioritariamente com recurso à gravidade, poupando-se energia e gastos financeiros com a elevação da água. Contudo, o escoamento gravítico gera pontos de pressão elevados, nomeadamente a cotas topográficas mais baixas, o que resulta em perdas reais de água devido a roturas e, por conseguinte, perda de eficácia da EG. Por outro lado, zonas com cotas topográficas mais elevadas possuem pressões muito baixas que podem traduzir problemas de abastecimento, nomeadamente, em alojamentos com muitos pisos. Apesar de haver alojamentos com elevação interna de água e reservas próprias, é sempre necessário considerar uma pressão mínima para o abastecimento ser realizado sem problemas.

A gestão da pressão em SAA apresenta diversos benefícios:

- Redução das perdas de água;
- Redução da quantidade e frequência de roturas e fugas;
- Prestação de um serviço de AA a pressão constante;
- Prolongamento da vida útil dos equipamentos e do sistema infraestrutural;
- Redução dos custos energéticos e de manutenção;
- Garantia de caudais de incêndio em caso de período de escassez;
- Utilização eficiente da água.

Para garantir estes benefícios é necessário:

- Otimização do funcionamento das estações elevatórias (EE) através de grupos eletrobomba a trabalharem com velocidade variável (variadores de velocidade e arrancadores suaves);
- Divisão da rede em patamares de pressão em função das condições do terreno – Setorização;
- Instalação de VRP em áreas específicas ,pré-identificadas.

Estas estratégias podem ser aplicadas separadamente ou em simultâneo, sendo melhor analisadas nos pontos seguintes.

Otimização do funcionamento das EE

Esta otimização aplica-se quando existem EE ligadas diretamente à rede de distribuição de água e permite uma gestão da pressão, uma redução do consumo de energia e uma redução das perdas de água. A otimização pode ser feita com o recurso a sobrepressoras ou reservatórios e instalações elevatórias.

As sobrepressoras permitem elevar a pressão em zonas específicas da rede sem afetar as restantes.

O uso de reservatórios e instalações elevatórias permitem escolher períodos de bombeamento, que não suscitem um aumento de pressões na rede, e o controlo do nível dos reservatórios de maneira a minimizar as pressões mais altas (APDA, 2015).

Setorização da Rede

Recorrendo à criação de patamares de pressão é possível fazer o seu controlo, e ao mesmo tempo permite controlar os caudais e avaliar os consumos. Este tema será abordado em mais detalhe ao longo do presente documento por ser o objeto prático do estudo.

Instalação de VRP

As VRP são acessórios da rede de distribuição que permitem reduzir a pressão para jusante, existindo quatro diferentes tipos principais de regulação (Alegre *et al.*, 2005).

- a) **Pressão de saída fixa** – utilizada quando se pretende obter um valor de pressão fixo à entrada de uma zona onde se verificam pequenas variações de consumo e perdas de carga baixas (menos do que 10 m.c.a.), não possuindo um controlador (Fig. 3.4).

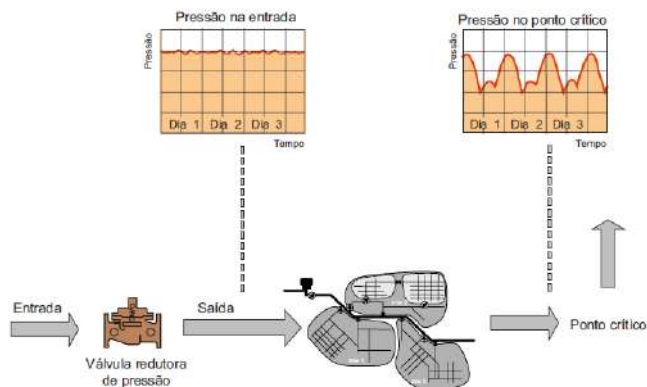


Figura 3. 4 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída fixa (Alegre *et al.*, 2005).

- b) Pressão de saída regulada por tempo** – utilizada em casos que o sistema apresente perdas de carga significativas (maiores do que 10 m.c.a.) e em que o consumo seja regular (Fig. 3.5). Este tipo de VRP permite um controlo avançado da pressão de forma simples, sendo a solução mais barata, e é normalmente adaptada para situações de pressão noturna muito alta. O principal problema consiste na ocorrência súbita de caudais elevados e não é conveniente existir uma diferença entre a pressão máxima e mínima de mais de 20 m.c.a., pois pode ocorrer choque hidráulico ou cavitação na VRP e junto da mesma.

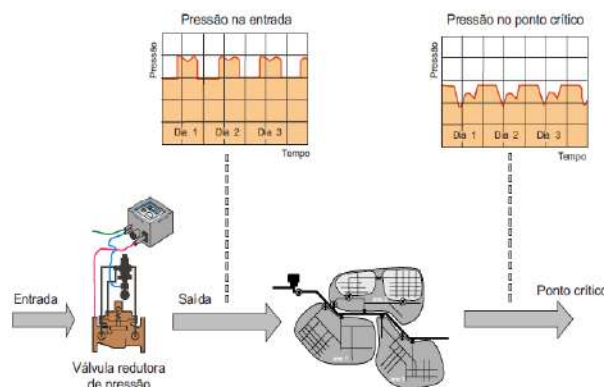


Figura 3. 5 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída regulada por tempo (Alegre et al., 2005).

- c) Pressão de saída regulada pelo caudal** – utilizada em casos que o sistema apresenta perdas de carga elevadas (grandes áreas) e mudanças no perfil de consumo (Fig. 3.6). Este tipo de VRP tem de estar associada a um medidor de caudal e, apesar de se obter um controlo mais flexível, possuem um custo elevado.

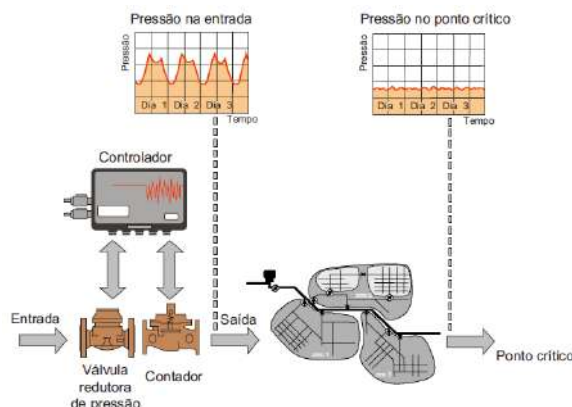


Figura 3. 6 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída regulada pelo caudal (Alegre et al., 2005).

- d) Pressão de saída regulada por pressão em ponto crítico** – utilizada em função da pressão verificada no ponto crítico e pode ser controlada via rádio, de modo a se manter a pressão no ponto crítico num valor pré-definido (Fig. 3.7).

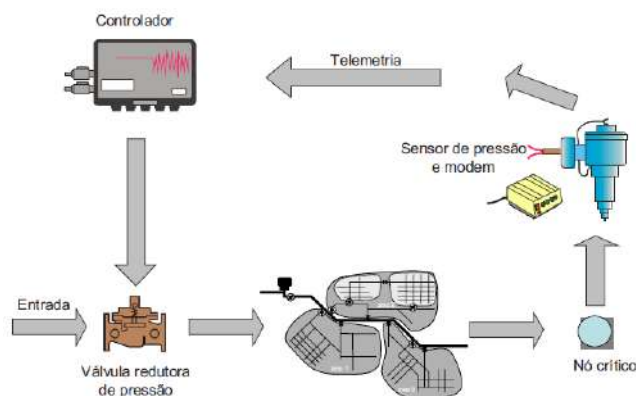


Figura 3. 7 – Controlo de pressão com VRP de pressão de saída modulada por pressão em ponto crítico (Alegre et al., 2005).

Na Figura 3.8 observa-se um exemplo de uma VRP regulada por saída fixa, que foi instalada no SAA do Porto, no mês de junho de 2022, na Rua de D. Hugo.



Figura 3. 8 – VRP instalada na Rua de D. Hugo, no Porto (A – VRP; B – Caudalímetro; C – Filtro do tipo H; e D – Válvulas de seccionamento).

3.4.3. CONTROLO ATIVO DE PERDAS

O CAP é essencial para a gestão eficiente das perdas, sendo uma estratégia preventiva da EG e que pode ser efetuado de diversas formas. Este controlo é uma estratégia que contrasta com o controlo passivo que consiste na reparação de roturas apenas quando estas surgem à superfície. De modo geral, o CAP é

responsável pelas perdas de água por roturas não comunicadas e o controlo passivo pelas perdas de água simplesmente por roturas comunicadas.

É possível identificar o local onde ocorre uma rotura através da análise dos dados transmitidos pelos medidores de caudal, contudo não se consegue detetar exatamente em que conduta ou ramal ocorreu a rotura/avaria. Deste modo, caso ocorra um aumento súbito ou gradual de caudal numa determinada zona, é necessário dirigir os esforços no terreno com o objetivo de localizar a fuga o mais rápido possível, devendo a EG possuir um conjunto de equipamentos acústicos que asseguram a precisão da localização da mesma (Farley *et al.*, 2008):

- *Loggers* acústicos;
- Correladores de ruído;
- Geofone;
- Hastes de som tradicionais.

***Loggers* acústicos**

Estes equipamentos são distribuídos pelas zonas onde existe a possibilidade de fugas, sendo colocados em hidrantes ou em outros pontos diretos e acessíveis nas infraestruturas para absorver o nível de ruído nas condutas. Deste modo é possível confirmar se existe ruído anómalo associado a fugas. Na Figura 3.9 estão representados os *loggers* acústicos utilizados na AEdP e o seu funcionamento.



Figura 3. 9 – *Loggers* acústicos utilizados na AEdP.

Correladores de ruído

Um correlador de ruído localiza a fuga com base na velocidade dos sons provenientes da mesma, à medida que estes atravessam a tubagem entre dois microfones (*loggers*). A eficácia deste processo depende da intensidade do ruído e da condutividade do som no material da tubagem. Na Figura 3.10 estão representados os correladores de ruído utilizados na AEdP.



Figura 3. 10 – Correladores de ruído utilizados na AEdP.

Geofone

É um equipamento eletrónico que amplifica o ruído proveniente da fuga e consiste na colocação do sensor no solo, acima das condutas que se pretendem inspecionar e, deste modo quanto mais intenso o ruído, mais preciso é o local da fuga.

A utilização deste equipamento pode ser dificultada pelos ruídos envolventes, sendo que a sua utilização é mais comum durante o período noturno. Na Figura 3.11 está representado o funcionamento de um geofone.



Figura 3. 11 – Geofone utilizado na AEdP.

Hastes de som tradicionais

Estas hastes de som são compostas por um amplificador, que pode ser mecânico ou eletrónico, e por uma haste metálica. A haste metálica é introduzida no solo, após a retirada das cabeças móveis que cobrem as válvulas, e permite a condução pela vara dos ruídos provenientes das fugas (Figura 3.12). Do

mesmo modo que o geofone, quanto mais intenso o ruído, mais próxima se encontra a fuga. A deteção do ruído é mais fácil em condutas de FF e FFD em comparação com condutas de PEAD e PVC, devido às propriedades dos materiais ao nível da condução de propagação do som/ruído.



Figura 3. 12 – Funcionamento de uma haste de som tradicional na AEdP.

Com o recurso a estes equipamentos é possível a identificação de fugas que não afloram à superfície, com a consequente reparação, de modo a minimizar as perdas de água reais.

3.4.4. SETORIZAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A setorização da rede de distribuição consiste na divisão e subdivisão de certas áreas da rede em ZMC (Figura 3.13).

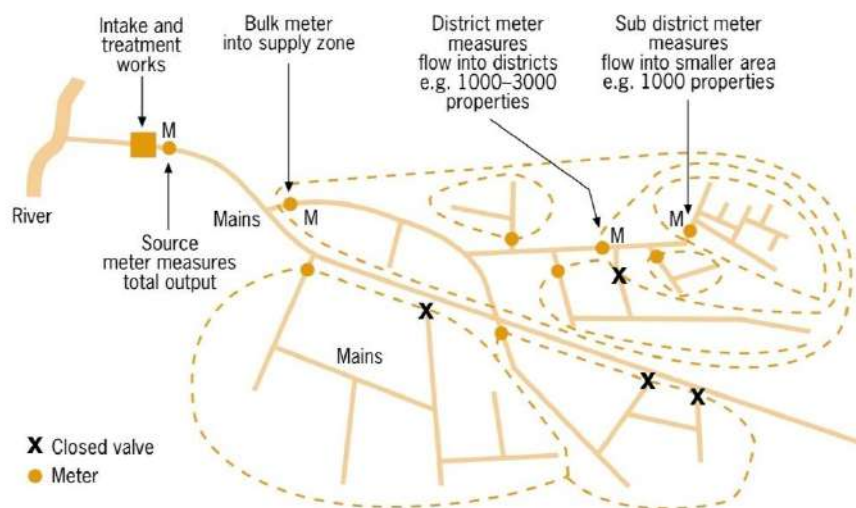


Figura 3. 13 – Esquema de concretização da setorização de uma rede de distribuição de água (Farley M., 2001)

A setorização possui as seguintes vantagens principais:

- Identificação das áreas mais problemáticas;
- Quantificação do caudal admitido e consumido, bem como e a pressão à entrada;
- Conhecimento das condições e da organização do escoamento na rede interior;
- Controlo da pressão;
- Preparação do BH;
- Redução das áreas de pesquisa de avarias;

- Redução do tempo de deteção e localização das perdas;
- Cálculo da ANF e das perdas de água, por vertente;
- Melhoria da gestão operacional.

3.4.4.1. CONCEITO DE ZMC

Segundo a IWA, uma ZMC é uma área definida com limites permanentes cujo caudal da água que entra nessa área é monitorizado e os consumos são avaliados. Os objetivos da criação de ZMC centram-se na divisão da rede de distribuição de modo a ser possível a monitorização de forma mais eficiente do caudal de água que circula nas diferentes condutas, permitindo uma identificação de potenciais fugas de forma mais rápida e ágil, realizando igualmente a gestão da pressão na rede de modo a esta operar a um nível próximo do ótimo.

Para se proceder à criação destas ZMC é necessário ter diversos fatores em conta:

- Área, comprimento de condutas e número de consumidores;
- Tipologia de edifícios e de consumidores;
- Altura e condição do abastecimento das redes internas dos edifícios;
- Inclinação do terreno;
- Qualidade da água – parâmetros mínimos exigidos/preteridos;
- Valores de pressão de serviço a garantir;
- Número de válvulas de seccionamento a fechar para permitir o isolamento das infraestruturas;
- Condições das infraestruturas;
- Nível económico de perdas.

Dentro das ZMC existem as Sub-ZMC, ou seja, zonas mais pequenas e com monitorização independente entre elas. Quanto mais pequena for a zona, maior é o custo de criação visto que é necessário instalar mais válvulas e medidores de caudal, e a sua manutenção a longo prazo também será mais dispendiosa. Contudo, apresentam diversos benefícios como a identificação mais rápida de fugas, fugas mais pequenas que seriam praticamente indetetáveis em zonas maiores tornam-se identificáveis nestas zonas mais pequenas, os custos de deteção são reduzidos porque a área de procura é muito menor e é possível manter um nível de perdas mais reduzido.

A chave para a gestão das ZMC é a análise do caudal mínimo, ou seja, geralmente durante a noite, para determinar se existem fugas, sendo que as perdas de base e o consumo dos consumidores fazem sempre parte desta análise como se pode observar na Figura 3.14.

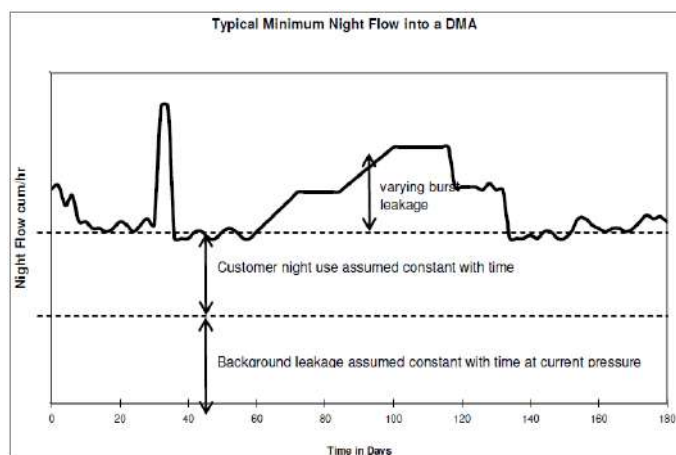


Figura 3. 14 – Variação do caudal noturno em função do tempo (Morrison et al., 2007).

Tendo por valor padrão inicial o somatório das perdas de base e o consumo noturno, que se assume que seja constante, é facilmente identificável quando ocorrem fugas de água. O primeiro desvio por aumento situado entre os 20 e os 40 dias corresponde a **uma rotura comunicada**, que foi rapidamente reparada. Entre os 60 e 120 dias ocorreram **duas roturas não comunicadas** que foram identificadas e reparadas em alturas diferentes (entre os 120 e os 140 dias), sendo que o caudal apenas voltou ao normal a partir dos 140 dias. De notar que as pequenas variações que se apresentam correspondem ao consumo noturno, sendo que este pode variar diária, semanal ou sazonalmente.

Assim que a ZMC for criada é necessário efetuar um teste de pressão zero, que envolve suspender o fornecimento de água à ZMC e verificar se a pressão reduz até chegar ao valor zero. Caso isto não aconteça é necessário verificar as válvulas de seccionamento que foram fechadas para isolar a área e repetir o teste. É de salientar que estes testes são efetuados em *softwares* de simulação como o EPANET - que será abordado mais à frente – visto que não é viável cortar o fornecimento de água numa situação real para não afetar os consumidores, apenas em casos excecionais quando existe o recurso para tal.

3.4.4.2. EQUIPAMENTOS DE MONITORIZAÇÃO

Para proceder à monitorização das ZMC são instalados medidores de caudal à entrada das mesmas e estes devem ter as características adequadas tendo em conta os seguintes pontos (Morrison *et al.*, 2007):

- Consumo mínimo (noturno) e máximo na ZMC e Sub-ZMC;
- Diâmetro da conduta de entrada e velocidade mínima e máxima de escoamento;
- Custo de instalação e manutenção do equipamento;
- Perda de carga em horas de maior consumo;
- Precisão do equipamento e transmissão dos dados.

Para além dos medidores de caudal, à entrada encontram-se, também, medidores de pressão que transmitem o valor da pressão para um *data logger* como está apresentado na Figura 3.15.

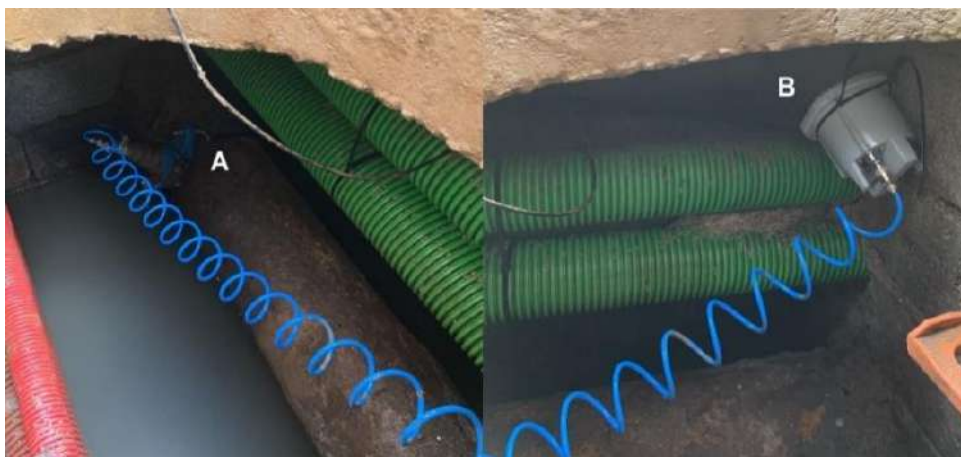


Figura 3. 15 – Medidor de pressão (A) e data logger (B) da câmara de manobra da Rua de Dr. Ricardo Jorge, no Porto.

Na Figura 3.16 observa-se a variação da pressão do dia 21 de junho desde as 0h até às 23h59 do *data logger* da Figura 3.15, em que cada ponto representa a pressão a cada 15 minutos.



Figura 3. 16 – Variação da pressão comunicada pelo data logger da Rua de Dr. Ricardo Jorge, no Porto.

3.4.5. RAPIDEZ E QUALIDADE DA REPARAÇÃO DAS AVARIAS DETETADAS

Conforme já mencionado, o volume de perdas reais de água é afetado pelo tempo, sendo de extrema importância que a reparação das fugas e roturas detetadas seja o mais rápido possível. Além da rapidez, a qualidade da reparação também possui um papel muito importante. Uma conduta que seja reparada e registre novas roturas num pequeno período de tempo, sugere uma fraca reparação inicial e perdas de água e financeiras que poderiam ser evitadas.

Os pontos-chave para uma política de reparação adequada são (Farley *et al.*, 2008):

- Organização e procedimentos eficientes desde que é dado o alerta inicial da fuga até à sua reparação;
- Disponibilidade de equipamentos e materiais;
- Financiamento suficiente;
- Materiais e mão-de-obra apropriados;
- Gestão das equipas de intervenção;
- Boa qualidade de serviços associados.

Além destes pontos-chave, uma reparação rápida das roturas permite prevenir potenciais estragos que possam ocorrer, como inundações ou movimentos do solo associados ao elevado volume de água perdido. Este tipo de ocorrências gera problemas financeiros, estruturais, ambientais e de segurança pública, sendo essencial a sua prevenção.

3.4.6. GESTÃO PATRIMONIAL DAS INFRAESTRUTURAS E DOS ATIVOS

A gestão de ativos numa EG está associada a boas práticas de engenharia e de negócio, de uma forma racional e responsável, sendo que inclui todos os aspetos de gestão e operações. Uma boa gestão de ativos é necessária para a gestão económica de perdas a longo prazo e o seu objetivo principal é combater as perdas de água da forma mais eficiente e eficaz possível.

Revela-se necessário definir prioridades e optar se é necessário reparar, substituir, reabilitar ou manter as infraestruturas e ativos. Ao mesmo tempo é essencial implementar estratégias de gestão da pressão e melhorar as operações. Os fatores críticos da gestão de ativos são os seguintes (Farley *et al.*, 2008):

- Compreensão da *performance* dos ativos;

- Recolha dos dados necessários para obter informações de planeamento;
- Sistemas de informação com boa qualidade.

As condutas mais antigas possuem uma maior propensão para o surgimento de roturas, sendo que é necessário ponderar qual a melhor ação a tomar para cada circunstância: se a reparação da avaria ou se a substituição do troço da infraestrutura. Estas condutas são compostas por materiais inconvenientes como o FF e o FC, o que acarreta algumas desvantagens aquando do escoamento da água, sendo que a sua substituição é provavelmente a melhor solução. Contudo, é necessário refletir se a sua substituição é um investimento que vale a pena e se o retorno desse investimento é, idealmente, a curto prazo.

4

ÂMBITOS E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação foi desenvolvida em Ambiente Empresarial, na Águas e Energia do Porto, E.M., no âmbito do Mestrado em Engenharia do Ambiente (MEA) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Tendo em conta o que já foi mencionado relativamente à temática das perdas de água reais, é de salientar que este é assunto demasiado importante e premente para ser ignorado, especialmente devido à seca que se tem vindo a registar em Portugal e outras alterações climáticas extremas que estão a proliferar por todo o planeta, colocando em risco o acesso à água potável.

É sempre possível melhorar o desempenho das EG e deve-se sempre procurar uma gestão sustentável. Apesar dos grandes investimentos que são necessários para a implementação de medidas para reduzir as perdas, os benefícios e a melhoria que são apresentados, tornam estes investimentos completamente justificáveis e necessários.

Deste modo o objetivo da presente dissertação consiste na otimização da atual solução de setorização interior da rede de abastecimento de água da empresa AEdP para a redução das perdas de água, tendo em consideração os custos e benefícios deste processo.

Definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Análise do Índice de ANF no SAA da AEdP;
- Avaliação do sistema em termos de eficiência hídrica;
- Otimização dos modelos hidráulicos da rede e confirmação dos valores no terreno;
- Estudo de solução para a última fase do Projeto de Setorização da Rede (ZMC);
- Verificação da solução do terreno e implementação;
- Análise e proposta de equipamentos de monitorização a implementar;
- Análise dos resultados obtidos.

Esta página foi deixada propositadamente em branco.

5

ÁGUAS E ENERGIA DO PORTO, E.M.

5.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DA EG

A EG, Águas e Energia do Porto, E.M. (Figura 5.1), foi constituída em outubro de 2006 e tem como objeto social a gestão integrada e sustentável de todo o ciclo urbano da água no Município do Porto, sendo que dá continuidade aos serviços prestados pelos antigos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento do Porto (SMAS do Porto). Em abril de 2021, a EG alterou os seus estatutos e englobou uma nova área de atuação, nomeadamente a Energia. Assim, atualmente a missão da EG é “Valorizar o ciclo urbano da água e promover a gestão energética integrada da Cidade, com sustentabilidade económica, ambiental e social, prestando serviços de excelência aos Clientes e à Comunidade.” (AEdP, 2022).



Figura 5. 1 – Sede da AEdP, no Porto (Rua Barão de Nova Sintra, n.º 285).

Os SMAS do Porto foram criados a 1 de abril de 1927 com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos habitantes do Porto, assim como o ambiente na cidade, garantindo um fornecimento de água constante e com qualidade, e o tratamento das águas residuais. Em 1934, os SMAS começaram a ter a obrigação de abastecer os concelhos de Gondomar, Gaia e Matosinhos, para além do Porto, e devido à necessidade de grandes investimentos foi criada a Águas do Douro e Paiva S.A. (AdDP), em janeiro de

1998, que passou a ser responsável pelo abastecimento em alta, sendo que os SMAS passaram a garantir apenas a vertente da distribuição em baixa.

A AEdP é uma das maiores EG de abastecimento de água e saneamento de águas residuais, em Portugal, sendo que o seu objeto social de gestão integrada e sustentável engloba as seguintes atividades (AEdP, 2022):

- Abastecimento de água;
- Drenagem e tratamento de águas residuais;
- Drenagem das águas pluviais;
- Gestão das linhas de água;
- Gestão da frente marítima;
- Gestão da energia;
- Promoção da educação ambiental e da sustentabilidade.

Atualmente, a EG possui um vasto conselho de administração que é constituído por diversas vertentes como está apresentado na Figura 5.2, sendo que o presente trabalho se integrou no Departamento do Abastecimento de Água.

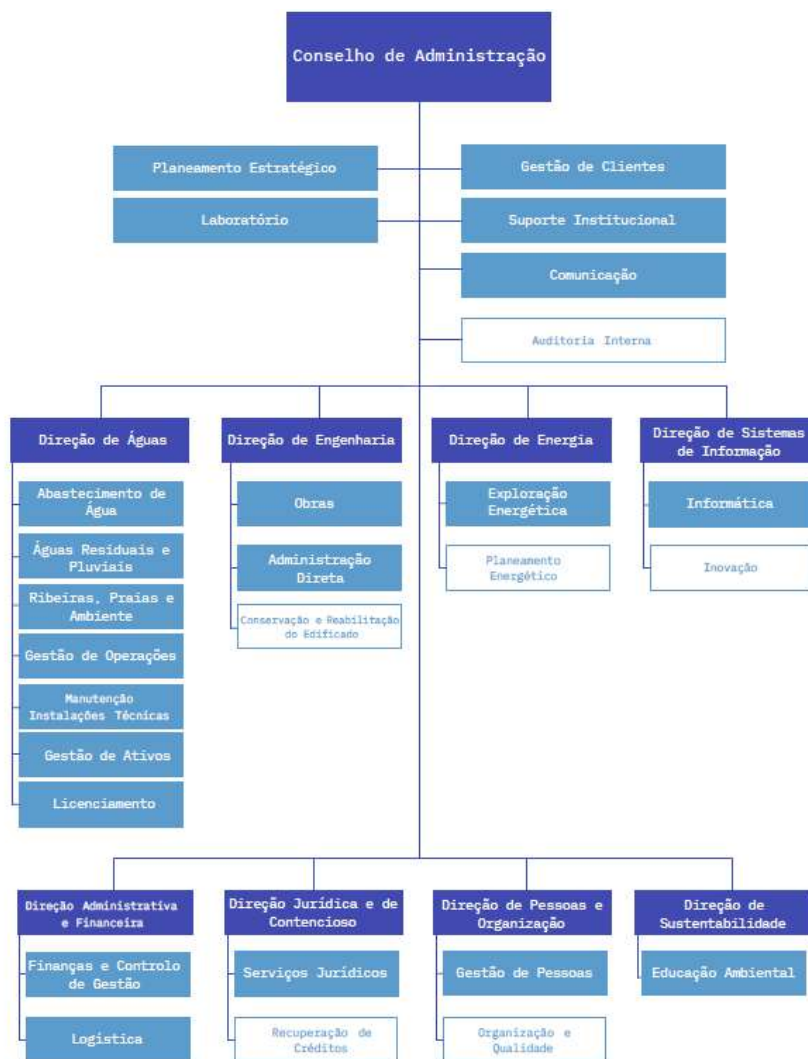


Figura 5. 2 – Organograma atual da AEdP (Adaptado de AEdP, 2022).

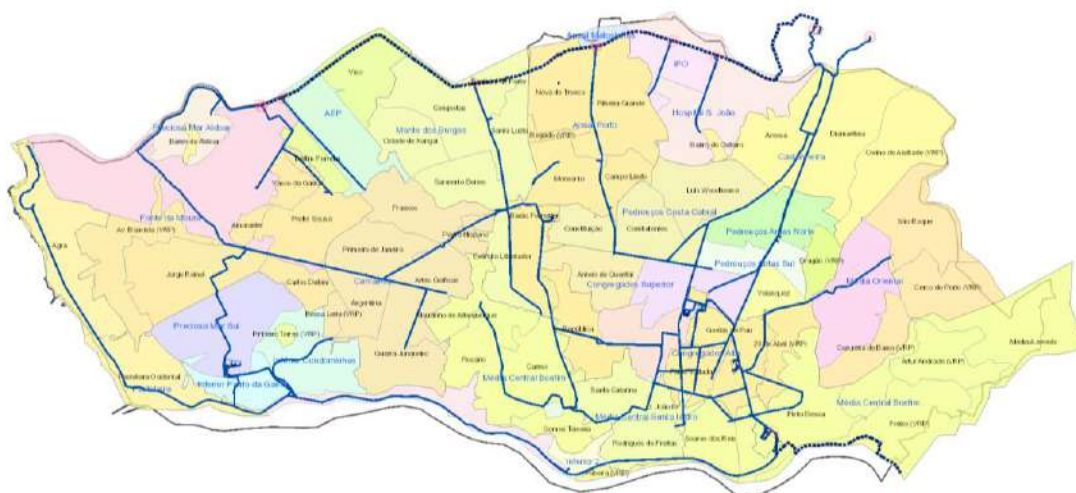


Figura 5. 4 – Mapa das Sub-ZMC interiores do SAA da AEdP (Obtido do SIG a 27-06-2022).

Para efetuar a gestão do SAA, a AEdP integra sistemas de telegestão e telemetria, de modo a monitorizar e controlar em tempo real todas as ocorrências e condições reais de escoamento. A telegestão está focada nos níveis de água de água dos reservatórios, funcionamento dos grupos eletrobomba, caudais instantâneos, estado das válvulas de segurança e alarmes de segurança. A telemetria da rede pública permite o conhecimento do escoamento ao nível dos caudais de entrada e saída das ZMC e Sub-ZMC e das pressões em diversos pontos de monitorização, sendo que os dados são registados por *data loggers* que medem a pressão e enviam os dados para os *softwares* de monitorização e controlo que a AEdP possui.

5.3. ÁGUA NÃO FATURADA E PERDAS REAIS

Desde a criação da AEdP, em outubro de 2006, até ao final do ano de 2021 observou-se um decréscimo significativo do índice de ANF e, de acordo com o R&C da EG, o valor relativo ao ano de 2021 é de 14,78%. Este valor representa uma importante melhoria em comparação com anos anteriores, como se pode observar na Figura 5.5, e corresponde a 7 824 m³ diários de água perdida.

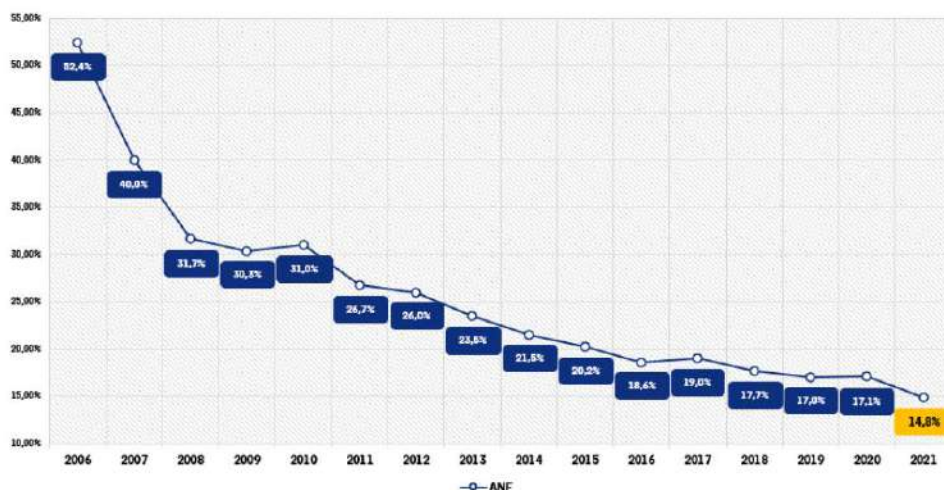


Figura 5. 5 – Variação do índice de ANF entre 2006 e 2021 (AEdP, 2022).

Esta redução da ANF ao longo dos anos está associada a uma poupança económica acumulada superior a 76,9 milhões de euros, como se apresenta na Figura 5.6.



Figura 5. 6 – Poupança económica acumulada entre 2006 e 2021 (AEdP, 2022).

Relativamente às perdas reais, verificou-se um valor de 69,02 litros/ramal/dia para o ano de 2021, sendo que em comparação com o ano anterior (90,97 litros/ramal/dia), existiu uma redução do volume perdido de água de 24,1%. As perdas reais de água ocorreram devido, essencialmente, a 732 roturas e avarias em condutas, 805 roturas e avarias em ramais domiciliários e 446 avarias em acessórios da rede. Apesar do valor de perdas ser inferior ao ano anterior, o valor total destas ocorrências aumentou 18,5% de 2020 para 2021. Esta diferença suporta o que já foi mencionado relativamente ao volume de água perdido ser dependente do tempo de reconhecimento da fuga, apesar de existirem mais ocorrências em 2021, o seu tempo de reconhecimento foi previsivelmente inferior que o de 2020.

É também importante salientar que 61,2% destas ocorrências foram detetadas pelo CAP, sendo uma enorme melhoria relativamente ao ano de 2020, onde representava 48,1%.

5.4. PROGRAMA ESTRATÉGICO DE GESTÃO E REDUÇÃO DA ANF

Com vista à melhoria contínua e qualidade do serviço prestado foi elaborado e implementado o Programa Estratégico de Gestão e Redução da Água Não Faturada e devido à atual problemática das perdas de água, espera-se que o índice de ANF atingido no final do ano de 2022 seja ainda menor que o valor atingido no ano de 2021 e atinja os 10% a médio prazo. Este programa engloba várias vertentes de atuação que podem ser descritas da seguinte forma (AEdP, 2022).

- **CAP: Detecção de fugas** – Conjunto de estratégias de atuação preventiva e reativa, com o objetivo de reduzir, controlar, reparar e evitar as ocorrências na rede de abastecimento de água;
- **Setorização do Sistema em ZMC** – Garantia de uma maior eficácia e controlo do SAA do Município, de modo a promover melhorias constantes à qualidade do serviço prestado diariamente;
- **Plano de Renovação de Condutas Prioritárias** – Plano com o objetivo de substituição de condutas, tendo em conta o número de ocorrências, idade e materiais constituintes;

- **Plano de Substituição de Contadores e Inspeção de Contadores Potencialmente Parados** – Garantia do bom funcionamento e controlo metrológico dos equipamentos;
- **Porto 100% Telemetria** – Instalação de módulos de telemetria nos contadores que o permitam ou renovação dos existentes por equipamentos munidos deste tipo de sistema;
- **H2Leaks: Inteligência Artificial** – Tecnologia com o objetivo de agilizar o processo de previsão e localização de ocorrências na rede de abastecimento;
- **Monitorização online do Sistema e H2Porto: Plataforma de Gestão Integrada** – Acesso constante a informações de consumidores, distribuição de água, pressão nas ZMC, entre outras informações;
- **Reabilitação de Reservatórios** – Uniformização dos processos de higienização dos 6 reservatórios do SAA e revisão do procedimento de controlo dos seus níveis de água;
- **Consumo Não Autorizado: Controlo de Ilícitos** – Estratégia de inspeção, deteção, participação e retirada de ilícitos na rede pública e predial, de modo a impedir o consumo não autorizado de água;
- **Gestão e Redução da Pressão** – Instalação de VRP adaptadas às exigências da rede;
- **Agilidade e Qualidade das Reparações** – Reforço das equipas de reparação aos fins de semana e feriados, reduzindo o tempo de reparação;
- Modelação Hidráulica;
- **Monitorização e Controlo de Grandes Consumidores** – Colocação de *data loggers* nos grandes clientes para ser possível uma monitorização constante e eficaz, de modo a não existir medições erradas no caso de possuírem contadores mal dimensionados;
- **H2Meter: Eficiência no terreno** – Otimização dos roteiros das equipas no terreno para um aumento dos serviços diários, percorrendo uma menor distância, em menos tempo e reduzindo os custos de transporte.

De salientar que a vertente de “Setorização do Sistema em ZMC” engloba o Projeto Setorização Mais, que é objeto de análise na presente dissertação.

6

SETORIZAÇÃO DA REDE DA CIDADE DO PORTO – ESTUDO PRÉVIO E APLICAÇÃO REAL

6.1. PREÂMBULO

O projeto-alvo é denominado “Setorização Mais: Otimização do Modelo de Setorização da Rede de Abastecimento de Água”, sendo que se encontra dividido em duas fases:

- Fase 1, entre 2019 e 2021;
- Fase 2, atualmente em curso com início em 2022.

Cada uma das fases é descrita na presente dissertação, tendo sido elaborado o estudo prévio da Fase 1 de modo a iniciar a aplicação da Fase 2 no SAA do Porto.

6.2. PROJETO SETORIZAÇÃO MAIS: FASE 1

6.2.1. OBJETIVOS, ÂMBITO E CARACTERIZAÇÃO

O projeto “Setorização Mais: Otimização do Modelo de Setorização da Rede de Abastecimento de Água” teve início em 2019 no âmbito das estratégias definidas no “Programa Estratégico de Gestão e Redução de Água Não Faturada”, e assenta no objetivo da reestruturação e refinação das ZMC do SAA, criando zonas internas para garantir às equipas do CAP um menor raio de ação de modo a identificar ocorrências mais rapidamente. Alinhado com a sustentabilidade ambiental, social e económico-financeira da EG e, conforme referido, integrado no “Programa de Gestão e Redução de Água Não Faturada”, este projeto completa a monitorização global do SAA. De acordo com este âmbito foi prevista a construção de 31 novas câmaras de manobras para posterior instalação de medidores de caudal.

Aquando da data de arranque do projeto existiam 22 ZMC principais e 22 Sub-ZMC interiores, como se observa nas Figuras 6.1 e 6.2, sendo que se encontram assinalados a vermelho os doze medidores de caudal pertencentes à AdDP, instalados nos pontos de entrega da água em alta (AEdP, 2019).

Em adição a estes doze medidores de caudal, aquando do início projeto, a AEdP possuía mais 48 distribuídos pelo SAA.

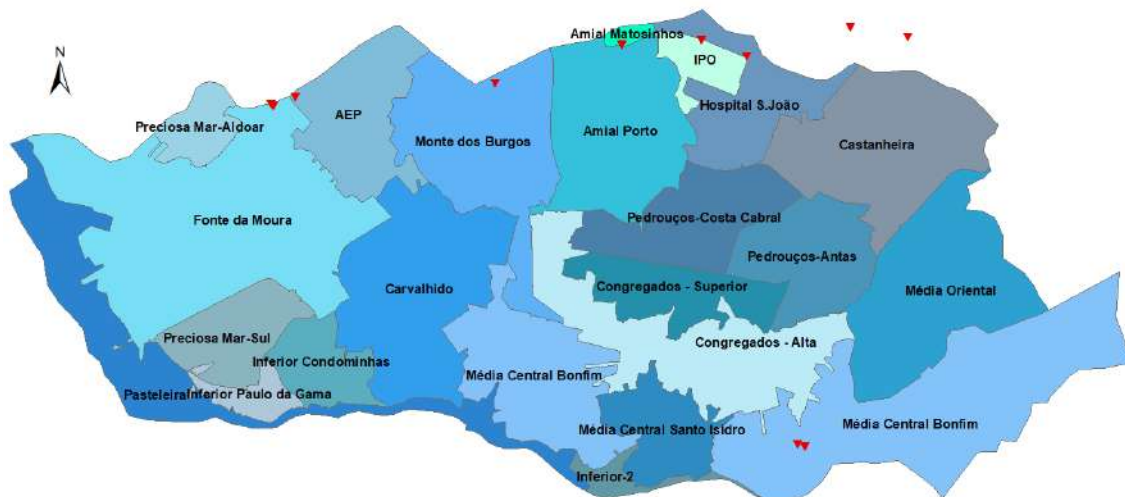


Figura 6. 1 – ZMC principais no Município do Porto aquando do arranque do projeto (AEdP, 2019).

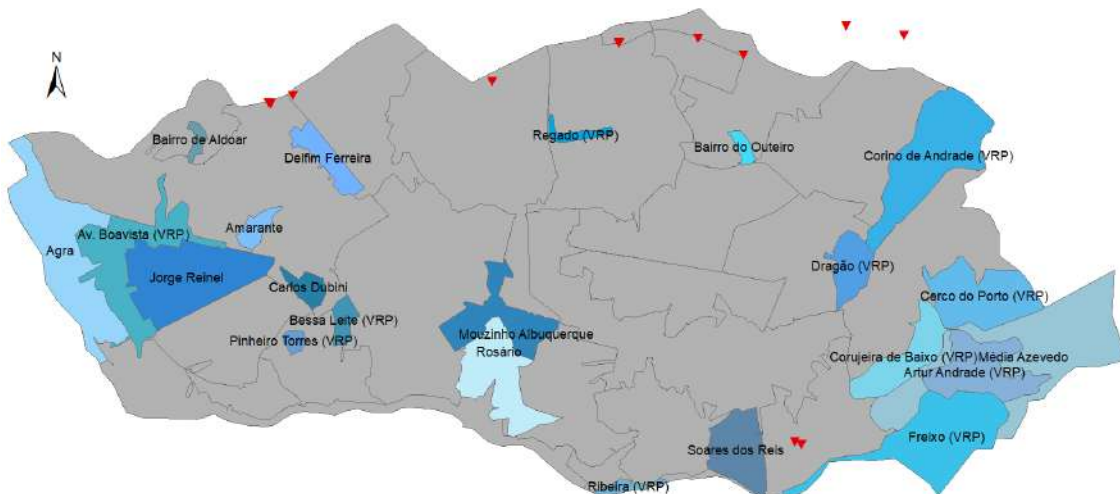


Figura 6. 2 – Sub-ZMC interiores no Município do Porto aquando do arranque do projeto (AEdP, 2019).

A implementação deste projeto surgiu na necessidade da melhoria contínua do controlo e monitorização constante dos consumos e pressões da rede, com o objetivo principal de redução das perdas reais de água e, consequentemente, a ANF, apoiando, ainda que de forma indireta, a redução das perdas aparentes.

6.2.2. DIMENSIONAMENTO E EMPREITADA

Tal como foi mencionado, no decurso da primeira fase do projeto definiram-se 31 novas câmaras de manobra, ou seja, 31 novas Sub-ZMC interiores para dar continuidade à estratégia de setorização delineada pela EG, sendo que estas se encontram apresentadas na Figura 6.3.

Em cada uma destas Sub-ZMC foi instalado um medidor de caudal eletromagnético flangeado, em cada câmara de manobra prevista para construção.

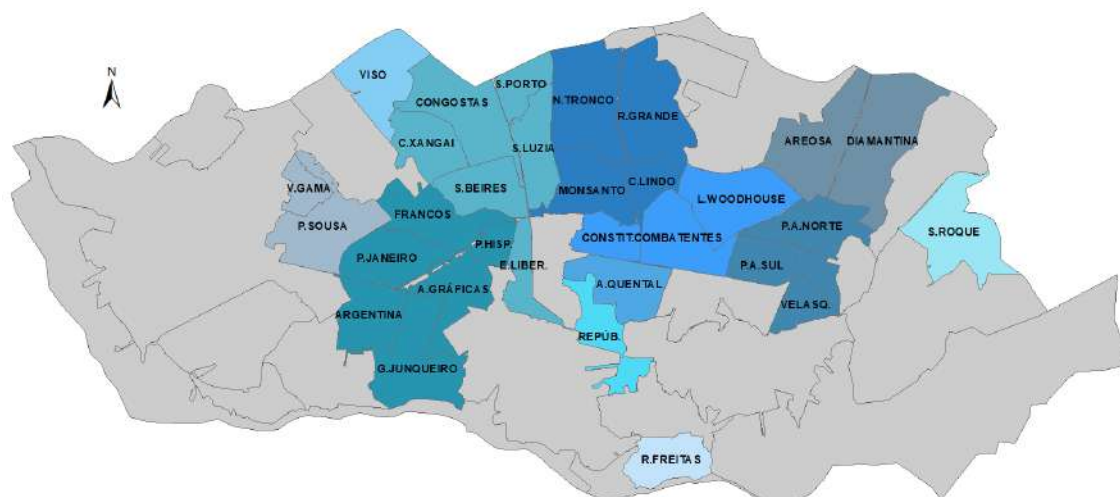


Figura 6. 3 – Sub-ZMC interiores definidas para implementação (AEdP, 2019).

Cada medidor foi dimensionado atendendo ao diâmetro e material da conduta de instalação e o caudal e velocidade de escoamento da água por essa mesma conduta, e podem ser instalados ao longo da conduta (Figura 6.4) ou em *bypass* (Figura 6.5). Para tal, foram estudadas estas características para que, de uma forma responsável, o dimensionamento dos equipamentos apresentasse o menor investimento necessário respondendo diretamente às necessidades/objetivo para cada local.

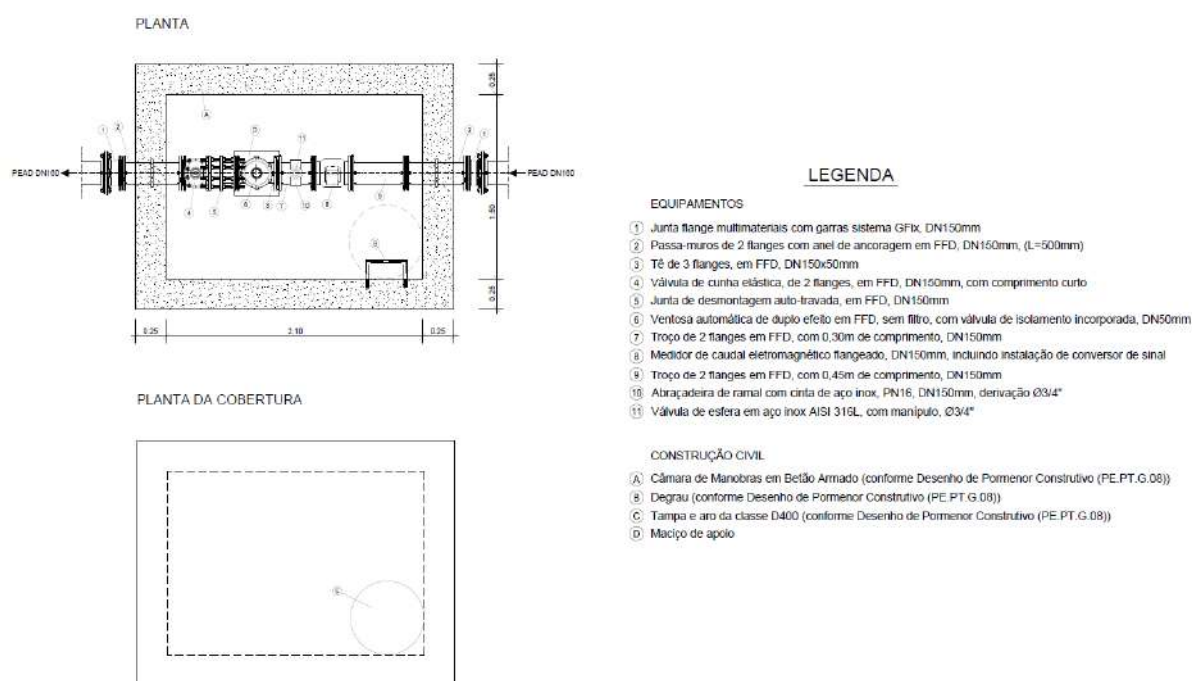


Figura 6. 4 – Exemplo de planta do caudalímetro e caixa de manobra na Sub-ZMC “Nova do Tronco” (AEdP, 2019).

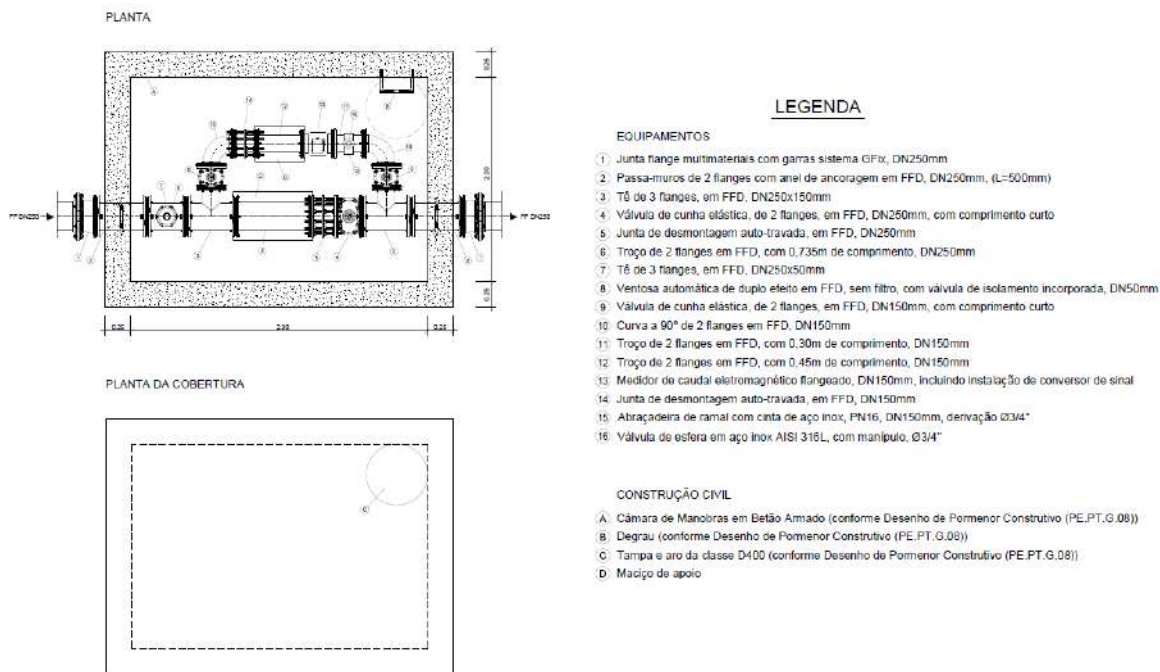


Figura 6. 5 – Exemplo de planta do caudalímetro e caixa de manobra na Sub-ZMC “São Roque” (AEdP, 2019).

6.2.2.1. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS E NOTAS GERAIS

Segundo a Memória Descritiva e Justificativa do projeto existem várias disposições construtivas dependendo do componente a implementar:

Condutas

- Instalação das condutas no passeio, sempre que possível, e no caso de não existir passeio instalar a uma distância de, pelo menos, 0,8 m dos limites da propriedade;
- Aquando de substituição de tubagem, as condutas de PEAD devem ser instaladas a 0,8 m de profundidade;
- Implantação das condutas num plano superior ao dos coletores de águas residuais domésticas, a mais de 1 m de distância, de modo a garantir proteção contra possível contaminação;
- Para o assentamento das tubagens devem ser abertas valas com as dimensões especificadas no mapa de medição do projeto, sendo que o aterro deve ser executado por camadas, regadas e compactadas, com espessura máxima de 0,2 m;
- As ligações às redes existentes devem ser realizadas em períodos de menor consumo e no menor espaço de tempo possível.

Válvulas de seccionamento

- As câmaras de manobra devem ser dotadas de válvulas de seccionamento, de modo a isolar o circuito de instalação dos medidores de caudal para, quando necessário, efetuar trabalhos de limpeza/desinfecção ou reparações com a menor inconveniência;
- As válvulas de seccionamento, que permitem a operação e controlo das condutas distribuidoras, devem ser flangeadas;
- Para manipulação das válvulas de seccionamento, fora da câmara de manobras, devem ser instaladas cabeças móveis em FFD, à cota do pavimento final.

Medidores de Caudal

- Os caudalímetros previstos são eletromagnéticos, flangeados, com diâmetros específicos, com erro de medição de +/- 0,2% do caudal medido, com alimentação a baterias e conversor de sinal para montagem compacta ou separada;
- Sempre que a profundidade da conduta seja inferior a 1 m, instalar o conversor de sinal em versão separada;
- Os troços a montante e a jusante do caudalímetro devem ser retilíneos e afastados de zonas de alteração de secção como, por exemplo, junções e estreitamentos.

Ventosas

- Devem ser localizadas a montante ou jusante de válvulas de seccionamento consoante estas se encontrem em troços ascendentes ou descendentes, respetivamente;
- Devem possuir um diâmetro mínimo de 1/8 da conduta onde são instaladas, com um mínimo de 20 mm;
- Ventosas de duplo efeito devem ser instaladas numa derivação da conduta principal.

Acessórios

- Foram previstos vários acessórios, em FFD, que permitem a ligação das condutas e equipamentos nas câmaras de manobras.

Gerais

- A localização das câmaras de manobras e outros trabalhos previstos devem ser confirmados em obra e para possíveis modificações é necessário consultar a fiscalização;
- Disposições aplicáveis ao modo de execução constam das Cláusulas Técnicas Especiais e peças desenhadas do projeto;
- Levantar e repor a camada de desgaste do pavimento na faixa de rodagem na área da empreitada e com um perímetro extra de 0,7 m, criando um correto encaminhamento da água da chuva para os pontos de recolha;
- Todos os trabalhos devem ser compatíveis com a rede de águas residuais domésticas e pluviais.

Para além destas disposições construtivas e outras especificações técnicas dos trabalhos a realizar que podem ser encontradas na Memória Descritiva e Justificativa do projeto, deve ser cumprida a legislação e regulamentação em vigor relativa à segurança no trabalho:

- **Lei n.º 7/2009 e Lei n.º 102/2009** – princípios de segurança, higiene e saúde no trabalho;
- **Decreto de Lei n.º 273/03** – condições de segurança e saúde em estaleiros temporários ou móveis;
- **Portaria n.º 101/96** – regras gerais de planeamento, organização e coordenação;
- **Decreto Regulamentar n.º 22 A/98** – regula a sinalização de trânsito.

Os impactes ambientais negativos associados aos trabalhos a executar devem ser tidos em consideração, particularmente em relação à gestão dos resíduos associados aos mesmos. Devem ser cumpridas todas as normas definidas pelo **Decreto-Lei n.º 46/2008**, que estabelece o regime de operações de gestão de resíduos resultantes de obras.

6.2.3. ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

A estimativa orçamental da Fase 1 do “Projeto Setorização Mais” pode ser dividida nas componentes da Tabela 6.1, constituindo o investimento associado.

Tabela 6. 1 – Estimativa orçamental da Fase 1 do projeto por componentes

Componente	Descrição	Preço (€)
Estaleiro	Montagem, manutenção e desmontagem do estaleiro	351 000,00
Câmaras de manobras	Acessórios, construção civil e equipamento de medição	2 160 236,00
Conduitas	Escavações, fornecimento e assentamento das tubagens e reposição de pavimentos	123 415,50
Ramais	Fornecimento e assentamento de ramais domiciliários	9 100,00
Hidrantes	Fornecimento e colocação	3 900,00
Diversos	Materiais de trabalhos necessários para desviar ramais e garantir fornecimento de água aos clientes e rebaixamento de passeios em zonas de acesso a passadeiras	173 965,00

Os valores apresentados na Tabela 6.1 perfazem um total de **2 821 616,50 euros**, sendo que é possível verificar que a maior parte deste investimento é destinado à construção das câmaras de manobras.

6.2.4. RESULTADOS OBTIDOS E INPUT PARA A FASE 2

Para avaliar se a criação de novas Sub-ZMC revelou resultados positivos, pode-se efetuar uma comparação entre a AES e as perdas reais de água nos anos em que a Fase 1 foi implementada. Esta fase teve início em 2019 e terminou em 2021, contudo os dados de 2020 serão descartados visto que a pandemia Covid-19 gerou uma quebra nos consumos dos clientes e, por sua vez, no volume de negócios da AEdP e, no geral, foi um ano completamente diferente para toda a população. Ainda assim, embora a afetação de consumos no ano de 2021 também tenha sido muito expressiva pelo mesmo motivo, este já foi considerado para o cálculo.

Na Figura 6.6 observa-se a comparação entre o ano de 2019 e 2021, relativamente à AES e às perdas reais de água.

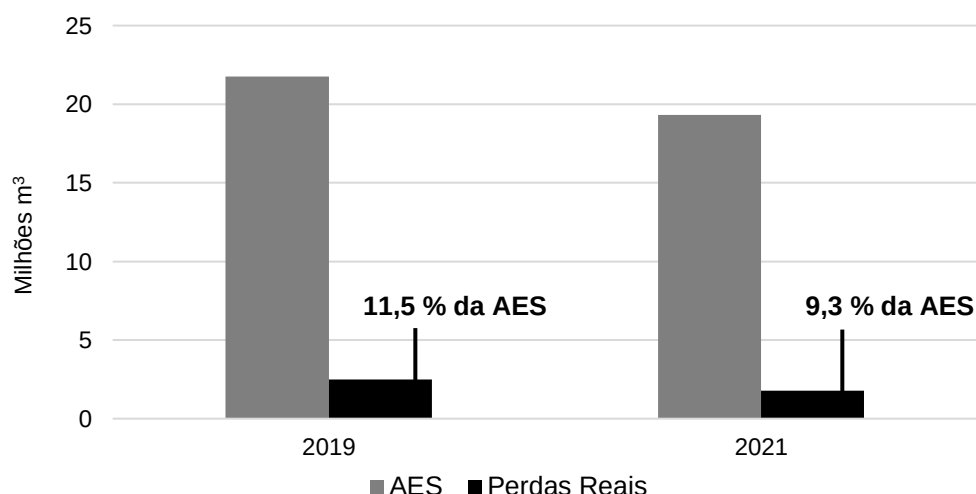


Figura 6. 6 – Relação das perdas reais de água com a AES nos anos 2019 e 2021.

Como se observa existe uma diferença entre 2019 e 2021, mais concretamente uma diferença de, aproximadamente, 700 000 m³ de volume de perdas reais. Tendo em conta o preço de compra da água, em 2021, à AdDP - 0,4605 €/m³ – existiu uma poupança de cerca de 320 000 euros, resultante da Fase 1 do projeto “Setorização Mais”. Tendo em conta que a Fase 2 do projeto consiste na continuação da criação de Sub-ZMC, assume-se que no final desta fase, também se verificará uma diferença de volume de perdas reais de água, sendo que este *input* para a realização da estimativa da poupança resultante da Fase 2 será calculado mais à frente na presente dissertação.

Até ao final do ano de 2021 foram concluídas as primeiras três sub-fases do projeto (Fase 1) e o SAA possui um total de 23 ZMC principais e 61 Sub-ZMC interiores, foram instalados 38 caudalímetros novos e mais de 90 *data loggers* em caudalímetros e pontos monitorização da pressão novos no interior das zonas de controlo.

Espera-se que as duas últimas sub-fases pertencentes à Fase 2 do projeto estejam concluídas até ao final de 2023, com a implementação de cerca de 28 novas Sub-ZMC interiores ao longo de todo o SAA, 12 das quais na primeira sub-fase e as restantes 16 na segunda, e última, sub-fase da Fase 2 do projeto. A presente dissertação abordou estas duas sub-fases no global, sendo que se debruçou na prática na primeira sub-fase.

6.3. METODOLOGIA APLICADA

6.3.1. ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO

Como já foi mencionado, uma ZMC pode ser definida como uma área da rede de abastecimento de água com limites permanentes, sendo que o caudal que entra nessa área é monitorizado em permanência, sendo que aquando da sua criação é necessário ter vários fatores/aspetos em conta. Existem, pois, alguns critérios principais a considerar para proceder ao seu dimensionamento (Farley M., 2001) (Figura 6.7):

- Nível Económico de Perdas (NEP);
- Densidade geográfica dos consumidores – clientes e ramais;
- Variação topográfica do terreno;
- Qualidade da água;
- Dimensão – objetivo face à situação operacional da EG.

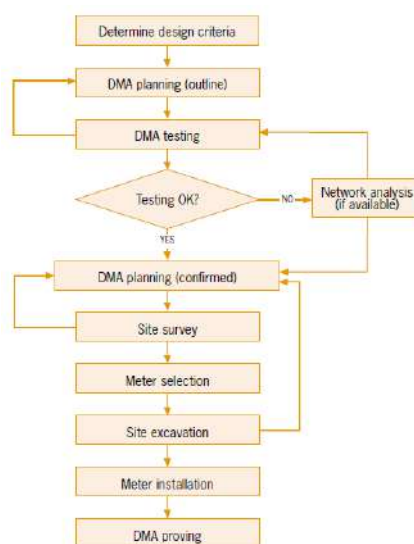


Figura 6. 7 – Fases de conceção e implementação (Farley M., 2001).

6.3.1.1. NÍVEL ECONÓMICO DE PERDAS

Cada EG possui os seus critérios para definir níveis de perdas e quais as suas metas para cada ZMC, face ao estágio-base, contudo as questões principais a ter em conta para definir o NEP são:

- Qual a meta de perdas de água a atingir?
- Como é que se justifica o custo para atingir a meta de perdas de água?
- Quanto tempo demorará a atingir a meta?
- Que técnicas ou procedimentos devem ser usados para atingir a meta?
- Quais os custos capitais e de operação/manutenção?
- Qual será a poupança na produção e/ou distribuição?
- Que efeito será sentido pelos consumidores?
- Qual o *payback period* do investimento?
- Qual o grau de atuação em campo das estratégias complementares para a redução das perdas?

Tendo em conta estas questões é possível formular um plano para gerir e reduzir as perdas de água no sistema de abastecimento de forma economicamente sustentável.

6.3.1.2. DENSIDADE GEOGRÁFICA DOS CONSUMIDORES – CLIENTES E RAMAIS

Em áreas tipicamente urbanas, uma ZMC deve possuir entre 500 e 3000 clientes (ou propriedades), contudo em áreas urbanas com elevada densidade de alojamentos, algumas ZMC podem ter mais que 3000 clientes. O valor de consumidores pode ainda ultrapassar os 5000 em algumas ZMC, contudo é preferível efetuar a divisão destas em duas ZMC mais pequenas (interiores), visto que com um elevado número de clientes torna-se desafiante identificar roturas com um volume pequeno de água perdido. Sendo assim, é possível discriminar as ZMC em 3 categorias:

- **Pequena:** n.º de clientes inferior a 1000;
- **Média:** n.º de clientes entre 1000 e 3000;
- **Grande:** n.º de clientes entre 3000 e 5000.

Cada cliente/propriedade está associado a um contador, sendo possível conhecer o número exato de consumidores de uma ZMC, o que não se sucede com a classificação da ZMC pelo número de ramais existentes. Isto deve-se ao facto de um ramal poder incluir vários clientes, como é o caso dos prédios. Apesar de as perdas reais de água serem contabilizadas pelo número de ramais, a IWA preconiza o uso do número de clientes/propriedades para o dimensionamento das ZMC.

De salientar que algumas EG adotam o critério empírico da extensão da rede da ZMC, na ordem dos 10 Km para zonas urbanas densas.

6.3.1.3. VARIAÇÃO TOPOGRÁFICA DO TERRENO

As ZMC devem incluir áreas com o mesmo nível altimétrico e sem variações elevadas de cotas topográficas, de modo a diminuir as variações de pressão no SAA. No caso de não ser possível separar duas áreas com cotas muito diferentes, existe a possibilidade de criação de uma ZRP no interior da ZMC, instalando uma VRP, otimizando os níveis a jusante.

6.3.1.4. QUALIDADE DA ÁGUA

A manipulação de válvulas de seccionamento para fechar ou abrir troços de condutas pode implicar uma alteração da qualidade da água. No caso de abertura de uma válvula de seccionamento, que formava um troço “sem saída”, a água acumulada na ponta do mesmo passaria a circular na rede, degradando a qualidade da água distribuída, existindo ainda a possibilidade de reclamações por parte dos consumidores.

Este problema acontece frequentemente em hidrantes que não sejam utilizadas, em que a água absorve a ferrugem das condutas ferrosas mais antigas, o que provoca a alteração da cor da água “parada”. A AEdP tem atualmente implementado o “Plano de Descargas Controladas” (Figura 6.8) que permite renovar a água em pontos críticos do SAA, em termos de qualidade da água, como as bocas de incêndio e as válvulas de descarga.



Figura 6. 8 – Exemplo de descarga controlada de um marco de incêndio localizado num troço “sem saída”, na AEdP.

6.3.1.5. DIMENSÃO – OBJETIVO FACE À SITUAÇÃO OPERACIONAL DA EG

A dimensão de uma ZMC deve ser baseada na relação custo/benefício entre o investimento da sua implementação e manutenção e os benefícios da operação. Se a EG possuir um orçamento limitado deve estabelecer setores de maior dimensão com 5000 ou mais ramais numa fase inicial, e futuramente, dividir estes setores em ZMC com 1000 ou menos ramais.

O planeamento das ZMC é elaborado com recurso ao cadastro da rede e a modelos de simulação e a sua dimensão irá depender das condições topológicas e operacionais da rede.

6.3.2. ZONAS DE REDUÇÃO DE PRESSÃO

Uma ZRP é uma área geograficamente isolada na rede, na qual o objetivo é unicamente reduzir a pressão na rede, através da instalação de uma VRP no único ponto de entrada da zona. Além da VRP, caso possua um medidor de caudal, é denominada de Sub-ZMC, sendo completamente autónoma das outras Sub-ZMC que a rodeiam.

O seu dimensionamento é semelhante ao das ZMC e Sub-ZMC, contudo é necessário prestar especial atenção ao seu ponto crítico, que é usualmente no local mais longínquo e de cota mais elevada face ao ponto de entrada da zona. Sendo assim, a VRP têm de ser dimensionada de modo ao ponto crítico não ser afetado negativamente (Figura 6.9).

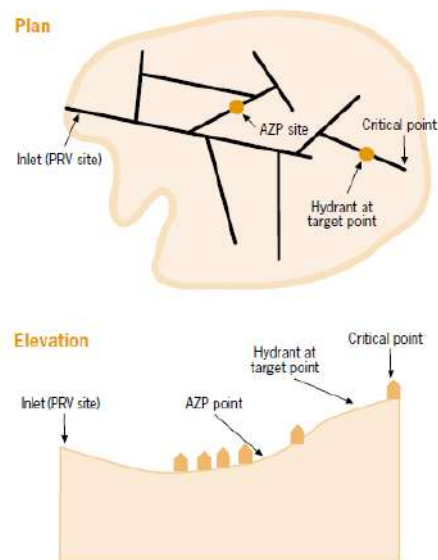


Figura 6. 9 – Ponto crítico de uma ZRP (AZP – “Average Zone Pressure”) (Farley M., 2001).

As VRP devem ser instaladas, sempre que possível, em *bypass* de modo a facilitar a manutenção e limpeza da mesma, sem causar transtornos aos consumidores dessa ZRP. Além disso, é preferível a instalação de um filtro a montante da VRP no caso de existirem impurezas na água (devido a uma infiltração, por exemplo) que possam danificar o equipamento.

6.3.2.1. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NAS PERDAS DE ÁGUA

Como já foi referido, quanto maior a pressão na rede, maior a probabilidade da ocorrência de roturas, e consequentemente, maior volume de perdas reais de água. A redução da pressão devido à instalação de VRP causa uma diminuição da probabilidade de ocorrência de roturas e é possível calcular o caudal de água perdido com a Equação 6.1 (Alegre *et al.*, 2005).

$$Q_{final} = Q_{inicial} \times (P_{final}/P_{inicial})^n \quad (6.1)$$

Em que:

- Q_{final} – caudal de perdas de água após a redução da pressão, em m³/s;
- $Q_{inicial}$ – caudal de perdas de água antes da redução da pressão, em m³/s;
- P_{final} – pressão após a redução, em m;
- $P_{inicial}$ – pressão antes da redução, em m;
- n – expoente.

A Equação 6.1 traduz a relação da pressão entre as variações de pressão na rede e o caudal de perdas reais de água, como se observa na Figura 6.10, e o expoente “ n ” assume valores diferentes, consoante o material constituinte das condutas onde a água escoa, como está apresentado na Tabela 6.2.

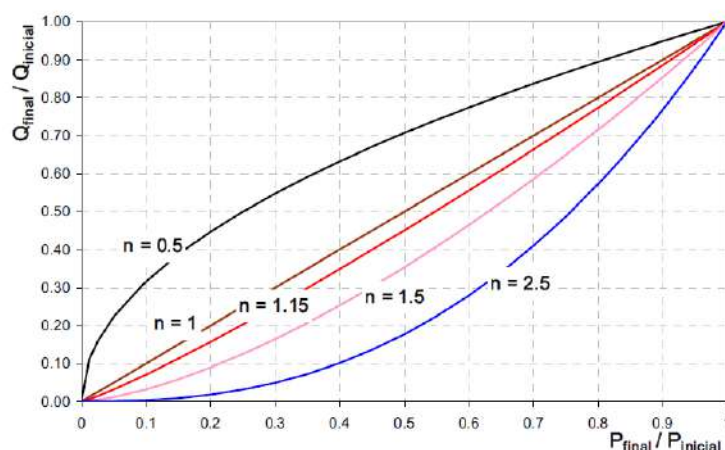


Figura 6. 10 – Relação entre as variações de pressão e o caudal de perdas reais de água (Alegre et al., 2005).

Tabela 6. 2 – Valores recomendados para o expoente “n” (Adaptado de Alegre et al., 2005)

Valor de “n”	Aplicação
0,5	Fugas significativas, detetáveis, em condutas de materiais metálicos (fugas em orifícios de área fixa)
1,0	Em caso de desconhecimento do material ou nível de perdas reais
1,5	Pequenas fugas, indetetáveis, por exemplo em juntas e ligações, são muito sensíveis à variação da pressão, independentemente do tipo de material
≥ 1,5	Fugas significativas, detetáveis, em condutas de materiais plásticos (fugas em orifícios de área variável)

6.3.2.2. POTENCIAIS ADVERSIDADES DA REDUÇÃO DA PRESSÃO

Apesar da redução da pressão trazer muitos benefícios, existem algumas desvantagens que podem emergir, como a redução de faturação. O caudal consumido pelos clientes é ligeiramente maior ou menor, consoante a pressão na rede de abastecimento, logo se existir uma redução da pressão, o caudal total que é consumido ao longo do tempo pelos clientes será inferior ao que era antes da redução, diminuído assim a AF.

Outro problema que pode surgir é a garantia de caudais e pressões suficientes em edifícios muito altos (múltiplos pisos), que não possuam cisternas (reservatórios prediais). Contudo, este tipo de ocorrências é sempre tido em conta aquando do dimensionamento das VRP, e no caso de existirem reclamações por parte dos consumidores é sempre possível ajustar a pressão a jusante do equipamento de modo a todos os clientes fiquem satisfeitos, tendo em linha de conta a tipologia do abastecimento de às respetivas redes prediais.

6.4.2.2. CALIBRAÇÃO DOS MODELOS

Devido a algumas discrepâncias dos valores de pressão encontrados em alguns modelos de EPANET fornecidos, foi necessário calibrar os mesmos, de modo que a modelação hidráulica efetuada fosse o mais aproximada do real quanto possível.

Um dos modelos em que foi necessário efetuar a calibração foi o modelo da ZMC “Preciosa Mar-Sul”. Para isso, recolheu-se os valores transmitidos pelo *data logger* correspondentes a 24 horas, obtendo-se 96 valores visto que os dados possuíam intervalos de 15 minutos. Usando a Equação 6.2 obteve-se o valor da carga hidráulica para cada intervalo de tempo, no ponto onde está colocado o *data logger*.

$$H = P_{tempo} + z \quad (6.2)$$

Em que:

- H – carga hidráulica, em m.c.a.;
- P_{tempo} – pressão em cada intervalo de tempo, em m.c.a.;
- z – cota topográfica, em m.

Sendo a cota topográfica constante, obtém-se valores de carga hidráulica dependentes da pressão. Os valores de carga hidráulica são usados para o cálculo do fator multiplicador, que é necessário inserir no padrão do EPANET, que irá reproduzir a pressão nos pontos da rede mediante um ponto inicial. Para obter este fator multiplicador utiliza-se a Equação 6.3.

$$F = H_{tempo}/H_{média} \quad (6.3)$$

Em que:

- F – fator multiplicador do padrão;
- H_{tempo} – carga hidráulica em cada intervalo de tempo, em m.c.a.;
- $H_{média}$ – carga hidráulica média, em m.c.a..

Além deste fator multiplicador é necessário criar um novo “reservatório”, fictício, no modelo do EPANET, que irá abastecer a rede calibrada, sendo que a sua cota topográfica irá variar de acordo com a carga hidráulica do ponto do *data logger* (Tabela 6.3) e a mesma deve ser o valor médio calculado anteriormente (Figura 6.12).

Tabela 6. 3 – Valores do ponto inicial (*data logger*) da rede calculados às 00h00

Tempo	Pressão	Cota topográfica	Carga hidráulica	Carga hidráulica média
00h00	45 m.c.a.	57,3 m	102,3 m.c.a.	≈ 94,5 m.c.a.

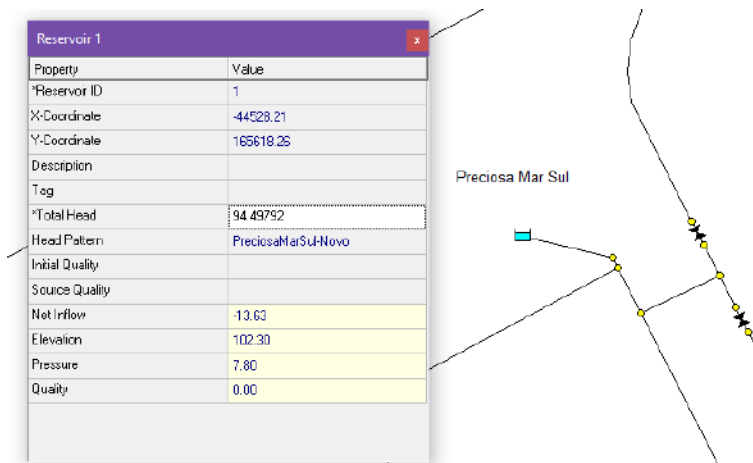


Figura 6. 12 – Informações do reservatório criado para a calibração.

O padrão apresentado na caixa de informações da Figura 6.13 é padrão criado para a calibração (Figura 6.12) com os fatores multiplicadores obtidos de todos os intervalos de tempo, cujos valores estão apresentados no Anexo A.

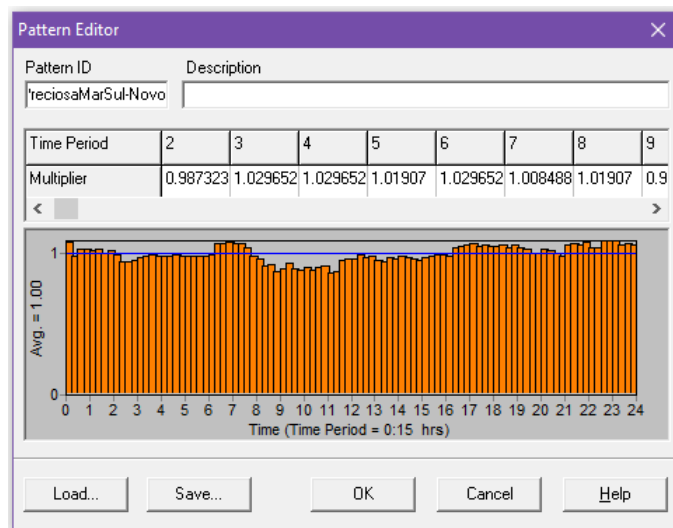


Figura 6. 13 – Padrão criado para a calibração do modelo.

Para confirmar se a calibração foi bem sucedida, os valores reais transmitidos pelo *data logger* devem corresponder aos valores retirados do EPANET após a calibração. Na Figura 6.14 é possível observar a comparação entre a pressão antes e depois da calibração.

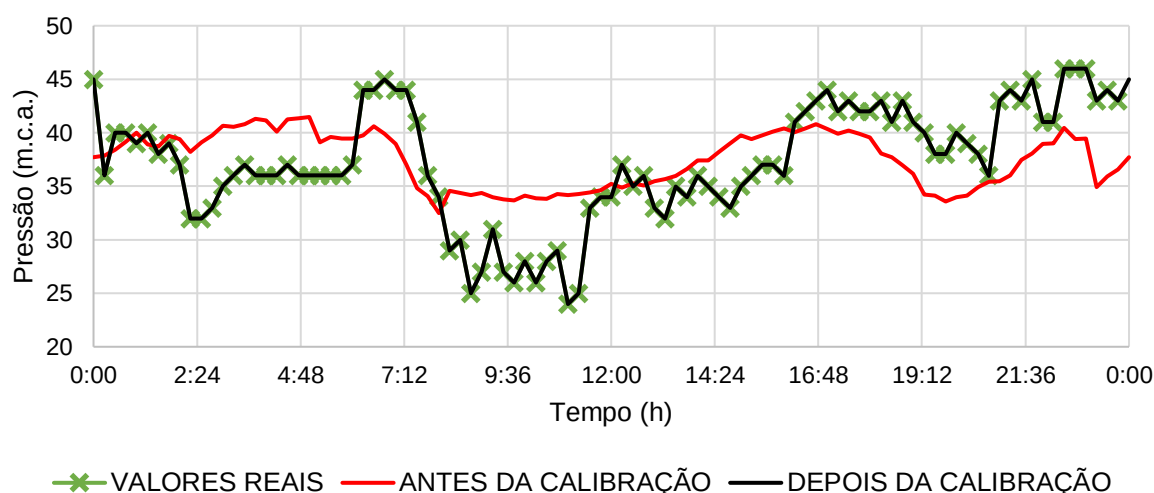


Figura 6. 14 – Gráfico de comparação entre os valores antes e depois da calibração do modelo.

Verifica-se uma grande discrepância entre os valores antes e depois da calibração que pode ser justificada pelo facto de os modelos EPANET fornecidos serem ligeiramente diferentes do que está implementado na realidade no SAA sem que tivesse havido uma calibração e atualização efetiva do modelos no entretanto. Visto que se torna complicado atualizar os modelos sempre que há alterações na rede, a calibração dos mesmos é uma boa opção de aproximação do real aquando da modelação hidráulica. Os valores obtidos podem não ser perfeitamente corretos, mas apresentam-nos uma ideia geral de como a rede de distribuição se comporta em relação às alterações efetuadas.

Além do modelo da ZMC “Preciosa do Mar-Sul”, foi também calibrado o modelo da Sub-ZMC “Nova do Tronco” seguindo o mesmo raciocínio e método.

6.4.2.3. PROCESSO DE SETORIZAÇÃO

O processo de setorização inicia-se com a seleção das ZMC e Sub-ZMC de acordo com alguns critérios que já foram mencionados anteriormente. No caso da AEdP, a setorização focou-se maioritariamente na relação entre a quantidade de clientes e os quilómetros de condutas que os abasteciam em cada zona, sendo que a setorização foi elaborada de modo que as Sub-ZMC resultantes possuissem cotas topográficas semelhantes. Neste procedimento inicial de escolha foram ainda identificadas potenciais ZRP, com base na altimetria do terreno.

Tal como já referido, foram seleccionadas ZMC principais e Sub-ZMC interiores numa análise geral inicial, sendo que as representadas na Tabela 6.4 foram alvo de uma primeira subfase de setorização.

Tabela 6. 4 – ZMC principais e Sub-ZMC alvo de setorização

ZMC principal	Sub-ZMC interior	Clientes	Condutas (Km)
Amial Porto	Monsanto	3 796	13,7
	Nova do Tronco	1 658	13,0
	Ribeira Grande	3 236	15,2

Carvalhido	Guerra Junqueiro	1 379	14,9
Castanheira	Areosa	4 724	16,1
	Castanheira	2 725	20,0
Congregados Alta	Goelas de Pau	4 424	16,7
	Área sem Sub-ZMC	4 391	16,8
Congregados Superior	Área sem Sub-ZMC	5 240	16,4
Fonte da Moura	Jorge Reinel	2 803	19,1
Hospital de S. João	Área sem Sub-ZMC	2 003	17,9
Inferior Condominhas	Área sem Sub-ZMC	3 078	14,5
Média Central Bonfim	Carmo	4 140	15,3
	Mouzinho de Albuquerque	2 148	9,6
	Rosário	2 947	13,7
Média Central Santo Isidro	Rodrigues de Freitas	2 822	12,3
	Santa Catarina	2 853	12,1
Média Oriental	Área sem Sub-ZMC	2 424	15,8
Pasteleira	Área sem Sub-ZMC	1 465	13,9
Pedrouços Antas Norte	Área sem Sub-ZMC	2 338	12,5
Preciosa Mar-Sul	Área sem Sub-ZMC	3 453	23,0

Como é possível observar, grande parte das zonas apresentam um elevado número de clientes, classificando-as como **médias e grandes** ZMC/Sub-ZMC. O comprimento de condutas que apresentam é igualmente elevado, sendo que o ideal será obter um valor de aproximadamente 10 Km, ou inferior.

Para efetuar a divisão destas zonas, em grande parte, a solução foi dividir de forma a obter duas áreas uniformes e com um número de clientes e comprimento de condutas semelhantes entre si. Contudo nem sempre isto é possível porque é necessário prestar atenção às cotas topográficas aquando da divisão. É também essencial dividir a zona de forma a manipular o menor número de válvulas de seccionamento possível e manter a rede de distribuição com a maior redundância possível. Aquando da modelação hidráulica no EPANET é necessário identificar o ponto com a pressão mais baixa, ou seja, geralmente o ponto crítico, de modo a verificar no final se este foi afetado negativamente. Do mesmo modo, é importante identificar variações de pressão elevadas que ocorram nos restantes pontos da rede, mesmo que não sejam pontos críticos.

Antes de a solução modelada ser implementada no terreno, é conveniente colocar um *data logger* no seu ponto crítico para registar a pressão antes, durante e depois da implementação para verificar se aquando do processo de manobra das válvulas de seccionamento a pressão se mantém estável ou se existem variações (sobretudo negativas), que possam não ter sido previstas inicialmente aquando da modelação da nova zona no *software* EPANET.

De modo a calcular os quilómetros de rede e número de clientes das novas Sub-ZMC, os polígonos das mesmas são desenhados no ArcGIS e, tendo em conta o número de clientes e caudal previsto pelo EPANET, são selecionados os medidores de caudal e VRP adequados para instalar.

A instalação dos medidores de caudal podem ser efetuadas em câmaras de manobra ou é possível instalar diretamente o equipamento na conduta e colocar um *data logger* na rua, dentro de uma caixa (“nicho”). Quanto às VRP, estas requerem instalação numa câmara de manobra, sem exceções.

Apesar da modelação hidráulica das VRP ser semelhante à modelação da setorização, numa fase inicial, a implementação no terreno é feita apenas com a manipulação das válvulas de seccionamento. Após a instalação da VRP, a pressão de saída escolhida para a válvula vai depender de como a zona se comporta, sendo que é essencial tentar sempre diminuir a pressão o máximo possível.

Cada uma das zonas foi modelada de modo a encontrar a melhor solução possível, de acordo com as circunstâncias existentes, sendo que a setorização de algumas serão explicadas em detalhe.

6.4.2.4. EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE SETORIZAÇÃO PARA AS ZMC

Sub-ZMC “Santa Catarina”

Uma das primeiras Sub-ZMC alvo de setorização foi a “Santa Catarina” localizada na ZMC “Média Central Santo Isidro” (Figura 6.15), possuía 2 853 clientes e cerca de 12,1 Km de condutas.

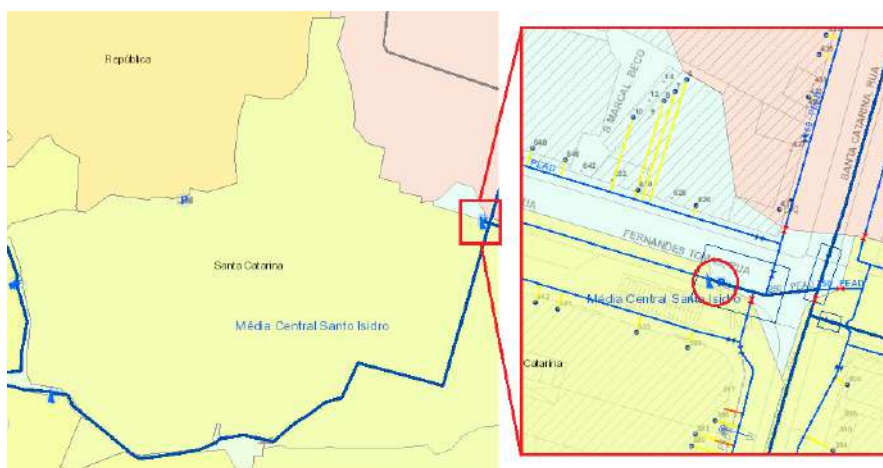


Figura 6. 15 – Sub-ZMC “Santa Catarina” e localização do respetivo caudalímetro (Obtido do SIG a 27-06-2022).

Não foi necessário efetuar a calibração do modelo, sendo possível passar logo à modelação. A melhor solução obtida foi a manobra de fecho de apenas de uma válvula de seccionamento, sendo que a entrada da nova zona ficaria localizada numa conduta de 250 FF.

Foi necessário identificar o ponto crítico da zona, que neste caso era o ponto mais alto localizado na Rua da Conceição, n.º 67, sendo que foi colocado um *data logger* um dia antes da implementação da solução no terreno. Não se apresentaram problemas com esta solução, sendo que se encontra implementada atualmente no terreno.

A nova Sub-ZMC resultante da setorização denominou-se “Galerias” e possui **1 859 clientes** e cerca de **6,9 Km**. A Sub-ZMC “Santa Catarina” passou a ter 994 clientes e cerca de 5,2 Km. Na Figura 6.16 encontra-se representada a solução final.



Figura 6. 16 – Sub-ZMC “Galerias” resultante da setorização (Mapa obtido do SIG a 27-06-2022).

Sub-ZMC “Mouzinho de Albuquerque” e “Carmo”

A setorização destas duas zonas foi feita em conjunto, visto que o objetivo seria dividir a “Carmo” e alterar os limites da “Mouzinho de Albuquerque” (Figura 6.17).

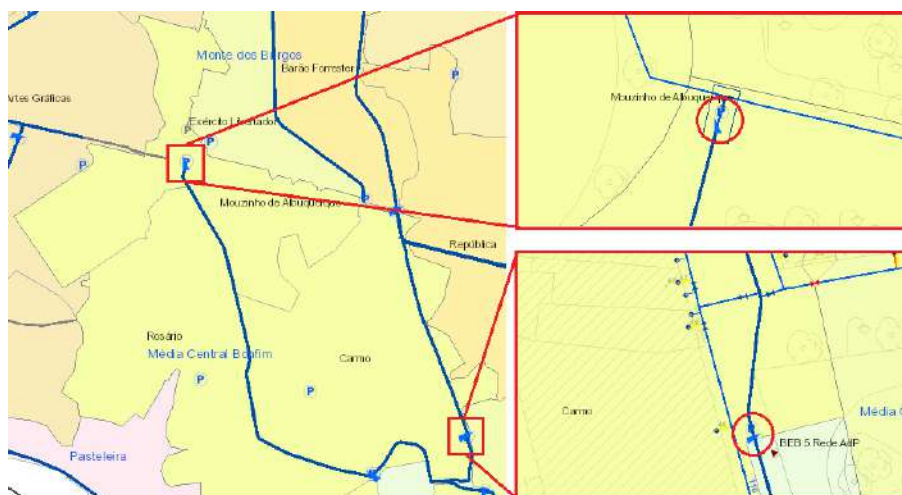


Figura 6. 17 – Sub-ZMC “Carmo”, “Mouzinho de Albuquerque” e localização dos respetivos caudalímetros (Obtido do SIG a 29-06-2022).

A Sub-ZMC “Carmo” possuía 4 140 clientes e cerca de 15,3 Km de condutas e “Mouzinho de Albuquerque” possuía 2 148 clientes e 8,6 Km de condutas, aproximadamente.

Para dividir a “Carmo” foi necessário efetuar o fecho de sete válvulas de seccionamento, sendo que foi colocado um *data logger* no ponto crítico para acompanhar a variação da pressão antes, durante e depois do fecho das válvulas, e não se observou nenhuma quebra de pressão significativa. Para a alteração de limites de “Mouzinho de Albuquerque” foi necessário fechar seis válvulas de seccionamento e abrir outras seis. Esta alteração teve como objetivo passar alguns dos clientes para a nova Sub-ZMC que originou da “Carmo”, de modo a possuírem todas um número semelhante entre elas.

A conduta de entrada da nova Sub-ZMC ficará numa conduta de 250FF e estas soluções estão atualmente implementadas no terreno.

No final, “**Mouzinho de Albuquerque**” passou a ter **1 460 clientes** e cerca de **6,4 Km** e a “Carmo” passou a possuir 1 676 clientes e cerca de 7,4 Km. A nova Sub-ZMC que originou da “Carmo” foi denominada “**Cedofeita**” e possui **2 464 clientes** e **7,9 Km** de condutas, aproximadamente. Na Figura 6.18 encontra-se representada a solução final.



Figura 6. 18 – Sub-ZMC “Cedofeita” e “Mouzinho de Albuquerque” resultantes da setorização (Mapa obtido do SIG a 29-06-2022).

6.4.2.5. EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE SETORIZAÇÃO PARA AS ZRP

No caso das ZRP, a seleção das válvulas de seccionamento a fechar e da conduta de entrada da zona é igual às Sub-ZMC. A única diferença é calcular e definir qual será a pressão a jusante da VRP a instalar na entrada de modo a não prejudicar os consumidores, mas ser possível, ao mesmo tempo, reduzir as perdas de água.

Uma das ZMC alvo de implementação de uma VRP foi a “Preciosa Mar-Sul” que possuía 3 453 clientes e aproximadamente 23 Km de comprimento total de condutas (Figura 6.19).

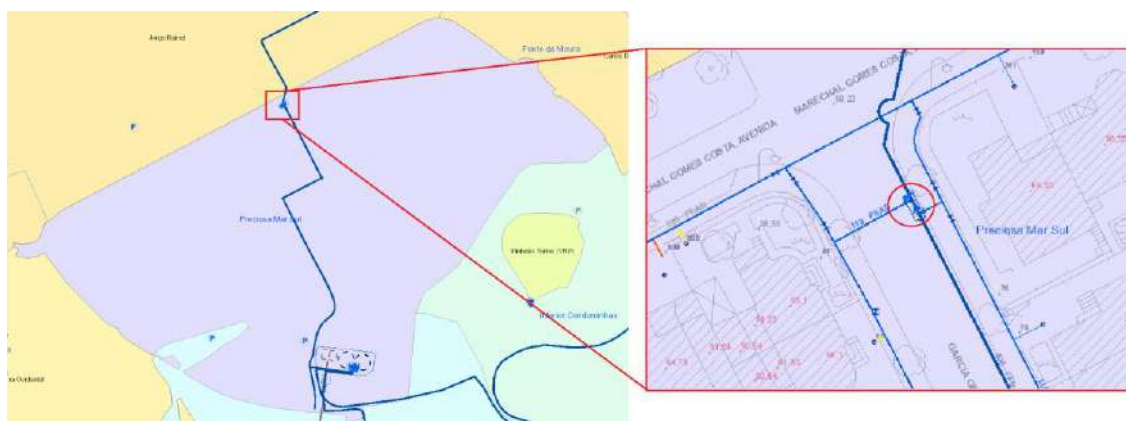


Figura 6. 19 – ZMC “Preciosa Mar-Sul” e localização do respetivo caudalímetro (Obtido do SIG a 29-06-2022).

Esta ZMC não possuía Sub-ZMC, sendo que a sua setorização foi realizada previamente à criação da ZRP. Para efetuar a divisão da ZMC foi necessário realizar a manobra de fecho de 7 válvulas de seccionamento. A monitorização foi executada com recurso a um *data logger*, colocado no ponto mais alto (crítico) da Rua de Serralves, e ao ponto de pressão “André Resende”.

Como não existiram variações negativas da pressão, a solução encontra-se, atualmente, implementada no terreno. As novas Sub-ZMC resultantes da setorização denominaram-se “**Serralves**”, que possui **1 206 clientes** e cerca de **9,3 Km**, e “**Pinhais da Foz**”, que possui **1 606 clientes** e cerca de **5,1 Km**. A entrada da água é realizada por uma conduta de 110PEAD na Sub-ZMC “Serralves” e por uma conduta de 160PEAD na Sub-ZMC “Pinhais da Foz”. Na Figura 6.20 encontra-se representada a solução final.

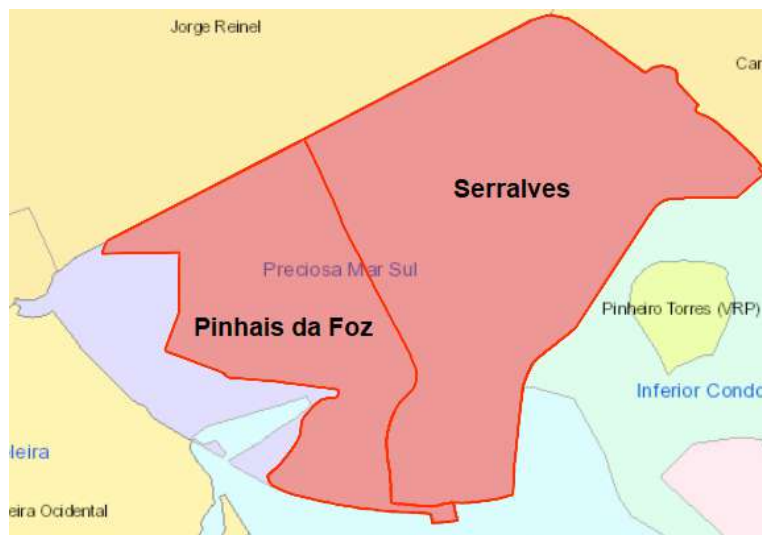


Figura 6. 20 – Sub-ZMC “Pinhais da Foz” e “Serralves” resultantes da setorização (Mapa obtido do SIG a 29-06-2022).

Mesmo após as ligeiras alterações provocadas pela setorização inicial das duas Sub-ZMC interiores, esta ZMC possui uma enorme discrepância de cotas topográficas, ou seja, existem variações de pressão bastante elevadas como se observa na Figura 6.21.

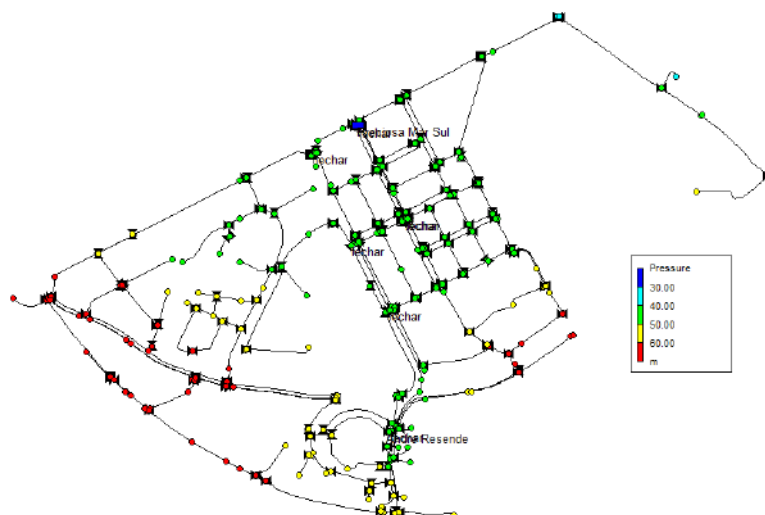


Figura 6. 21 – Pressões na ZMC “Preciosa do Mar-Sul” após setorização.

Para uniformizar as pressões da zona modelou-se uma VRP de saída fixa no EPANET que seria colocada em *bypass* numa conduta de 400FF. A pressão a jusante da VRP tomaria o valor de 40 m.c.a. de modo que o ponto crítico não seja afetado após o seu limite em termos de pressão mínima a garantir, ou seja, que este tenha pelo menos 20 m.c.a. de pressão na hora de maior consumo. Para isolar a área com pressão mais elevada e criar a ZRP, é necessário fechar duas válvulas e adicionar uma conduta de ligação de cerca de 20 m. Esta conduta é essencial para garantir o escoamento no interior da malha da zona, possibilitando o seu isolamento sem grande afetação.

Com a instalação desta VRP é possível baixar a pressão cerca de 25 m.c.a., teoricamente, tanto no ponto de entrada como no ponto crítico, como se observa nos gráficos da Figura 6.22 e 6.23.

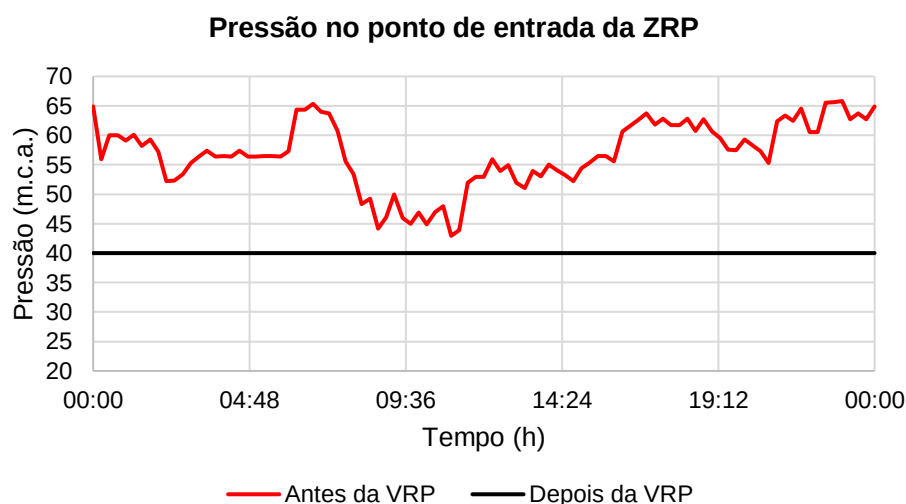


Figura 6. 22 – Variação da pressão no ponto de entrada da ZRP após a instalação da VRP.



Figura 6. 23 – Variação da pressão no ponto crítico da ZRP após a instalação da VRP.

	VRP Nova do Tronco	1 658	13,0
	VRP Ribeira Grande	1 471	8,0
	Almeida Valente	1 765	7,2
Carvalhido	Guerra Junqueiro	543	9,1
	Campo Alegre	836	5,8
Castanheira	Areosa	2 453	6,5
	Santa Justa Poente	2 271	9,6
	Diamantina	1 119	8,8
	Santa Justa Nascente	1 606	11,2
Congregados Alta	Goelas de Pau	2 204	11,2
	Póvoa	2 220	5,5
	Área sem Sub-ZMC	2 365	10,6
	Bonjardim	2 026	6,2
Congregados Superior	Área sem Sub-ZMC	2 787	9,7
	São Crispim	2 453	6,7
Fonte da Moura	Jorge Reinel	717	6,6
	VRP Fez	2 086	12,5
Hospital de S. João	Área sem Sub-ZMC	1 622	12,5
	Pólo Universitário	381	5,4
Inferior Condominhas	*Área sem Sub-ZMC	2 860	11,8
Média Central Bonfim	Carmo	1 676	7,4
	Cedofeita	2 464	7,9
	Mouzinho de Albuquerque	1 460	6,4
	Rosário	1 654	7,5
	Galiza	1 293	6,2
Média Central Santo Isidro	Rodrigues de Freitas	1 849	7,6
	Cativo	973	4,7
	Santa Catarina	994	5,2
	Galerias	1 859	6,9
Média Oriental	Área sem Sub-ZMC	85	4,0
	Matadouro	2 339	11,8

Pasteleira	Ouro	1 559	12,9
	Estoril	218	2,7
Pedrouços Antas Norte	Área sem Sub-ZMC	770	3,6
	Vigorosa	1 568	8,9
Preciosa Mar-Sul	Pinhais da Foz	1 606	5,1
	Serralves	1 206	9,3
	VRP Diogo Botelho	643	4,2

*parte da área sem Sub-ZMC passou para a ZMC “Pasteleira” como Sub-ZMC “Estoril”.

De salientar que as ZMC e Sub-ZMC alvo desta subfase passaram a ser classificadas de **pequenas e médias** de acordo com a metodologia apresentada anteriormente, tornando-se mais fácil de identificar roturas através do CAP.

Na Figura 6.25 está apresentado o mapa do SAA da cidade do Porto com as Sub-ZMC e ZRP criadas.

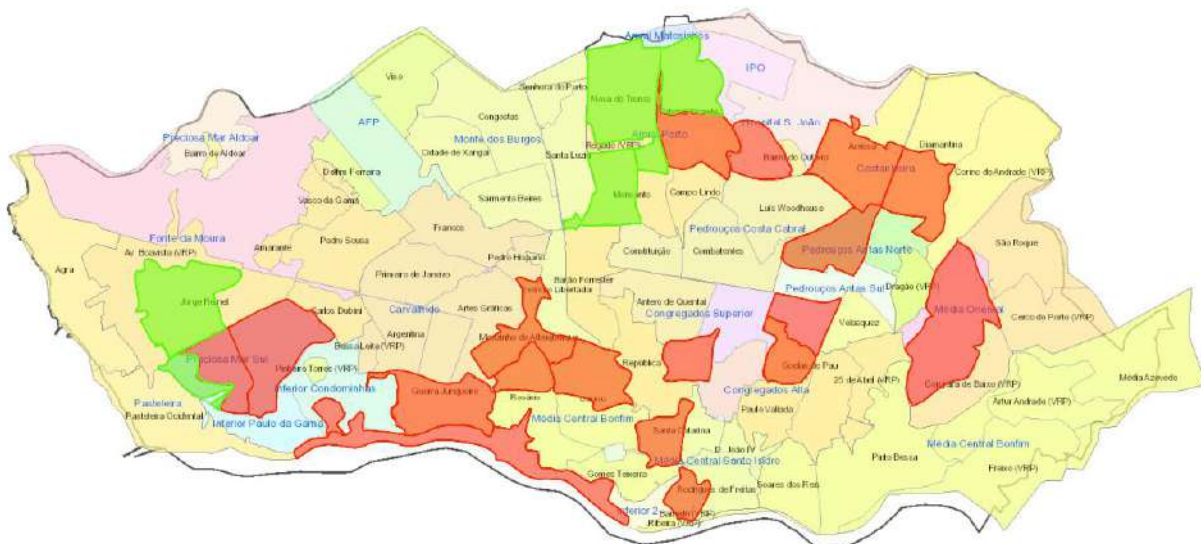


Figura 6. 25 – Sub-ZMC (vermelho) e ZRP (verde) criadas (Mapa obtido do SIG a 19-08-2022).

6.4.4. ESTIMATIVA ORÇAMENTAL E POUPANÇA ANUAL

Para efetuar a estimativa orçamental desta subfase foi necessário ter conta diversos critérios:

- Diâmetro nominal dos medidores de caudal e das VRP;
- Construção de câmaras de manobra;
- Acessórios necessários para instalação dos equipamentos;
- Custo dos anteriores e do movimento de terras e pavimento.

Não existindo ainda o “caderno de encargos” para especificar as componentes de forma mais concreta, pode-se elaborar a Tabela 6.6, de modo a obter uma ideia geral do total de investimento.

Tabela 6. 6 – Estimativa orçamental do projeto

Medidores de caudal	77 900 €
VRP	6 050 €
Acessórios	33 150 €
Movimento de terras e pavimento	31 000 €
“Nichos” para os <i>data logger</i>	8 500 €
Câmaras de manobra	60 000 €

Os valores apresentados na Tabela 6.6 perfazem um total de **216 600 euros** de investimento nesta subfase.

Apesar de não ser possível prever o que se vai poupar, tendo em conta que se deu continuidade à setorização da rede, pode-se recorrer ao valor obtido volume de perdas reais de água na Fase 1 para estimar o valor da Fase 2. Sendo que se obteve uma poupança de 700 000 m³ de volume, desde o início até ao término da Fase 1, devido à criação de 40 novas ZMC (1 principal e 39 interiores), espera-se que exista uma diferença entre 2022 e 2024 de cerca de 330 000 m³ de volume de perdas reais de água, resultante da primeira subfase da Fase 2. Este valor foi obtido tendo em conta que foram criadas 19 ZMC (interiores) que correspondem, aproximadamente, a metade das criadas na Fase 1.

Embora a Fase 2 do projeto dê continuidade à setorização realizada na Fase 1, o volume de perdas reais de água não decresce de forma linear mas sim de forma exponencial, ou seja, não é possível reduzir na Fase 2 tanto como se reduziu na Fase 1. Sendo assim, foi ainda aplicada uma percentagem, admitida, de 80% ao valor de 330 000 m³ de volume de perdas reais, de modo a obter uma estimativa mais sensata.

Assim sendo, a estimativa da poupança de volume de perdas reais de água é de **264 000 m³** ao fim de 2 anos.

Assumindo um preço de compra de água de 0,4605 €/m³ (valor de 2021) obtém-se um valor anual de **60 500 euros**, o que cobre o investimento realizado em 43 meses, ou seja, um *payback period* inferior a 4 anos.

Contudo este valor não inclui a água que se poupa com a instalação das VRP. Para calcular as perdas reais de água após a implementação das VRP é necessário ter em conta a Equação 6.1, que foi mencionada anteriormente, sendo que o caudal de perdas inicial será o valor de perdas reais total de 2021 – 2 491 617 m³ – e o expoente *n* tomou o valor de 2, visto que grande parte das condutas em todas as ZRP são de PEAD (material plástico de alta capacidade e eficácia).

De salientar que este valor corresponde à cidade do Porto e, por isso, foi feita uma relação com o total de quilómetros de condutas em serviço no Porto (813 Km) *versus* os quilómetros em cada ZRP. Deste modo é possível obter um valor de perdas reais aproximado para as ZRP.

A Tabela 6.7 apresenta os dados calculados para cada VRP e a sua poupança anual, sendo que os valores de pressão são relativos ao ponto crítico, que representa o mínimo possível de água que é possível poupar.

Tabela 6. 7 – Resultados de poupança anual de água após a instalação das VRP

ZRP	Condutas (Km)	Q _{inicial} (m ³ /ano)	P _{inicial} média (m.c.a.)	P _{final} média (m.c.a.)	Q _{final} (m ³ /ano)	Volume de água poupado (m ³)
VRP Diogo Botelho	4,2	12 872	40,7	23,8	4 402	8 470
VRP Silva Porto	8,2	25 131	45,0	23,5	6 854	18 277
VRP Ribeira Grande	7,9	24 211	42,9	24,4	7 832	16 379
VRP Nova do Tronco	12,9	39 535	52,9	24,1	8 205	31 329
VRP Fez	12,5	38 309	37,7	23,7	15 140	23 169

Com a instalação das VRP acima, é possível poupar, pelo menos, **97 625 m³** de água num ano, que representam cerca de **45 000 €**, tendo em conta o preço de compra da água. Contudo, como já foi referido, irá existir também uma perda de faturação devido à diminuição da pressão na rede.

Sendo assim, obtém-se um valor total anual de **105 500 euros**, com um *payback period* do investimento de 2 anos.

Finalmente, é importante fazer uma comparação entre o investimento da Fase 1 e o atual. Existe uma diferença de mais de 2,5 milhões de euros e isto deve-se ao facto de atualmente existir a possibilidade de se instalarem caudalímetros enterrados. A tecnologia está mais avançada do que aquando da Fase 1, em que foi necessário construir câmaras de manobra para cada medidor de caudal necessário. Como foi observado anteriormente, no investimento da Fase 1, mais de 2 milhões de euros foram dirigidos para a construção das câmaras de manobra visto que não existiam caudalímetros enterrados com capacidade demonstrada no mercado nacional e europeu. Existindo agora essa possibilidade observa-se uma **redução de custo da setorização de 92%**, que é deveras significativo e impactante para a decisão de GO ou NO GO de qualquer projeto.

7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1. CONCLUSÕES

Cada vez mais é importante poupar água e reduzir quaisquer gastos que possam ser evitados. A escassez de água potável é cada vez maior e a seca que tem afetado populações e comunidades em todos os cantos do mundo torna este problema ainda mais grave. Atualmente o território de Portugal continental encontra-se em seca severa, tendo em conta a formalização pela Agência Portuguesa do Ambiente e pelo Governo de Portugal para a situação climática vivida.

A presente dissertação realizada na AEdP, para conclusão do Mestrado em Engenharia do Ambiente, na FEUP, teve como objetivo principal otimizar o SAA da cidade do Porto, através da setorização avançada e gestão de pressões de modo a reduzir o volume de perdas reais de água.

Um SAA compreende todas as fases desde a captação da água bruta até à distribuição aos consumidores estando dividido em duas componentes – “Alta” e “Baixa”. Ao longo de todo o percurso existem diferentes infraestruturas e equipamentos hidráulicos que devem sempre apresentar um bom funcionamento.

Frisando a atual incerteza em relação às alterações climáticas, é imprescindível que a melhoria contínua dos setores do AA e do SAR seja assegurada. Estes serviços públicos são essenciais para o bom funcionamento das populações e, por essa razão, atualmente encontra-se em vigor o PENSAARP, que se baseia em quatro objetivos estratégicos globais: serviços eficazes, serviços eficientes, serviços sustentáveis e valorização dos serviços.

Em relação às perdas reais de água existem diversos fatores influenciadores, sendo que a pressão é o fator com maior peso no que toca à ocorrência de roturas. Além da pressão, o tempo de reconhecimento das roturas (comunicadas ou não) também apresenta um papel muito importante, sendo que o volume de água perdido é completamente dependente deste tempo. Em adição às perdas devido a roturas existem ainda as perdas de base que são pequenas fugas acumuladas, que devido ao baixo caudal não apresentam uma boa relação custo-benefício para a sua deteção e reparação.

A redução das perdas reais de água inicia-se na elaboração do BH e já foi provado que os diversos métodos aplicados são eficazes apesar do seu baixo investimento, mas a redução só termina na mitigação. É sempre possível reduzir enquanto existirem perdas de água. Aliados à setorização e à gestão de pressões, o CAP é uma ferramenta essencial neste processo, assim como a gestão dos ativos.

A implementação de ZMC e ZRP deve ser executada tendo em conta vários critérios e ter em mente que nenhum é menos importante que outro. Os *softwares* de modelação hidráulica são essenciais neste

processo de setorização e gestão de pressões devido à sua aproximação do que acontece na realidade, tornando a tarefa mais fácil.

Tendo em conta as metodologias aplicadas na setorização e instalação de VRP, foi possível obter uma poupança de água muito significativa – cerca de 230 000 m³ de volume -, e a redução constante da ANF ao longo dos anos só comprova que a redução contínua é factível.

Com a criação de 19 Sub-ZMC e cinco ZRP na primeira subfase da Fase 2 do projeto “Setorização Mais”, espera-se um investimento de cerca de 220 mil euros com um *payback period* de 2 anos, tendo em conta a estimativa da redução do volume de perdas reais de água resultante. Além disso, é importante salientar que os avanços tecnológicos dos medidores de caudal desempenharam um papel muito impactante, permitindo uma redução de 92% do investimento da setorização da Fase 1 para a Fase 2.

O desenvolvimento prático desta dissertação permitiu comprovar que a redução de perdas reais de água através da setorização e gestão de pressões apresenta resultados satisfatórios apesar de um baixo investimento, aumentando assim a eficiência das EG além de contribuir para uma utilização sustentável da água a nível ambiental, operacional, social e económico-financeiro.

7.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Perante o tema da dissertação sugerem-se algumas recomendações para trabalhos futuros que possam vir a complementar o presente estudo:

- Cálculo das perdas reais de água tendo em conta dados de consumos não domésticos e o caudal noturno das ZMC;
- Comparação dos dados reais de perdas de água obtidos nos próximos anos com as estimativas do presente trabalho;
- Possibilidade de implementação de VRP de outros tipos de modulações, caso seja vantajoso para cada situação implementada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEdP. (21 de junho de 2019). Empreitada "Projeto Setorização Mais". *Memória Descritiva e Justificativa*.
- AEdP. (2019). *Rotura de conduta na Rua Barão de Forrester não afeta o abastecimento de água*. Obtido em 2 de junho de 2022, de <https://www.aguasdoporto.pt/noticias-aguas-do-porto/rotura-de-conduta-na-rua-barao-de-forrester-nao-afeta-o-abastecimento-de-agua>
- AEdP. (2021). *Vaga de frio leva Águas do Porto a intervir nas condutas de abastecimento da cidade*. Obtido em 10 de junho de 2022, de <https://www.aguasdoporto.pt/noticias/vaga-de-frio-leva-aguas-do-porto-a-intervir-nas-condutas-de-abastecimento-da-cidade>
- AEdP. (2022). *Contextualização Histórica*. Obtido em 20 de junho de 2022, de <https://www.aguasdoporto.pt/abastecimento-de-agua/contextualizacao-historica>
- AEdP. (2022). *Quem Somos*. Obtido em 16 de agosto de 2022, de <https://www.aguasdoporto.pt/empresa>
- AEdP. (2022). *Relatório de Atividades 2021*.
- AEdP. (2022). *Relatório e Contas 2021*.
- AEdP. (2022). *Telegestão e Telemetria*. Obtido em 20 de junho de 2022, de <https://www.aguasdoporto.pt/abastecimento-de-agua/telegestao-e-telemetria>
- Águas de Portugal, SA. (2015). *História*. Obtido em 28 de maio de 2022, de <https://www.adp.pt/pt/grupo-adp/historia/?id=7>
- Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M., & Vieira, P. (2005). Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição.
- APDA. (2015). Ficha de Boas Práticas - Eficiência dos Sistemas de Abastecimento de Água. *Gestão de Pressões*.
- APDA. (2020). As Perdas de Água em Portugal - Sistema de Informação de Indicadores de Perdas de Água. *Serviço em Baixa*. Obtido em 10 de junho de 2022, de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGYwN2E4YWYtNWU0NS00Y2RmLWJmMTctYmJlODJiOGRkNDQ5IiwidCI6Ijc5YTBIYjk3LWM0YWWEtNGI2Zi05NDAYLTJhZmFjNGQ3ZDU5MCIsmiMiOjh9>
- Business News Daily. (2022). *SWOT Analysis: What It Is and When to Use It*. Obtido em 30 de junho de 2022, de <https://www.businessnewsdaily.com/4245-swot-analysis.html>
- C.M. de Elvas. (2020). *Aqueduto da Amoreira*. Obtido em 28 de maio de 2022, de <https://www.cm-elvas.pt/descobrir/patrimonio/civil/aqueduto-da-amoreira/>

- CLA-VAL. (2022). *H Strainer AQUA 90-501*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://cla-val-europe.com/en/product/aqua-90-501-filtre-boite-a-boue/>
- Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (1995). *Diário da República n.º 194/1995, Série I-B de 1995-08-23, páginas 5284 - 5319*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/23-1995-431873>
- EPAL. (2022). *Aqueduto das Águas Livres*. Obtido em 28 de maio de 2022, de <https://www.epal.pt/EPAL/menu/museu-da-%C3%A1gua/exposi%C3%A7%C3%A3o-permanente-patrim%C3%B3nio-associado/aqueduto-das-%C3%A1guas-livres>
- ERSAR. (2020). *Factos e Números*. Obtido em 28 de maio de 2022, de <https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros#k=#l=2070>
- ERSAR. (2022). *Abastecimento de Água*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.ersar.pt/pt/setor/caracterizacao/abastecimento-de-agua>
- ERSAR. (2022). *Missão, Atribuições e Poderes*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.ersar.pt/pt/a-ersar/missao-atribuicoes-e-poderes>
- ERSAR. (2022). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2021) Volume 1 - Caracterização do setor de águas e resíduos*.
- Farley, M. (2001). *Leakage Management and Control*. World Health Organization.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B., Istandar, A., & Singh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook - A guide to understanding water losses*.
- Fucoli Somepal. (s.d.). Obtido em 31 de maio de 2022, de Válvulas de Cunha Elástica de Ramal: <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/valvulas/valvulas-de-cunha-elastica-de-ramal>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Válvulas de Cunha Elástica*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/valvulas/valvulas-de-cunha-elastica>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Acessórios de Bocas para PVC*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/acessorios/acessorios-de-bocas-para-pvc>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Acessórios Flangeados*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/acessorios/acessorios-flangeados>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Juntas de Desmontagem*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/bracadeiras-e-unioes/juntas-de-desmontagem>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Produtos para o Combate a Incêndio*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/combate-a-incendio>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Tubos*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/flanges-e-tubos/tubos>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Unões*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/bracadeiras-e-unioes/unioes>

- Fucoli Somepal. (s.d.). *Válvulas Borboleta*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/valvulas/valvulas-borboleta>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Válvulas de Retenção*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/valvulas/valvulas-de-retencao>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Válvulas Diversas*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/valvulas/valvulas-diversas>
- Fucoli Somepal. (s.d.). *Ventosas*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/agua-potavel/valvulas/ventosas>
- Humberto Poças, SA. (s.d.). *Válvula Redutora de Pressão - Série 90-01 (CLA-VAL)*.
- IPMA. (2022). *Boletim de Seca Meteorológica - 15 de maio de 2022*. Obtido de https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220520/qtXAgzhSTVRNmQMigacC/cli_20220501_20220515_sec_1q_co_pt.pdf
- IWA. (2000). *Water Balance*. Obtido de <https://www.leakssuitelibrary.com/iwa-water-balance/>
- Krohne. (s.d.). *WaterFlux 3070*. Obtido em 31 de maio de 2022, de <https://krohne.com/es/productos/medida-de-caudal/caudalímetros/caudalímetros-electromagneticos/waterflux-3070/>
- Martins, J. P. (2021). *Apontamentos de Gestão de Sistemas Urbanos de Água*.
- Ministério do Ambiente e da Ação Climática. (2022). *Projeto de Resolução do Conselho de Ministros que aprova o PENSAARP 2030*. Obtido em 10 de junho de 2022, de <https://participa.pt/pt/consulta/projeto-de-resolucao-do-conselho-de-ministros-que-aprova-o-pensaarp-2030>
- Morrison, J., Tooms, S., & Rogers, D. (2007). *District Metered Areas - Guidance Notes*. IWA.
- Ordem dos Engenheiros Região Norte. (2022). *Legislação - Produção, Exploração e Distribuição de Água*. Obtido em 28 de maio de 2022, de <http://www.oern.pt/legislacao/73/producao-exploracao-e-distribuicao-de-agua>
- Piqueiro, F. M. (2020). *Apontamentos de Mecânica de Fluidos II. Escoamentos Interiores - Sob Pressão e Redes de Distribuição*.

ANEXOS

ANEXO A – VALORES DOS FATORES MULTIPLICADORES DO MODELO EPANET “PRECIOSA MAR-SUL”

Tabela A. 1 – Valores necessários à calibração do modelo

Frações de tempo	Pressão média (m.c.a.)	Cota topográfica (m)	Carga hidráulica (m)	Fator multiplicador
0	45	57,3	102,3	1,08256355
0,010417	36	57,3	93,3	0,98732335
0,020833	40	57,3	97,3	1,02965233
0,03125	40	57,3	97,3	1,02965233
0,041667	39	57,3	96,3	1,01907009
0,052083	40	57,3	97,3	1,02965233
0,0625	38	57,3	95,3	1,00848784
0,072917	39	57,3	96,3	1,01907009
0,083333	37	57,3	94,3	0,9979056
0,09375	32	57,3	89,3	0,94499438
0,104167	32	57,3	89,3	0,94499438
0,114583	33	57,3	90,3	0,95557662
0,125	35	57,3	92,3	0,97674111
0,135417	36	57,3	93,3	0,98732335
0,145833	37	57,3	94,3	0,9979056
0,15625	36	57,3	93,3	0,98732335
0,166667	36	57,3	93,3	0,98732335
0,177083	36	57,3	93,3	0,98732335
0,1875	37	57,3	94,3	0,9979056
0,197917	36	57,3	93,3	0,98732335
0,208333	36	57,3	93,3	0,98732335
0,21875	36	57,3	93,3	0,98732335
0,229167	36	57,3	93,3	0,98732335
0,239583	36	57,3	93,3	0,98732335
0,25	37	57,3	94,3	0,9979056
0,260417	44	57,3	101,3	1,0719813
0,270833	44	57,3	101,3	1,0719813

0,28125	45	57,3	102,3	1,08256355
0,291667	44	57,3	101,3	1,0719813
0,302083	44	57,3	101,3	1,0719813
0,3125	41	57,3	98,3	1,04023457
0,322917	36	57,3	93,3	0,98732335
0,333333	34	57,3	91,3	0,96615887
0,34375	29	57,3	86,3	0,91324765
0,354167	30	57,3	87,3	0,92382989
0,364583	25	57,3	82,3	0,87091867
0,375	27	57,3	84,3	0,89208316
0,385417	31	57,3	88,3	0,93441213
0,395833	27	57,3	84,3	0,89208316
0,40625	26	57,3	83,3	0,88150091
0,416667	28	57,3	85,3	0,9026654
0,427083	26	57,3	83,3	0,88150091
0,4375	28	57,3	85,3	0,9026654
0,447917	29	57,3	86,3	0,91324765
0,458333	24	57,3	81,3	0,86033643
0,46875	25	57,3	82,3	0,87091867
0,479167	33	57,3	90,3	0,95557662
0,489583	34	57,3	91,3	0,96615887
0,5	34	57,3	91,3	0,96615887
0,510417	37	57,3	94,3	0,9979056
0,520833	35	57,3	92,3	0,97674111
0,53125	36	57,3	93,3	0,98732335
0,541667	33	57,3	90,3	0,95557662
0,552083	32	57,3	89,3	0,94499438
0,5625	35	57,3	92,3	0,97674111
0,572917	34	57,3	91,3	0,96615887
0,583333	36	57,3	93,3	0,98732335
0,59375	35	57,3	92,3	0,97674111

0,604167	34	57,3	91,3	0,96615887
0,614583	33	57,3	90,3	0,95557662
0,625	35	57,3	92,3	0,97674111
0,635417	36	57,3	93,3	0,98732335
0,645833	37	57,3	94,3	0,9979056
0,65625	37	57,3	94,3	0,9979056
0,666667	36	57,3	93,3	0,98732335
0,677083	41	57,3	98,3	1,04023457
0,6875	42	57,3	99,3	1,05081682
0,697917	43	57,3	100,3	1,06139906
0,708333	44	57,3	101,3	1,0719813
0,71875	42	57,3	99,3	1,05081682
0,729167	43	57,3	100,3	1,06139906
0,739583	42	57,3	99,3	1,05081682
0,75	42	57,3	99,3	1,05081682
0,760417	43	57,3	100,3	1,06139906
0,770833	41	57,3	98,3	1,04023457
0,78125	43	57,3	100,3	1,06139906
0,791667	41	57,3	98,3	1,04023457
0,802083	40	57,3	97,3	1,02965233
0,8125	38	57,3	95,3	1,00848784
0,822917	38	57,3	95,3	1,00848784
0,833333	40	57,3	97,3	1,02965233
0,84375	39	57,3	96,3	1,01907009
0,854167	38	57,3	95,3	1,00848784
0,864583	36	57,3	93,3	0,98732335
0,875	43	57,3	100,3	1,06139906
0,885417	44	57,3	101,3	1,0719813
0,895833	43	57,3	100,3	1,06139906
0,90625	45	57,3	102,3	1,08256355
0,916667	41	57,3	98,3	1,04023457

0,927083	41	57,3	98,3	1,04023457
0,9375	46	57,3	103,3	1,09314579
0,947917	46	57,3	103,3	1,09314579
0,958333	46	57,3	103,3	1,09314579
0,96875	43	57,3	100,3	1,06139906
0,979167	44	57,3	101,3	1,0719813
0,989583	43	57,3	100,3	1,06139906