



Departamento
de Engenharia Civil

Controlo ativo de perdas de água – Estudo de viabilidade económica (Águas de Coimbra)

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana

Autora

Tânia Santos Godinho

Orientador

Prof. Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Maio, 2018

AGRADECIMENTOS

Pretendo expressar o meu agradecimento a todas as pessoas que tornaram possível a realização não só deste trabalho mas de todo o meu percurso académico, sem elas não seria possível. Entre elas pretendo destacar:

O meu orientador, Professor Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa pela orientação, espírito crítico e flexibilidade com as minhas escolhas durante a realização deste trabalho, pela disponibilidade, entusiasmo, paciência, dedicação e amizade.

Ao meu orientador da AC, Águas de Coimbra, E.M. Dr. António Sá pela receptividade no acompanhamento e esclarecimento de dúvidas e disponibilização de informação ao longo do trabalho.

À equipa de Afluências Indevidas e Perdas de Água – EAIPA, constituída pelo Martinho Marques e Nuno Pereira, que fizeram com que este trabalho corresse sempre da forma mais agradável e desembaraçada, disponibilizando todos os recursos para que fosse obtido o melhor resultado possível.

Aos meus colegas de mestrado, com quem partilhei horas de estudo, de trabalho e empenho e com quem discuti dúvidas e dificuldades. Obrigada pela amizade e companheirismo.

A todos os meus amigos, nomeadamente, à Vanessa Ribeiro e ao meu Afilhado Fábio Lobo, agradeço o incentivo e apoio.

À minha família, especialmente aos meus pais e irmã, avós e madrinha de batismo, que me incentivaram, ajudaram a crescer e a ultrapassar todos os obstáculos ao longo deste percurso.

Um agradecimento especial ao meu namorado André Alexandre por todo o carinho e compreensão pela minha ausência durante este período.

A todos, um MUITO OBRIGADA!

“As falhas dos homens eternizam-se no bronze,
suas virtudes escrevemos na água.”

WILLIAM SHAKESPEARE

RESUMO

Esta dissertação refere-se ao trabalho desenvolvido no âmbito do estágio realizado na Entidade Gestora (EG) AC, Águas de Coimbra, E.M., com o objetivo de contribuir para o controlo e redução das perdas de água no sistema de distribuição. Incluiu a realização de dois estudos diferentes: o primeiro referente à ZMC Ceira II e o segundo sobre a viabilidade económica do Controlo Ativo de Perdas (CAP).

Com base nos estudos realizados, procurou-se definir estratégias para o combate de perdas de água, em particular das perdas reais.

Apesar do esforço das EG na eliminação das perdas, na prática, apenas se consegue a sua redução até um nível aceitável, habitualmente o Nível Económico de Perdas (NEP).

O combate às perdas de água passa pela implementação de uma política de Controlo Ativo de Perdas (CAP), com o recurso a equipamentos adequados e mão-de-obra especializada. Neste âmbito, a empresa AC, Águas de Coimbra, E.M. pretende desenvolver um estudo acerca da viabilidade económica da política de CAP que tem implementada, tendo sido assim possível enquadrar o trabalho desenvolvido nesta pretensão da empresa. Procedeu-se então à recolha de elementos que permitiram quantificar os custos associados à deteção/localização de fugas e respetiva reparação, calculando-se posteriormente uma estimativa dos benefícios alcançados com as campanhas realizadas. A informação tratada serviu de base a uma análise custo/benefício com o objetivo de concluir acerca da viabilidade económica da CAP.

Foram abordadas as metodologias que permitiram avaliar as perdas, com identificação e quantificação das diferentes componentes associadas, além da identificação dos principais equipamentos e técnicas existentes para o controlo e redução de fugas visíveis e não visíveis.

Os dois estudos realizados pretenderam caracterizar e compreender os procedimentos de quantificação das perdas de água, bem como as técnicas e equipamentos disponíveis para a redução das perdas de água.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento de água, perdas de água, perdas aparentes, perdas reais, controlo ativo de perdas, análise custo/benefício.

ABSTRACT

This dissertation refers to the work carried out in the scope of the internship performed at Entidade Gestora (EG) AC, Águas de Coimbra, E.M., aiming to contribute to the control and reduction of water losses in the water supply system. Two studies were carried out, one referring to ZMC Ceira II and the other concerning the economic feasibility of Economic Level of Leakage (ELL).

Based on the conducted studies, strategies to counteract water losses, in particular real water losses, were attempted to define.

However, despite the effort of EG to eradicate water losses, it is only possible to reduce them to an acceptable level, usually the Economic Level of Leakage (ELL).

The combat against water losses requires the implementation of an Active Loss Control (ALC) policy and the use of adequate equipment and specialized labor.

On this matter, the company AC, Águas de Coimbra, E.M. intends to develop a study concerning the economic feasibility of the ELL policy that has been implemented. Thus, it was possible to frame the work developed in this company's claim. The elements that allowed to quantify the costs related to the detection and localization of losses and its reparation were gathered, and thereafter, it was possible to estimate the benefits achieved with the campaigns carried out. The processed information was the basis to a cost / benefit analysis in order to draw a conclusion about the economic feasibility of ELL.

The methods that allowed to evaluate the losses were addressed, by identifying and quantifying the various associated components. Furthermore, the major equipment and techniques used in the control and reduction of visible and invisible water losses were also identified.

It was the purpose of both studies to characterize and to grasp the water losses quantification procedures as well as the techniques and the available equipment for reducing water losses.

Keywords: Water supply systems, water losses, apparent losses, real losses, active loss control, cost / benefit analysis.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do Tema.....	1
1.2. Estrutura do relatório.....	2
2. PERDAS EM SISTEMAS DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E MEDIDAS DE CONTROLO	5
2.1. O Problema das perdas de água.....	5
2.2. Sistemas de abastecimento de águas.....	5
2.2.1. Captação.....	9
2.2.2. Armazenamento.....	10
2.2.3. Rede de distribuição.....	12
3. PERDAS DE ÁGUA	23
3.1. Introdução.....	23
3.2. Componentes do balanço hídrico.....	23
3.3. Nível económico das perdas - NEP.....	25
3.4. Indicadores de desempenho.....	28
3.5. Perdas aparentes ou não físicas.....	29
3.5.1. Consumo não autorizado.....	30
3.5.1.1. Ligações ilícitas.....	30
3.5.1.2. Uso fraudulento dos hidrantes.....	31
3.5.2. Erros de medição.....	32
3.5.2.1. Erros de medição dos contadores em condições normais de medição.....	32
3.5.2.2. Erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação.....	34
3.5.2.3. Erros de leitura ou registo.....	34
3.5.2.4. Erros de medição por avaria.....	35
3.5.2.5. Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores.....	36
3.6. Perdas Reais.....	36
3.6.1. Perdas reais em condutas.....	40
3.6.2. Perdas reais em ramais.....	41
3.6.3. Perdas reais em reservatórios.....	42
3.6.3.1. Fissuração.....	42
3.6.3.2. Extravassamentos.....	43
3.7. Medidas de Combate às perdas de água.....	44
3.7.1. Zonas de Medição e controlo.....	44
3.7.2. Localização de fugas.....	46
3.7.2.1. Localização aproximada.....	46
3.7.2.2. Localização exata.....	48

4. O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA EMPRESA ÁGUAS DE COIMBRA	55
4.1. Captação e tratamento da água	57
4.2. Qualidade da água	58
4.3. Reservatórios	59
4.4. Materiais	60
4.5. Intervenções na rede de distribuição em 2015	60
4.6. Estudo da ZMC – Ceira II	62
4.6.1. Introdução	62
4.6.2. Descrição do estudo da ZMC	62
5. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA (ÁGUAS DE COIMBRA)	73
5.1. Introdução	73
5.2. GOTAS-Si	73
5.2.1. Ordem de trabalho urgente	74
5.2.2. Ordem de trabalho programada	74
5.3. Sistema de telegestão	75
5.4. Análise da relação custo / benefício	76
5.5. O custo da rotura	76
5.6. Análise dos resultados obtidos	77
5.6.1. ZMC – Alqueves	78
5.6.2. ZMC – Arruela	80
5.6.3. ZMC – Alto dos Barreiros	81
5.6.4. ZMC – Cabouco	82
5.6.5. ZMC – Ceira I	85
5.6.6. ZMC – Ceira II	87
5.6.7. ZMC – Vale de Cântaros Norte	91
5.6.8. ZMC – Vale de Cântaros Sul	94
6. CONCLUSÃO	99
7. BIBLIOGRAFIA	101
ANEXOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Distribuição da água na terra.....	1
Figura 2.1 – Sistema de abastecimento de água (Alegre <i>et al.</i> , 2005).	6
Figura 2.2 – Classificação dos reservatórios quanto à sua implantação.....	12
Figura 2.3 – Rede ramificada.....	12
Figura 2.4 – Rede emalhada.....	13
Figura 2.5 – Linhas piezométricas dos consumos máximo e mínimo.....	14
Figura 2.6 – Ligação entre o sistema público e os dispositivos de utilização (Pedroso, V.M.R., 2007).....	16
Figura 2.7 – Alimentação direta com elemento sobrepessor (Pedroso, V.M.R., 2007).....	16
Figura 2.8 – Alimentação indireta com reservatório na base e elemento elevatório (Pedroso, V.M.R., 2007)	17
Figura 2.9 – Válvula de seccionamento (Saint-Gobain PAM, 2017).....	18
Figura 2.10 - Válvula de descarga (cedida por Professor Joaquim Sousa)	19
Figura 2.11 – Válvula redutora de pressão (Mankenberg, 2017).....	19
Figura 2.12 – Válvula de retenção (Saint-Gobain PAM, 2017).....	20
Figura 2.13 – Ventosa de 3 funções (Saint-Gobain PAM, 2017).....	20
Figura 2.14 – Medidor de caudal eletromagnético (Tecnilab, 2017)	21
Figura 2.15 - Marco de incêndio (Saint-Gobain PAM, 2017)	21
Figura 3.1 – Nível económico de perdas (Alegre, et al., 2005).....	26
Figura 3.2 – Nível económico de perdas reais (NEPr) (ReCESA, 2007).....	27
Figura 3.3 – Ligação ilícita (cedida por AC, Águas de Coimbra, E.M e por Professor Joaquim Sousa)	31
Figura 3.4 - Uso fraudulento dos hidrantes (apontamentos das aulas de Hidraulica Urbana)	32
Figura 3.5 - Curva de erros característica de um contador volumétrico	32
Figura 3.6 - Curva de erro típica para contador de velocidade de macromedição	33
Figura 3.7 – Registo de leitura (cedida por Professor Joaquim Sousa).....	34
Figura 3.8 – Contador adulterado com recurso a agulhas (cedida por Professor Joaquim Sousa).....	35
Figura 3.9 – Contador doméstico vandalizado (cedida por Professor Joaquim Sousa)	36
Figura 3.10 - Diferença do nível de corrosão entre tubagem galvanizada e cobre (Armstrong Plumbing, 2017).....	38
Figura 3.11 – Rotura na tubagem do ramal (cedida por Professor Joaquim Sousa).....	39
Figura 3.12 – Tipos de fugas de água (adaptado de ReCESA, 2007)	40
Figura 3.13 – Origens das perdas de água em condutas e acessórios (Alegre et al., 2000).	41
Figura 3.14 – Intervenção num ramal com o joelho danificado (cedida por Professor Joaquim Sousa)	42
Figura 3.15 – Fissura no reservatório (cedida por Professor Joaquim Sousa)	42
Figura 3.16 – Extravasamento do reservatório (Apontamentos das aulas de Hidraulica Urbana)	43
Figura 3.17 – Zonas de Medição e Controlo (Alegre et al., 2005).....	44
Figura 3.18 - Telemetria com recurso ao iWater 200 ISA	45
Figura 3.19 – Telegestão (Aquasis, 2017).....	46
Figura 3.20 – Acelerómetros Primayer Phocos 2 (Primayer, 2017).....	47

Figura 3.21 – Step test (AWWA, 2011).....	47
Figura 3.22 - Resultado do Step test (AWWA, 2011).....	48
Figura 3.23 – Geofone Mikron da Primayer (Primayer, 2017)	49
Figura 3.24 – Vareta de escuta Mikron da Primayer.....	50
Figura 3.25 – Correladores Eureka3 da Primayer (Primayer, 2017).....	51
Figura 3.26 – Correladores multiponto (Primayer, 2017).....	51
Figura 3.27 - Colocação do hidrofone num marco de água	52
Figura 3.28 - SmartBall e rede de captura (apontamentos das aulas).....	53
Figura 3.29 – Sahara (apontamentos das aulas)	53
Figura 4.1 – Concelho de Coimbra	55
Figura 4.2 - Mapa das zonas abastecidas pela AdCL.....	57
Figura 4.3 - ETA da Boavista.....	58
Figura 4.4 – Reservatório Ceira II.....	63
Figura 4.5 - Reservatório Ceira II e respetiva rede de distribuição de água	66
Figura 4.6 - Rede de distribuição de água e representadas as zonas críticas.....	67
Figura 4.7 - Sondagem acústica no ramal com recurso a vareta escuta.	69
Figura 4.8 – Sondagem acústica indireta no solo sobre a conduta com geofone.	69
Figura 4.9 - Localização da rotura da rua da Escola	70
Figura 4.10 - Localização da rotura da rua do Correio	70
Figura 4.11 – Identificação de rotura com spray.....	71
Figura 5.1 - Gráfico esquemático da telegestão.	75
Figura 5.2 – Tabela do Cabouco	84

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Componentes do balanço hídrico. (Almeida, R.(2006))	24
Quadro 3.2 – Estrutura dos indicadores de desempenho (Alegre <i>et al.</i> , 2005)	29
Quadro 4.1 - Elementos que constituem a rede.....	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Percentagem de análises (Relatório de contas 2015 da AC, Águas de Coimbra, E.M.)..	59
Gráfico 4.2 - Evolução temporal do número de roturas (Relatório de contas 2015 da AC, Águas de Coimbra, E.M.)	61
Gráfico 4.3 - Caudais noturnos da rede.....	64
Gráfico 4.4 – Monitorização do caudal (m ³ /h) da noite de 23-10-2015.....	68
Gráfico 5.1 - Gráfico de dispersão custo das reparações vs. Caudal reduzido.....	78
Gráfico 5.2 – Gráfico de dispersão de Alqueves.....	79
Gráfico 5.3 – Gráfico de dispersão da Arruela.....	81
Gráfico 5.4 – Gráfico de dispersão do Alto dos Barreiros	82
Gráfico 5.5 – Gráfico de dispersão do Cabouco	85
Gráfico 5.6 – Gráfico de dispersão de Ceira I.....	87
Gráfico 5.7 – Gráfico de dispersão de Ceira II.....	91
Gráfico 5.8 – Gráfico de dispersão de Vale de Cântaros Norte	94
Gráfico 5.9 – Gráfico de dispersão de Vale de Cântaros Sul	96
Gráfico 5.10 – <i>Payback period</i>	97

SIMBOLOGIA

% – Percentagem

CN – Consumo Noturno

D – Diâmetro interno da tubagem

DN – Diâmetro Nominal

fp – Fator de ponta instantâneo

h – Hora

H – Pressão mínima

Hz – Hertz, unidade derivada, do Sistema Internacional, para frequência

km – Quilómetro

km² – Quilómetro quadrado

kPa – Quilopascal

l/dia/m – Litros por dia por metro de ramal

l/dia/ramal – Litros por dia por ramal

l/hab/dia – Litros por habitante por dia

L/km/h – Litros por quilómetro por hora

L/lig./h – Litros por ligação por hora

l/ramal/dia – Litros por ramal por dia

l/s – Litros por segundo

m – Metro

m c.a – Metro coluna de água

m/s – Metro por segundo

m³ – Metro cúbico

m³ /ano – Metro cúbico por ano

m³/(km.dia) – Metro cúbico por quilómetro por dia

m³/ano – Metro cúbico por ano

m³/dia – Metro cúbico por dia

m³/h – Metros cúbicos por hora

min - Minuto

mm – Milímetro

n- Número de pisos acima do solo, incluindo o rés-do-chão.

Nc – Número de ramais;

°C – Graus celsius

Ø – Diâmetro

P – Pressão média de operação (kPa).

P – Pressão média do período de 24 horas.

PI – Perdas Inerentes

PN – Perdas Noturnas

PR – Perdas Reais

PRM – Perdas Reais Mínimas

Q_{ma} – Caudal médio anual

Q médio – Caudal médio

Q mínimo – Caudal mínimo

Q_p – Caudal de ponta instântâneo

V– Volume

V– Velocidade de escoamento

€/m³- Euro por metro cúbico

ABREVIATURAS

AdCL – Águas do Centro Litoral

CAP – Controlo Ativo de perdas

ECSI Portugal – Índice Nacional de Satisfação do Cliente

EG – Entidade Gestora

ENEG – Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Água e Saneamento

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

FC – Fibrocimento

FFD – Ferro Fundido Dúctil

INAG – Instituto Nacional da Água

IWA – *Internacional Water Association*

LP – Linha Piezométrica

NEP – Nível Económico de Perdas

NEPr – Nível Económico de Perdas reais

PCQA – Programa do controlo de qualidade da água

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

POL – Plano de Controlo Operacional

PVC – Policloreto de vinilo

PRFV - Poliéster reforçado com fibra de vidro

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SMASC – Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Coimbra

SMC – Serviços Municipalizados de Coimbra

VP – Valor Paramétrico

ZMC – Zona de Medição e Controlo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do Tema

A água é um recurso natural, vital para a sobrevivência da humanidade e de todas as espécies. As primeiras formas de vida surgiram nos oceanos há cerca de 4 milhões de anos. A água passou a ser utilizada pelos seres vivos como recurso, seja para o próprio consumo ou fonte de alimentos.

Apesar de cerca de 70% da superfície do planeta Terra estar coberta de água, apenas 2,5% da água disponível é doce, perfazendo um volume global da ordem de 35 milhões de m³, sendo que uma parte significativa deste volume está concentrada nas calotes polares e glaciares (68,7%) e nos aquíferos subterrâneos (30,1%), correspondendo a água dos rios e lagoas e apenas cerca de 1,2% do total da água doce do planeta, a figura 1.1 ilustra a distribuição da água na Terra (Shiklomanov, 1993).

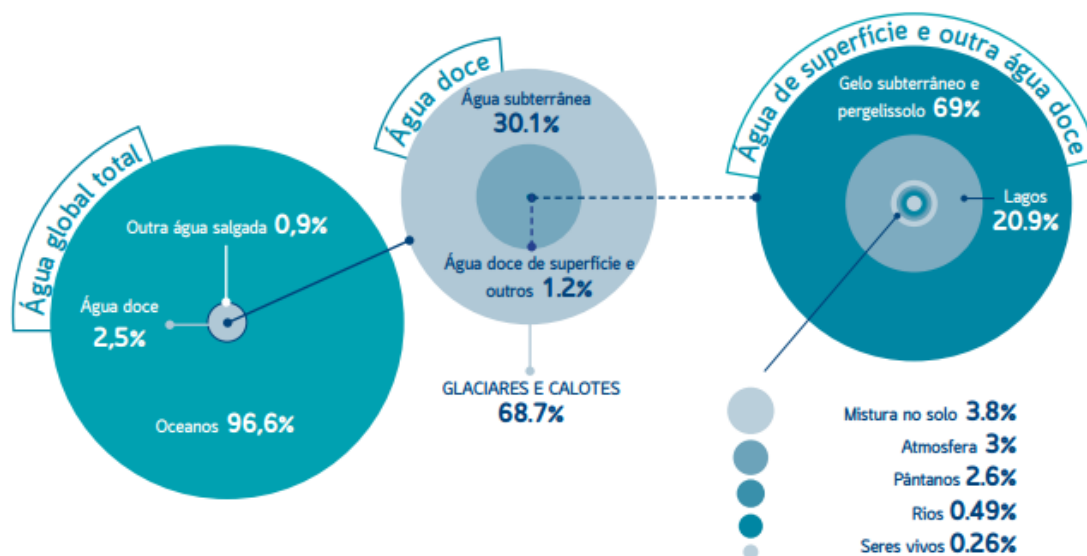


Figura 1.1 - Distribuição da água na terra.

Dada esta escassez de água, nos últimos anos, tem-se verificado uma maior preocupação em se conhecer as perdas de água por forma a conseguir a sua redução.

Em Portugal, A ERSAR considera que ficam por cobrar cerca de “30% do total de água envolvido no abastecimento público, seja por perdas antes de chegar às torneiras, seja por ser “distribuída gratuitamente”, seja por “fugas por roturas ou mau uso” ou por “consumos ilícitos”.

Segundo o jornal DN, numa notícia avançada no dia 22-03-2017, referia que “O relatório citado analisou 256 entidades gestoras de água, entre empresas públicas e privadas, destas 171 apresentam uma “gestão física e económica insatisfatória”, com “valores de água não faturada entre 30 e 77%”.

Atualmente, de acordo com uma notícia avançada pelo jornal Dinheiro Vivo, publicada a 22-03-2017, que referia que “É também evidente a não disponibilização de dados por parte de 22 municípios, um comportamento que denota não só displicência por parte destas entidades, mas também um total desrespeito para com a ERSAR, face às exigências legais de reporte anual”. A ERSAR tem vindo a sensibilizar as EG de que é necessário implementar medidas de combate às perdas de água, mas aparentemente é sugerido que há municípios que não tomaram ainda consciência do problema.

Existem perdas globais na ordem dos 235 milhões de euros anuais que não são cobrados pelos municípios. Existem mais de 700 mil alojamentos no país que não estão ligados à rede pública, embora haja disponibilidade de água canalizada nas proximidades. Porém, segundo a presidente da Associação ZERO, Carla Graça, em entrevista ao jornal DN, “É particularmente grave a manutenção da situação de municípios que não se ligam à rede pública porque têm furos, muitas vezes ilegais, que são um risco para a saúde pública e um fator de não sustentabilidade do sistema”. A obrigatoriedade dos cidadãos efetuarem a ligação à rede pública de abastecimento, quando esta se encontra disponível, está claramente definida no DL n.º 194/2009, 20 Agosto.

No território português verificam-se desigualdades significativas a nível de precipitação, assim como na distribuição dos recursos hídricos. A precipitação é mais intensa no norte e centro, onde atinge níveis mais elevados comparativamente ao sul. Este fator, por si só, traduz a dificuldade em uniformizar o sistema de abastecimento, assim como a distribuição das captações, sendo que a maioria se concentra no norte e centro do país. Estes fatores condicionam a gestão da água em todo o país, originando fortes desigualdades em termos de fornecimento de água, refletindo-se também nos diferentes tarifários que são praticados pelas diversas EG.

A empresa AC, Águas de Coimbra, E.M, EG é responsável pelo sistema de abastecimento de água no concelho de Coimbra, além de outros serviços. Esta EG, em resultado de uma simples comparação entre a água comprada e a água faturada, concluiu que o seu sistema de abastecimento de água (SAA) apresentava um nível elevado de água não faturada, o que se traduz em significativos encargos financeiros. Criou-se, então, nesta EG, há alguns anos atrás a necessidade de fazer algo no sentido de minimizar este problema, reduzindo os encargos financeiros e os impactos ambientais.

1.2. Estrutura do relatório

Por forma a melhorar a compreensão do conteúdo do estágio realizado, este relatório será dividido em várias componentes, abaixo referidas por capítulos.

O estágio decorreu na empresa AC, Águas de Coimbra, E.M. tendo ficado dedicado ao tema do controlo de perdas de água.

Para melhor interpretação do tema em estudo, realizou-se, numa primeira parte, um enquadramento por pesquisa bibliográfica, dando-se de seguida início ao desenvolvimento do caso de estudo no âmbito do estágio, que consistiu na realização de campanhas de deteção/localização de fugas de água. Para a deteção das fugas de água recorreu-se a equipamentos acústicos. Procedeu-se depois a uma análise do custo de roturas referente a oito ZMC considerando o período de tempo necessário para recuperar os gastos efetuados em cada reparação (*payback period*). Por fim, e depois do estudo realizado, retiraram-se as devidas conclusões.

Com a clareza necessária, proporciona-se de seguida a divisão por capítulos.

Capítulo 1

No primeiro capítulo deste relatório é realizada uma descrição geral do tema sistemas de abastecimento de água (SAA).

Capítulo 2

No segundo capítulo efetua-se uma abordagem da problemática das perdas de água num SAA.

Capítulo 3

Neste capítulo é dada a definição de Balanço Hídrico, de perdas aparentes e perdas reais e apresentação das principais causas. São também caracterizados os principais Indicadores de Desempenho de uma EG. São ainda abordadas as medidas para o combate às perdas de água. As medidas de combate às perdas reais estão separadas em dois grandes grupos que se complementam: as medidas de localização aproximada e as medidas de localização exata. No final é feita referência ao tema da telemetria, com maior predominância do sistema de telegestão.

Capítulo 4

No Capítulo quatro apresenta-se um breve resumo do sistema de abastecimento de água no concelho de Coimbra. Neste capítulo são abordados os reservatórios, a captação que abastece todo este sistema e, por fim, apresenta-se uma descrição sumária sobre as características das condutas existentes no sistema de abastecimento.

Neste capítulo analisou-se a ZMC de Ceira II e realizou-se uma campanha de deteção/localização de roturas de água, mantendo-se a sua contante monitorização com o objetivo de manter as perdas de água dentro de limites aceitáveis.

Capítulo 5

O estudo da viabilidade económica é abordado neste capítulo, pela análise de oito ZMC com um conjunto de roturas em cada uma delas. É apresentado o cálculo do custo total considerando todos os recursos humanos, equipamentos e materiais para cada número de reclamação. Apresenta-se também uma análise de quanto tempo leva para que a rotura fique “paga por si mesma” – o designado tempo de retorno.

Capítulo 6

Neste último capítulo serão retiradas as conclusões provenientes da análise dos resultados obtidos, assim como recomendações para futuros trabalhos dentro da mesma temática.

2. PERDAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E MEDIDAS DE CONTROLO

2.1. O Problema das perdas de água

A implementação das estratégias consideradas mais adequadas para o controlo e redução de perdas de água nas redes, depende de alguns aspetos tais como: o nível de desenvolvimento económico do país, as prioridades políticas dos governos, a perceção ambiental, o nível empresarial das entidades gestoras e até mesmo os hábitos culturais da população.

As estratégias para a redução de perdas devem ter em conta uma cuidadosa articulação entre o investimento necessário para as colocar em prática e os custos de exploração, operação e reparação de fugas no sentido de estabelecer a melhor relação custo-benefício.

As principais razões que justificam a implementação de uma estratégia de combate às perdas de água são:

- Maior eficiência na gestão, com benefícios em termos de redução de custos de operação e de capitais;
- Melhorias na faturação, uma vez que uma menor ocorrência de roturas e melhor nível de desempenho podem ter resultados positivos no valor das fugas aparentes;
- Diminuição de danos estruturais, uma vez que as fugas podem causar espaços vazios no subsolo e, conseqüentemente, danos em estradas e edifícios;
- A redução dos riscos para a saúde e uma maior segurança no abastecimento, já que a proximidade de esgoto e outros poluentes é real e a infiltração de um destes poluentes no sistema de abastecimento de água para consumo humano através de roturas pode resultar em doenças, no caso de sistemas com baixa pressão.

2.2. Sistemas de abastecimento de águas

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são constituídos por infraestruturas capazes de produzir e distribuir a água aos seus consumidores, abrangendo várias componentes hidrológicas e hidráulicas responsáveis pela captação, armazenamento, transporte e bombeamento da água, quando necessário (Alegre et al, 2006).

A captação da água depende, inicialmente, da escolha da bacia, a qual depende da qualidade da água, bem como de fatores económicos. Essa captação consiste na retirada de água bruta da bacia, seguidamente enviada para estações de tratamento de água, ou diretamente para sistemas de adução e de distribuição. Após a entrada de água nas estações de tratamento, obtém-se água potável pronta para ser transportada até aos sistemas de adução. Um SAA poderá incluir a construção de reservatórios por forma a

armazenar água em períodos de consumo inferior, e que será distribuída caso ocorram elevados consumos. O transporte é efetuado por condutas distribuidoras as quais levam, por fim, a água do reservatório ao consumidor final. Em casos extremos torna-se impossível fazer chegar a água ao consumidor final por gravidade, sendo necessário recorrer ao bombeamento da mesma. No entanto, existem casos opostos, em que a existência de elevadas quedas de água obriga à construção de andares de pressão, reduzindo as perdas de carga ao longo do trajeto da água. A Figura 2.1 representa um esquema geral das principais entradas e saídas de água num SAA. Os medidores de caudais controlam os níveis de água que circulam no sistema, o que permite a análise posterior das perdas de água. Idealmente, verificar-se-iam perdas nulas, traduzindo um caudal de entrada igual ao de saída. Contudo, isso nem sempre se verifica, dependendo de vários fatores (Alegre et al, 2006).

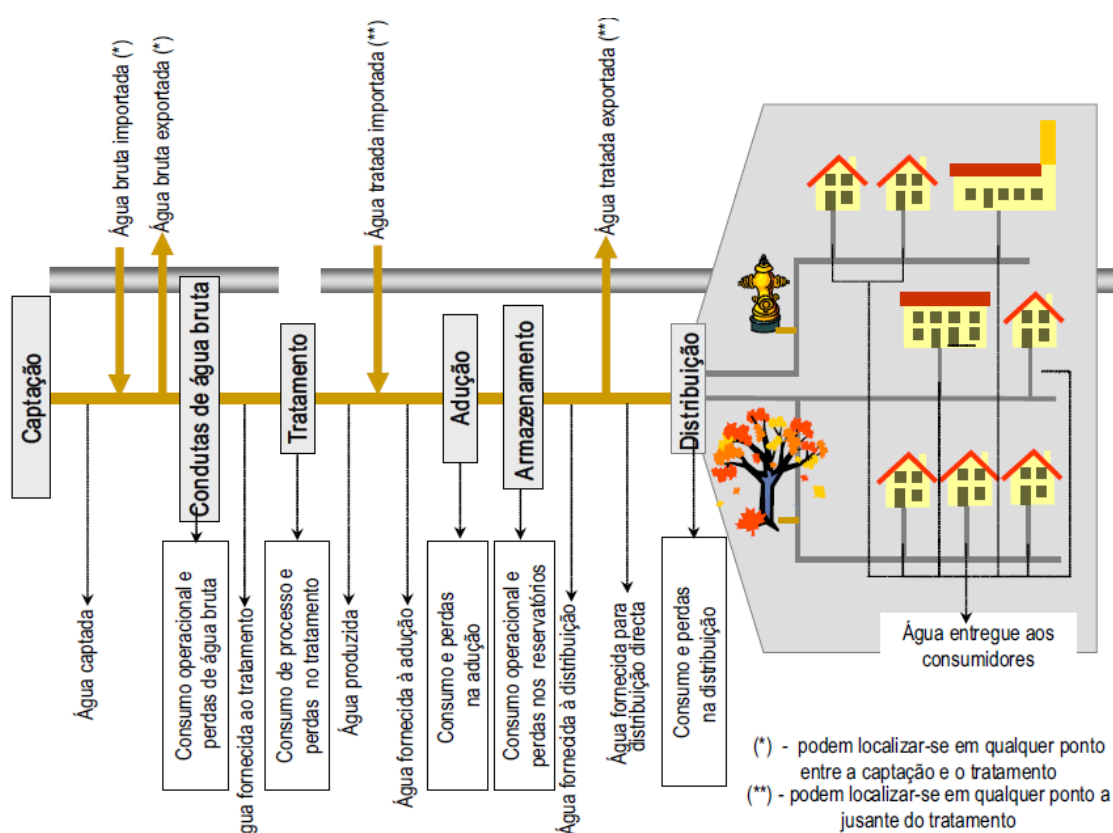


Figura 2.1 – Sistema de abastecimento de água (Alegre et al, 2005).

Descrição dos principais elementos do SAA:

- **Água captada:** volume anual de água obtida a partir de captações de água bruta para entrada em estações de tratamento de água (ou diretamente em sistemas de adução e de distribuição).

- **Água bruta, importada ou exportada:** volume anual de água bruta transferido de ou para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento).

- **Água fornecida ao tratamento:** volume anual de água bruta que aflui às instalações de tratamento.

- **Água produzida:** volume anual de água tratada que é fornecida às condutas de adução ou diretamente ao sistema de distribuição.

O volume anual de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como **ÁGUA PRODUZIDA**.

- **Água tratada, importada ou exportada:** volume anual de água tratada transferido de ou para o sistema (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto a jusante do tratamento).

Caso exista, o volume anual de água sem tratamento prévio que é captado e distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como “**ÁGUA TRATADA**” no contexto do balanço hídrico.

- **Água fornecida à adução:** volume anual de água tratada que aflui ao sistema de adução.

- **Água fornecida para distribuição:** volume anual de água tratada que aflui ao sistema de distribuição.

- **Água fornecida para distribuição direta:** volume de água correspondente à diferença entre a **ÁGUA FORNECIDA PARA DISTRIBUIÇÃO** e a **ÁGUA TRATADA EXPORTADA** (sempre que não seja possível separar a adução da distribuição, a água fornecida para distribuição direta corresponde à diferença entre a **ÁGUA FORNECIDA À ADUÇÃO** e a **ÁGUA TRATADA EXPORTADA**).

- **Água entrada no sistema:** volume anual introduzido na parte do sistema de abastecimento de água que é objeto do cálculo do balanço hídrico.

● **Consumo autorizado:** volume anual de água, medido ou não medido, faturado ou não, fornecido a consumidores registados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria entidade gestora. Inclui a **ÁGUA EXPORTADA**.

Nota (1): O consumo autorizado pode incluir água para combate a incêndio, lavagem de condutas e coletores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, proteção contra congelação, fornecimento de água para obras, etc..

Nota (2): O consumo autorizado inclui as fugas e o desperdício, por parte de clientes registados, que não são medidos.

● **Perdas de água:** volume de água correspondente à diferença entre a **ÁGUA ENTRADA NO SISTEMA** e o **CONSUMO AUTORIZADO**. As perdas de água podem ser calculadas para todo o sistema ou para subsistemas, como sejam a rede de água não tratada, o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas do sistema de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo devem ser consideradas em conformidade com a situação. As **PERDAS DE ÁGUA** dividem-se em **PERDAS REAIS** e **PERDAS APARENTES**.

1. **Perdas reais:** volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga.

Nota: Apesar das perdas físicas localizadas a jusante do contador do cliente se encontrarem excluídas do cálculo das **PERDAS REAIS**, são muitas vezes significativas e relevantes para a entidade gestora (em particular quando não há medição).

2. **Perdas aparentes:** esta parcela das perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado (por furto ou uso ilícito).

Nota: Os registos por defeito dos medidores de água produzida, bem como registos por excesso em contadores de clientes, levam a uma subavaliação das **PERDAS REAIS**. As perdas físicas a jusante do contador do cliente podem contribuir significativamente para o aumento das perdas aparentes.

• **Água não faturada:** volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da ÁGUA ENTRADA NO SISTEMA e do CONSUMO AUTORIZADO FACTURADO. A ÁGUA NÃO FACTURADA inclui não só as PERDAS REAIS e APARENTES, mas também o CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO. (Alegre et al, 2005)

2.2.1. Captação

As EG em alta têm como objetivo colmatar as dificuldades de abastecimento de água ocorridas em território nacional, tendo como preocupação uma gestão racional da mesma, já que é um recurso cada vez mais escasso.

O elevado volume de fornecimento diário de água, levou à necessidade de recorrer a água de origem superficial, em alternativa às águas de origem subterrânea. Desta forma, em Portugal Continental já existem concelhos que utilizam exclusivamente água de origem superficial, em detrimento de outros que apenas utilizam água de origem subterrânea.

Uma parte da população portuguesa ainda recorre à água de fontanários não ligados à rede de distribuição pública devido a um hábito antigo ou à inexistência de água canalizada. A entrada em vigor do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, levou ao aumento do controlo da qualidade da água fornecida à população através desta via de abastecimento. Em determinados fontanários não ligados à rede pública, as EG limitam-se, no entanto, a colocar placas informativas de água não controlada.

A captação de água para abastecimento tem diferentes origens: água pluvial, água superficial ou água subterrânea:

▪ **Água pluvial**

É água captada da superfície de telhados e posteriormente encaminhada para cisternas de armazenamento, para o abastecimento individual. Há situações em que se preparam superfícies de captação sendo a água encaminhada para reservatórios destinados ao abastecimento de populações com consumos reduzidos.

▪ **Água superficial**

A água superficial surge de cursos de água ou lagos onde existem caudais disponíveis para a sua captação. No caso de caudais baixos recorre-se a albufeiras de regularização, com construção de um açude ou barragem.

Em caso de escassez de água doce, uma das soluções passa pela captação da água do mar, tendo em conta o custo e o tempo associado à dessalinização.

▪ **Água subterrânea**

A água subterrânea é captada em aquíferos, isto é, formações geológicas com suficiente permeabilidade e capacidade de armazenamento. A captação desta água pode realizar-se a diferentes profundidades ou, até, à superfície, nos casos de afloramento superficial do aquífero (nascentes, furos).

2.2.2. Armazenamento

O volume diário de consumo de uma dada população apresenta várias oscilações ao longo do dia, sendo muito superior durante o dia, nomeadamente nas horas das refeições. Com isto, surge a necessidade de construção de reservatórios como meio de armazenamento de água, dada a impossibilidade e aplicação de condutas de grandes diâmetros. Os reservatórios apresentam várias aplicações, destacando-se as seguintes:

- **Servir de volante de regularização, compensando as flutuações de consumo face à adução:**

- Regularização diária (entre horas do dia)
- Regularização inter-diária (entre dias do ano);

- Constituir reservas de emergência para combate a incêndios ou para assegurar a distribuição em casos de interrupção voluntária ou acidental do sistema de montante;

- **Reservas para:**

- Combate a incêndios
- Variação de qualidade da água na origem
- Acidente na captação
- Intervenções de reparação ou manutenção na conduta adutora
- Corte de energia elétrica (paragem dos grupos eletrobomba)
- Equilibrar as pressões na rede de distribuição
- Regularizar o funcionamento das bombagens.

Os reservatórios classificam-se segundo a sua função, implantação e capacidade (Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de Agosto).

- **Consoante a sua função:**

- De distribuição ou equilíbrio
- De regularização de bombagem
- De reserva para combate a incêndio

- **Consoante a sua implantação** (Figura 2.2):

- Enterrados
- Semi-apoiado
- Apoiado
- Elevados (torres de pressão)

- **Consoante a sua capacidade:**

- Pequenos ($V < 500 \text{ m}^3$)
- Médios (entre 500 m^3 e 5000 m^3)
- Grandes ($V > 5000 \text{ m}^3$)

A localização dos reservatórios deve estar o mais próximo possível do centro de gravidade dos locais de consumo, com cota que garanta as pressões mínimas em toda a rede. Em zonas acidentadas criam-se patamares de pressão, podendo existir vários reservatórios em áreas muito extensas. Nos casos em que a expansão se dá apenas numa direção, poderá existir um reservatório de extremidade a um nível inferior para equilibrar as pressões na rede.

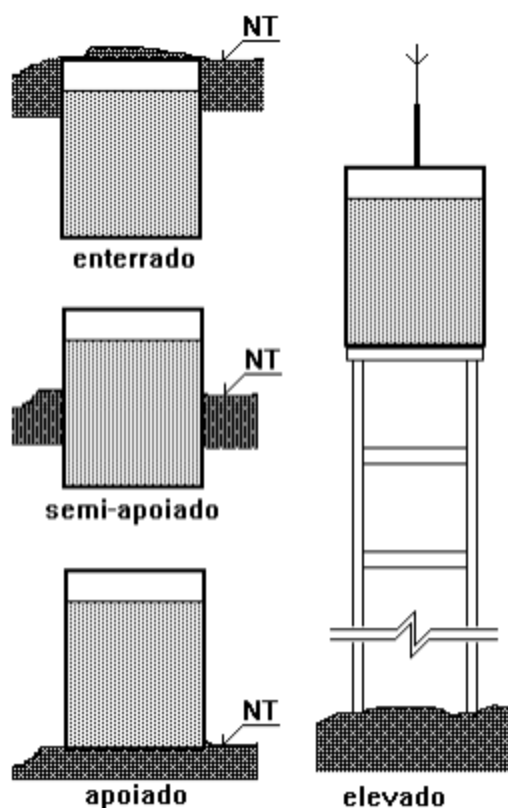


Figura 2.2 – Classificação dos reservatórios quanto à sua implantação.

2.2.3. Rede de distribuição

A rede de distribuição de água trata-se de um sistema de condutas e elementos acessórios para distribuir a água à população. A água da rede geral pública é distribuída aos consumidores através de ramais domiciliários.

Existem vários tipos de redes que se diferenciam pela disposição das condutas no local e respetivo percurso do caudal na rede. Tratam-se de redes ramificadas e emalhadadas.

As redes ramificadas, Figura 2.3, são constituídas por um único percurso entre o reservatório e qualquer ponto da rede.

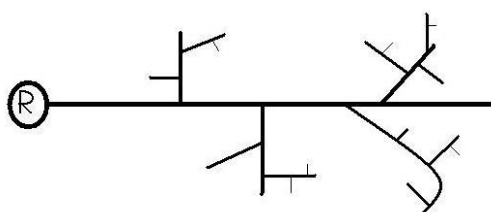


Figura 2.3 – Rede ramificada

Neste tipo de redes, devido ao sentido único realizado pelo escoamento, os sedimentos podem acumular-se nos pontos terminais, originando a obstrução parcial ou total da conduta, dificultando a chegada de água às habitações. Em caso de avaria, o abastecimento é interrompido para jusante, representado um fator negativo. As variações do consumo ao longo do tempo têm elevada influência nas pressões registadas na rede, podendo levar a reclamações por parte dos clientes.

Nas redes emalhadas, Figura 2.4, as condutas fecham-se constituindo malhas.

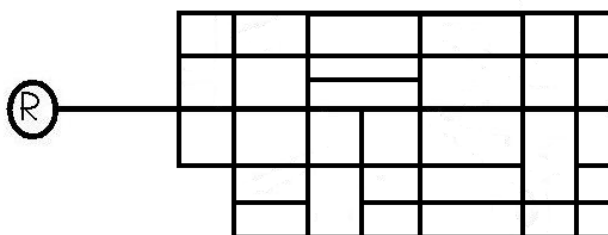


Figura 2.4 – Rede emalhada

Nas redes emalhadas o escoamento realiza-se em ambos os sentidos, ou seja, é bidirecional. Desta forma, quando ocorrem avarias, estas não impedem o abastecimento a jusante e por isso, esta rede não é afetada na pressão pela variação de consumos. Como aspectos negativos refere-se a necessidade de muitos acessórios e um dimensionamento hidráulico mais complexo.

Segundo o Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de Agosto, no Art.21º, as pressões admissíveis na rede devem estar compreendidas entre o intervalo com pressão máxima de 600 kPa e mínima de 100 kPa. As variações de pressões em cada nó do sistema, não devem ser superiores a 300 kPa ao longo do dia.

A pressão na rede é dada pela diferença de cota da superfície da água no reservatório e a cota piezométrica do ponto onde se pretende medir a pressão retirando-se as perdas de cargas contínuas e localizadas entre estes dois pontos. A pressão máxima na rede ocorre no período noturno, isto é, no período de baixos consumos. A pressão mínima na rede verifica-se em períodos de consumos elevados, para os quais são dimensionadas as condutas da rede, ou seja, para o caudal de ponta horário, sendo este o caudal médio anual multiplicado pelo fator de ponta horário, como se mostra na Equação (2.1):

$$Q_p = f_p \times Q_{ma} \tag{2.1}$$

Sendo,

Q_p – Caudal de ponta instantâneo [L/s]

f_p – Fator de ponta instantâneo [-]

Q_{ma} – Caudal médio anual [L/s]

A pressão mínima na rede pública ao nível do arruamento é dada pela Equação (2.2):

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

Sendo,

H – Pressão mínima [kPa]

n – Número de pisos acima do solo, incluindo o rés-do-chão [-]

Na Figura 2.5 observam-se as linhas piezométricas (LP) características dos consumos máximo e mínimo. Verifica-se a existência de uma pressão superior no período de menor consumo visto o reservatório apresentar à partida uma altura de água superior e as perdas de carga contínuas serem inferiores devido à passagem de um caudal inferior. No período de maior consumo a pressão na rede é mínima visto a altura de água no reservatório estar muito próxima da mínima e as perdas de carga contínuas apresentarem valores elevados, como é possível constatar pela análise do declive da LP.



Figura 2.5 – Linhas piezométricas dos consumos máximo e mínimo

No dimensionamento hidráulico deve ser tida em consideração a minimização dos custos, utilizando-se, para isso, os diâmetros mais económicos possível. Segundo o Decreto Regulamentar n.º 23/95 – Artigo 21.º, a velocidade de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder o valor calculado pela Equação (2.3):

$$V = 0,127D^{0,4} \quad (2.3)$$

Sendo,

V – Velocidade de escoamento [m/s]

D – Diâmetro interno da tubagem [mm]

A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no início de exploração do sistema não deve ser inferior a 0,3 m/s e, nas condutas onde não seja possível verificar este limite, devem prever-se dispositivos adequados para descarga periódica.

Em relação à circulação de água entre a rede pública e os dispositivos de alimentação, o RGSPDADAR [N12] faz referência, no seu Anexo III, à terminologia adotada. Este regulamento indica que a ligação entre o sistema público e os dispositivos de utilização é constituída por (figura 2.6):

Ramal de ligação – canalização entre a rede pública e o limite da propriedade a servir.

Ramal de introdução coletivo – canalização entre o limite da propriedade e os ramos de introdução individuais dos utentes.

Ramal de introdução individual – canalização entre o ramal de introdução coletivo e os contadores individuais dos utentes ou entre o limite da propriedade e o contador, no caso de edifício unifamiliar.

Ramal de distribuição – canalização entre os contadores individuais e os ramos de alimentação.

Ramal de alimentação – canalização para alimentar os dispositivos de utilização.

Coluna – troço de canalização de prumada de um ramal de introdução ou de um ramal de distribuição.

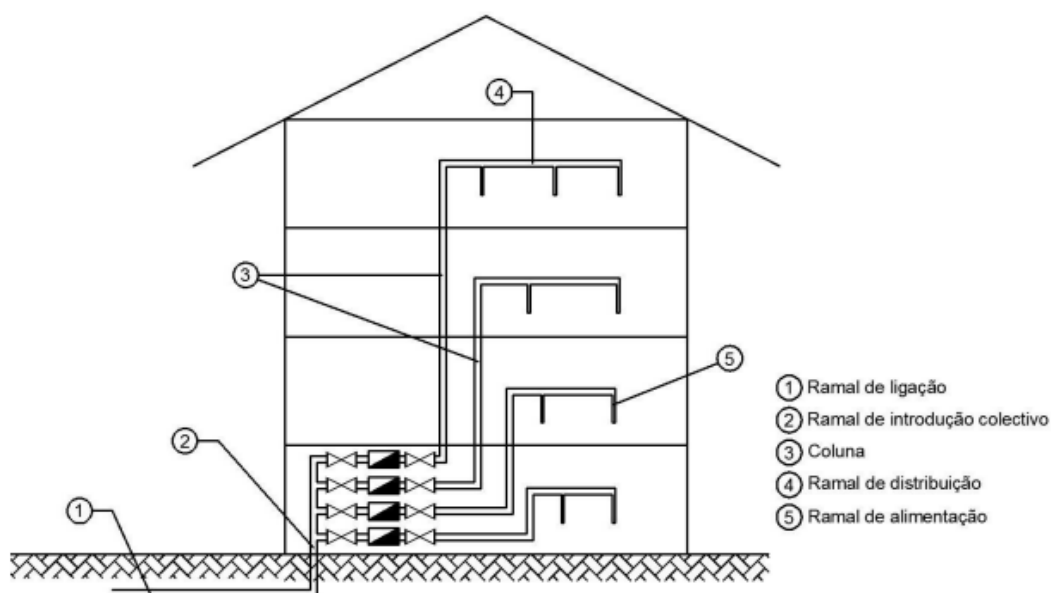


Figura 2.6 – Ligação entre o sistema público e os dispositivos de utilização (Pedroso, V.M.R., 2007)

O abastecimento do edifício através da rede pública pode ser conseguido de diferentes formas. Dependendo do caudal e pressão existentes na rede é possível abastecer diretamente os diferentes dispositivos – alimentação direta (Figura 2.7), ou poderá ser necessário recorrer a um reservatório para proporcionar um abastecimento em boas condições – alimentação indireta (Figura 2.8).

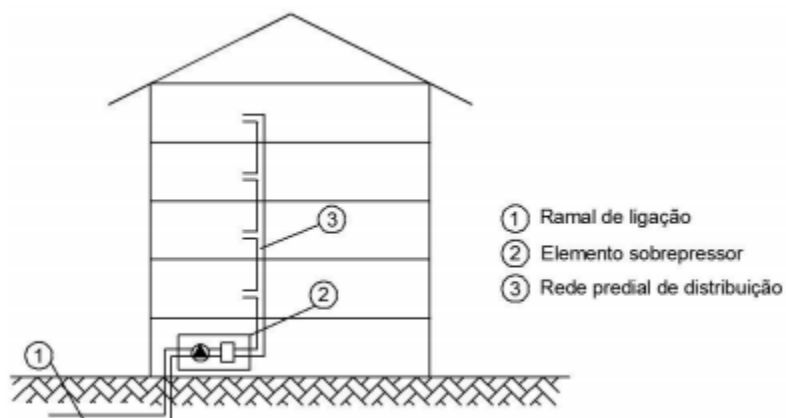


Figura 2.7 – Alimentação direta com elemento sobressor (Pedroso, V.M.R., 2007)

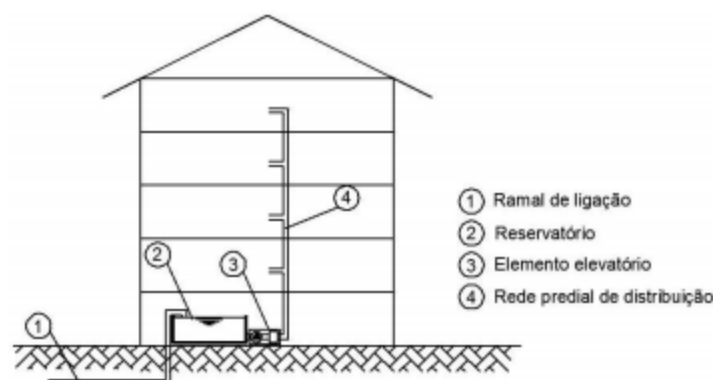


Figura 2.8 – Alimentação indireta com reservatório na base e elemento elevatório (Pedroso, V.M.R., 2007)

Relativamente aos materiais das condutas adutoras e distribuidoras destacam-se (Grilo, 2007):

- **Fibrocimento (FC)** - As condutas de fibrocimento foram muito utilizadas nas décadas de 60 e 70 para condutas em pressão, sendo compostas por fibras de amianto e cimento. Atualmente, este material caiu em desuso dada a natureza cancerígena de um dos seus componentes, o amianto, existindo ainda, no entanto, extensões significativas de condutas deste material em redes mais antigas.

- **Aço Carbono (A)** - As condutas de aço carbono utilizam-se em sistemas de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais e pluviais e em emissários submarinos. Estas condutas permitem temperaturas de líquido e pressões elevadas.

- **Ferro Fundido Dúctil (FFD)** - As condutas de Ferro Fundido Dúctil (FFD) são particularmente adequadas para sistemas de abastecimento e distribuição de água, condutas fixas de irrigação e transporte de produtos químicos agressivos.

- **Policloreto de Vinilo (PVC)** - As condutas de policloreto de vinilo (PVC) lisas utilizam-se em sistemas sob pressão e em superfície livre, sendo a sua utilização mais comum em sistemas de abastecimento, de irrigação e para transporte de produtos químicos.

- **Polietileno de Alta Densidade (PEAD)** - As tubagens de polietileno de alta densidade (PEAD) adequam-se ao transporte de água em sistemas de abastecimento, de rega, captações e estações elevatórias, à drenagem de águas residuais e pluviais, a emissários submarinos, a estações de tratamento e ao transporte de produtos químicos agressivos ou de produtos sólidos.

▪ **Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro (PRFV)** – As condutas de poliéster reforçado a fibra de vidro (PRFV) adequam-se a sistemas de abastecimento de água, drenagem de águas residuais e de águas industriais, emissários submarinos e à reabilitação de tubagens, por aplicação destes tubos no interior dos existentes. Estas condutas permitem temperaturas de líquido até cerca de 90°C.

Por vezes torna-se necessário recorrer a acessórios de forma a corrigir adversidades na rede, tais como, mudança de direção, sentido, diâmetro, de material, entre outras. Existem dois tipos de acessórios: os acessórios de tubos, que permitem a ligação entre tubos, e os acessórios de rede, que contribuem para o bom funcionamento da rede, como seja, permitir o fecho de água, a redução de pressão, descargas de fundo, libertação de ar ou a utilização pública para incêndios, bebedouros, fontanários, bocas de rede.

Nestes dois grupos de acessórios destacam-se:

- Acessórios de condutas dos tubos: curva, cruzeta simples ou de redução, tê simples ou de redução, cone de redução, junta cega e filtros;



Figura 2.9 – Válvula de seccionamento (Saint-Gobain PAM, 2017)

- Válvulas de descarga utilizadas para o esvaziamento de troços de condutas e de partes de redes de distribuição. Devem colocar-se nos pontos baixos das condutas, entre válvulas de seccionamento, de modo a permitir a limpeza, desinfeção ou reparação;

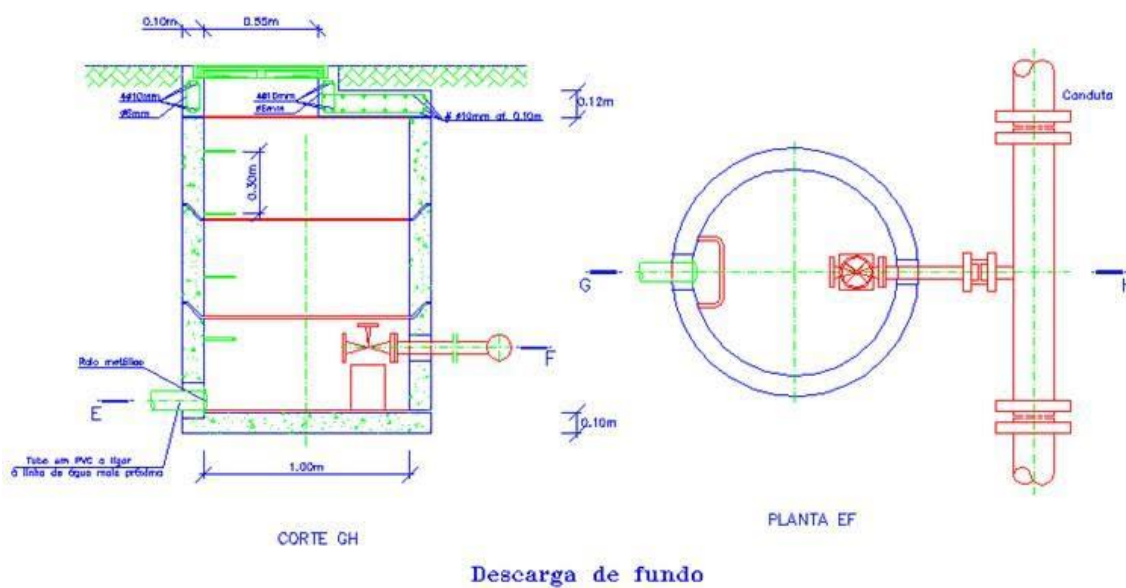


Figura 2.10 - Válvula de descarga (cedida por Professor Joaquim Sousa)

- Válvulas redutoras de pressão que controlam as pressões na rede dentro dos valores aconselháveis;



Figura 2.11 – Válvula redutora de pressão (Mankenberg, 2017)

- Válvulas de retenção permitem o escoamento num determinado sentido exercendo o bloqueio no sentido oposto;



Figura 2.12 – Válvula de retenção (Saint-Gobain PAM, 2017)

- Ventosas localizadas nos pontos altos destinadas à admissão ou expulsão de ar da conduta. As ventosas de três funções permitem (Saint-Gobain PAM, 20017):
 - A evacuação automática de grandes quantidades de ar durante o enchimento da conduta;
 - A degaseificação permanente;
 - Admissão de grande caudal de ar durante o esvaziamento da conduta, de forma a evitar que esta entre em depressão;



Figura 2.13 – Ventosa de 3 funções (Saint-Gobain PAM, 2017)

- Medidores de caudal e contadores domiciliários para medição e controlo dos caudais escoados na rede;



Figura 2.14 – Medidor de caudal eletromagnético (Tecnilab, 2017)

- Hidrantes – boca-de-incêndio e marcos de água para uso exclusivo dos bombeiros e serviços municipais;

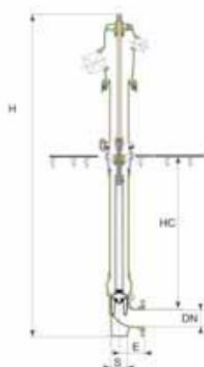


Figura 2.15 - Marco de incêndio (Saint-Gobin PAM, 2017)

3. PERDAS DE ÁGUA

3.1. Introdução

O volume de água não faturada é um dos problemas enfrentados pelas entidades gestoras já que implica perdas de dinheiro avultadas. Como indicado anteriormente, o balanço hídrico e os indicadores de desempenho caracterizam os resultados de uma determinada empresa. Elevados valores de água não faturada põem em causa a sustentabilidade financeira da EG. A água não faturada pode dever-se a perdas físicas, sendo aquelas em que se observam nitidamente as perdas de água, e as perdas aparentes (não físicas), as quais passam despercebidas, teoricamente. Desta forma, a EG procura encontrar e solucionar estes dois tipos de perdas recorrendo a equipas especializadas. Este trabalho é mais difícil em redes com maiores dimensões, pois requerem uma maior análise e estudo.

A análise e estudo efetuados deverão ser minuciosos, sendo necessário ter em conta determinados critérios, tais como a dimensão da comunidade servida, os valores da água que não são faturados e os investimentos previstos, existindo a necessidade de obter resultados nos primeiros anos (Poças Martins, J., 2012).

Um dos grandes desafios não será reduzir as perdas mas sim mantê-las constantes.

3.2. Componentes do balanço hídrico

No Quadro 3.1 está representada a forma de cálculo do balanço hídrico num ou mais subsistemas de abastecimento de água, seja redes de água não tratada, de adução ou de distribuição. A água não faturada e as perdas de água são calculadas através dos seguintes passos:

Passo 0: Definir os limites exatos do sistema, ou sector de rede a auditar e indicar as datas de referência (definindo um período de um ano).

Passo 1: Medir o volume de *água entrada no sistema* e inseri-lo na Coluna A.

Passo 2: Determinar o *consumo faturado medido* e o *consumo faturado não medido* e inserir na Coluna D; introduzir o total destes como *consumo autorizado faturado* (Coluna C) e como *água faturada* (Coluna E).

Passo 3: Calcular o volume de *água não faturada* (Coluna E) subtraindo a *água faturada* (Coluna E) à *água entrada no sistema* (Coluna A).

Passo 4: Indicar o *consumo não faturado medido* e o *consumo não faturado não medido* na Coluna D; registar o total em *consumo autorizado não faturado* na Coluna C.

Passo 5: Somar os volumes que correspondem ao *consumo autorizado faturado* e ao *consumo autorizado não faturado* da Coluna C; indicar o resultado como *consumo autorizado* (Coluna B).

Passo 6: Calcular as *perdas de água* (Coluna B) como a diferença entre a *água entrada no sistema* (Coluna A) e o *consumo autorizado* (Coluna B).

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do *uso não autorizado* e dos *erros de medição* (Coluna D), somá-las e anotar o resultado em *perdas aparentes* (Coluna C).

Passo 8: Calcular as *perdas reais* (Coluna C) subtraindo as *perdas aparentes* (Coluna C) às *perdas de água* (Coluna C).

Passo 9: Avaliar as parcelas das *perdas reais* (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais noturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas baseada em dados locais sobre o nível-base de perdas, etc.), somá-las e comparar com o resultado das *perdas reais* (Coluna C). (Almeida, R.(2006))

Quadro 3.1 - Componentes do balanço hídrico. (Almeida, R.(2006))

	A	B	C	D	E
Água entrada no sistema [m ³ /ano]	Consumo autorizado [m ³ /ano]	Consumo autorizado faturado [m ³ /ano]	Consumo facturado medido (incluindo água exportada) [m ³ /ano]	Consumo facturado não medido [m ³ /ano]	Água facturada [m ³ /ano]
			Consumo facturado não medido [m ³ /ano]		
	Consumo autorizado não facturado [m ³ /ano]	Consumo não facturado medido [m ³ /ano]	Consumo não facturado não medido [m ³ /ano]	Água não facturada (perdas comerciais) [m ³ /ano]	
		Consumo não facturado não medido [m ³ /ano]			
	Perdas de água [m ³ /ano]	Perdas aparentes [m ³ /ano]	Perdas reais [m ³ /ano]	Uso não autorizado [m ³ /ano]	
				Erros de medição [m ³ /ano]	
		Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]			
		Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]			
				Fugas nos ramaís (a montante do ponto de medição) [m ³ /ano]	

O balanço hídrico deverá ser calculado, sempre que possível, num período de 12 meses, já que representa a média anual, permitindo minimizar desfasamentos entre os intervalos de leituras dos diversos medidores de caudal.

3.3. Nível económico das perdas - NEP

O NEP tem como definição a situação em que o custo marginal do controlo ativo de perdas equilibra o custo marginal da água perdida, ou seja, situação em que o custo de redução de perdas em uma unidade de volume é igual ao custo de produção dessa unidade de volume de água.

O custo marginal da água, determinado pelo custo associado à origem da água mais cara da rede no caso de origens múltiplas, é o custo que seria economizado reduzindo o volume de água abastecida em 1m^3 . O custo marginal do controlo ativo de perdas é o preço (para um dado nível de perdas), de reduzir o volume perdido em 1m^3 . O NEP é o ponto em que as duas curvas dos custos marginais apresentam declives simétricos. A atingir este nível resulta na mais baixa combinação possível entre o custo das ações de controlo de perdas e o preço de água desperdiçada.

Na Figura 3.1 observa-se que, com o aumento das perdas reais, o custo total da água perdida aumenta, e os custos relacionados com o controlo ativo de perdas diminui, uma vez que o esforço necessário para manter níveis de perdas elevados é reduzido. Também é possível constatar o aumento exponencial do custo do controlo ativo de perdas com a redução do nível de perdas. O NEP corresponde ao mínimo da curva de custo global, obtida a partir da soma entre o custo com o controlo ativo de perdas e o custo da água perdida. Aplica-se tanto às perdas reais como às aparentes, sendo que qualquer nível diferente do NEP terá custos totais mais elevados (Alegre, et al., 2005).

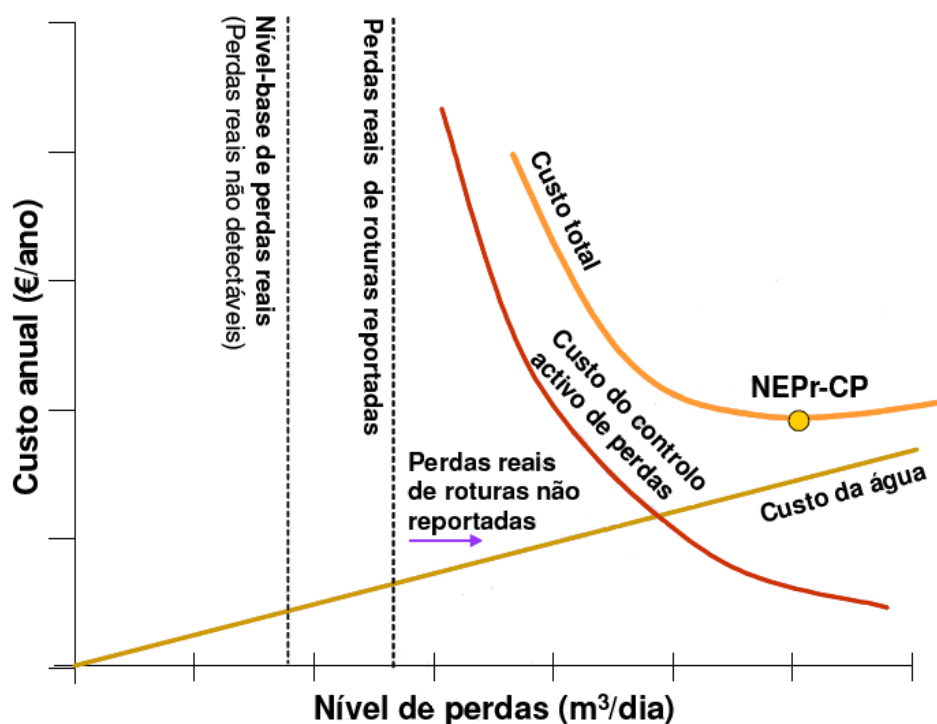


Figura 3.1 – Nível económico de perdas (Alegre, et al., 2005)

Relativamente às perdas reais, é importante avaliar o nível económico de perdas reais (NEPr). Os principais fatores locais que afetam este nível são:

- Custo de mão-de-obra;
- Custo da água;
- Pressão de serviço;
- Idade e estado de conservação das tubagens;
- Tipologia das roturas;
- Método utilizado para o controlo das fugas. (Alegre, et al., 2005)

O valor do NEPr varia de rede para rede, ao longo do tempo, da pressão de serviço, das técnicas de deteção e reparação de fugas, entre outros.

As estratégias a adotar em caso de necessidade de redução das perdas reais, bem como os parâmetros relacionados com o NEP encontram-se indicadas na Figura 3.2.

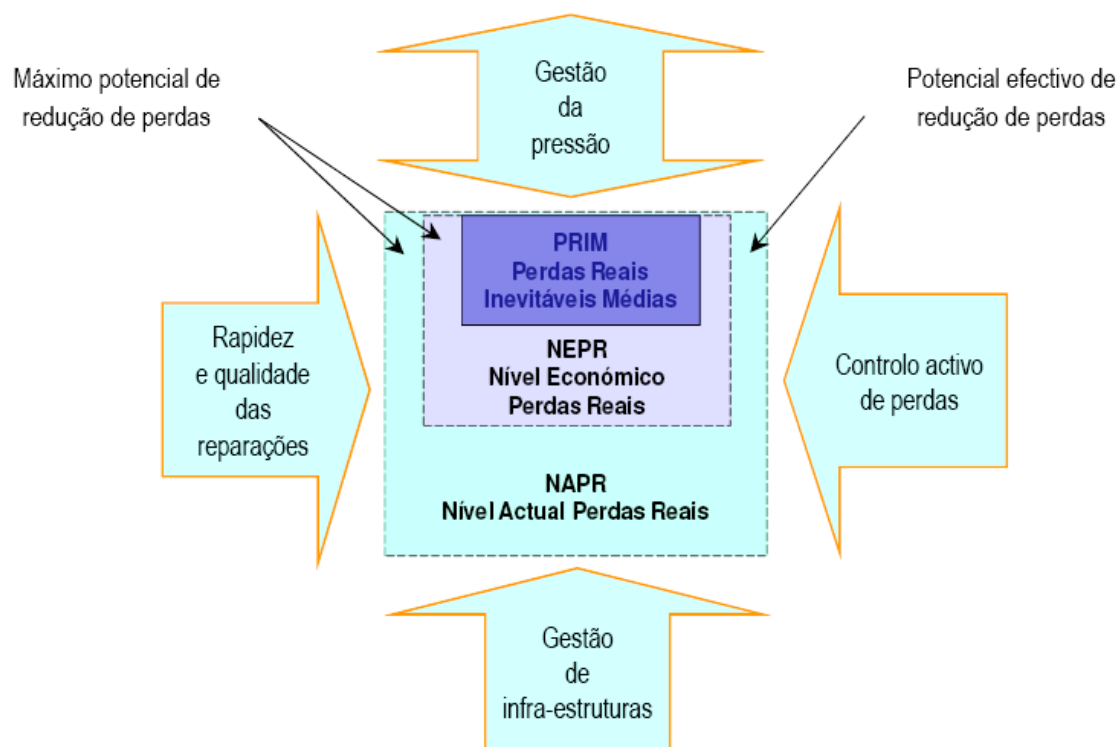


Figura 3.2 – Nível económico de perdas reais (NEPr) (ReCESA, 2007)

Há situações em que apesar de se apresentar um nível de perdas muito elevado (70% ou até superior) não há interesse na sua redução, pois os custos associados não compensam a posterior faturação. É o caso de sistemas antigos, abastecidos por gravidade, sem custos de captação, com abundância de água própria para consumo. Mesmo a registarem-se percentagens de perdas na ordem dos valores referidos anteriormente, a substituição e/ou reparação das condutas, que por vezes apresentam roturas com dimensões significativas devido ao mau estado de conservação, não são compensatórias. A principal preocupação neste tipo de situações prende-se com o fato de poderem existir infiltrações na rede que alterem as propriedades da água de tal forma que a coloquem num estado não próprio para consumo. Assim, acima de tudo é necessário executar um controlo assíduo das propriedades da água ao longo do tempo.

Por outro lado, há situações em que é possível e imperativo reduzir o nível de perdas para valores de 10% ou até inferiores. Para que se atinja o NEPr nestes casos é necessário proceder a investimento de valores avultados, o que não está ao alcance de todas as EG. Contudo, em caso de possibilidade, o atingir destes níveis é recompensado, conseguindo anular-se o valor do investimento a médio/longo prazo. Quanto maior o conhecimento da rede, tanto a nível de infraestruturas como de consumos padrão, mais rapidamente se atingirá o nível desejado de perdas, pois sabe-se, à partida, onde e como se deve atuar.

Estas duas situações são a prova de que o NEP depende, e muito, das características da rede, não existindo um valor único que sirva de base para todos os sistemas de abastecimento de água existentes.

3.4. Indicadores de desempenho

Medem a qualidade do sistema de abastecimento de água, permitindo atingir, manter e monitorizar os níveis de faturação de uma EG.

Segundo a IWA (*Internacional Water Association*), um indicador de desempenho é uma medida quantitativa de um aspeto particular do desempenho da EG ou do seu nível de serviço. É um instrumento de apoio à monitorização da eficiência e da eficácia da EG, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva. (IRAR, 2012). As EG são obrigadas a apresentar o estudo dos seus indicadores de desempenho anualmente, pelo menos dos mais importantes. Desta forma, é possível classificar o nível de cada EG e compará-las entre si. Os indicadores são, geralmente, adimensionais (expressos em percentagem) ou intensivos (expressam intensidade como por exemplo em €/m³). Os dados para os cálculos podem ser internos, gerados pela EG, ou externos (por exemplo, de acordo com o Guia do IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos).

Por forma a auxiliar o cumprimento dos objetivos da regulação, estão definidos três grupos de indicadores de qualidade do serviço:

- Indicadores que traduzem a adequação da interface com o utilizador permitem avaliar o serviço prestado em dois aspetos principais: a acessibilidade e a qualidade do serviço aos utilizadores;
- Indicadores que traduzem a sustentabilidade da prestação do serviço: analisam a sustentabilidade económica do serviço, a sustentabilidade infraestrutural e a produtividade física dos recursos humanos;
- Indicadores que traduzem sustentabilidade ambiental: avaliam os aspetos ambientais inerentes às atividades da EG ao nível da eficiência na utilização de recursos ambientais e da eficiência na prevenção da poluição.

Os indicadores (Quadro 3.2) podem tornar-se bastante úteis para as EG, pois, além de permitirem a monitorização dos efeitos das decisões de gestão, proporcionam uma base para respostas mais adequadas por parte dos gestores. Fornecem ainda informação relevante de suporte a uma atitude pró-ativa da gestão, em alternativa a uma atitude reativa, baseada nas disfunções aparentes dos sistemas.

Quadro 3.2 – Estrutura dos indicadores de desempenho (Alegre *et al.*, 2005)

Grupo de Indicadores	Código de Identificação
Indicadores de Recurso Hídricos	WR
Indicadores de Recursos Humanos	Pe
Indicadores Infraestruturais	Ph
Indicadores Operacionais	Op
Indicadores de Qualidade de Serviço	QS
Indicadores Económico-Financeiros	Fi

De seguida estão listados alguns dos mais importantes indicadores associados a uma EG, servindo de exemplo para o descrito anteriormente:

WR1 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%) – Perdas reais durante o período de referência / água entrada no sistema durante o período de referência *100

Pe1 – Empregados por ramal (n.º/1000 ramais) – Número total equivalente de empregados a tempo inteiro da entidade gestora / número de ramais *1000

Ph2 – Capacidade de reserva de água bruta (dias) – Capacidade de reserva de água bruta / água entrada no sistema durante o período de referência * duração do período de referência

Op4 – Controlo de fugas (%/ano) – (Comprimento de redes sujeito ao controlo ativo de fugas durante o período de referência * 365 / duração do período de referência) / Comprimento de condutas *100

QS3 – População servida (%) – População residente servida pela EG / população residente total * 100

Fi2 – Vendas (%) Proveitos de vendas / proveitos totais *100, durante o período de referência.

3.5. Perdas aparentes ou não físicas

As perdas aparentes dizem respeito à água que é efetivamente consumida mas que não é medida. Isto pode acontecer devido a erros no respetivo equipamento de leitura, ou ao consumo de água não autorizado.

São vários os fatores que influenciam as perdas aparentes, nomeadamente:

- consumo não autorizado:

- a existência de ligações ilícitas;
- o uso fraudulento dos hidrantes;

-
- os erros de medição que podem ser por:
 - erros de medição dos contadores em condições normais de medição;
 - erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação;
 - erros de leitura ou registo;
 - erros de medição por avaria (“natural” ou por violação do equipamento);
 - leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores (dentro das habitações) (Gonçalves et al., 2007).

3.5.1. Consumo não autorizado

3.5.1.1. Ligações ilícitas

A falta de civismo por parte dos consumidores leva ao uso abusivo da água criando o conceito de consumo não autorizado. Este consumo está associado a uma grande parte das perdas aparentes.

O consumo não autorizado passa pela alteração no funcionamento normal do contador, tendo como exemplos:

- Presença de agulhas nos contadores
- *By-pass* em paralelo ou em vez do contador
- Contadores instalados ao contrário
- Ramais clandestinos

Quando se trata de ligações clandestinas a água é consumida diretamente da rede de distribuição, não chegando a passar pelo contador. Por vezes, existe ainda o consumo de água em obras de pequena dimensão proveniente de bocas-de-incêndio nas proximidades.



Figura 3.3 – Ligação ilícita (cedida por AC, Águas de Coimbra, E.M e por Professor Joaquim Sousa)

3.5.1.2. Uso fraudulento dos hidrantes

Um dos problemas que as EG têm de resolver é o uso fraudulento dos hidrantes, visto ser frequente o enchimento de tanques de veículos para rega, ou a lavagem das ruas recorrendo aos marcos de incêndio, uso exclusivo dos bombeiros. À EG compete definir e implementar procedimentos para diminuir a ocorrência do uso fraudulento dos hidrantes, quer ao nível dos equipamentos quer ao nível de deteção de fraudes (Alegre, et al., 2005).



Figura 3.4 - Uso fraudulento dos hidrantes (apontamentos das aulas de Hidraulica Urbana)

3.5.2. Erros de medição

3.5.2.1. Erros de medição dos contadores em condições normais de medição

O erro de um contador é determinado pela diferença entre o valor indicado pelo contador, quando passa um dado volume de água, comparado com o valor considerado verdadeiro do volume dessa mesma água. Desta diferença obtém-se o “erro absoluto” da medição. Por outro lado, o valor do volume indicado é o resultado da diferença entre duas leituras (leitura inicial e leitura final) dos valores instantâneos apresentados no mostrador do contador. Os equipamentos, ao longo do tempo, por desgaste, perdem o rigor da medição, gerando erros de medição (Janz – Contagem e gestão de fluídos S,A.).

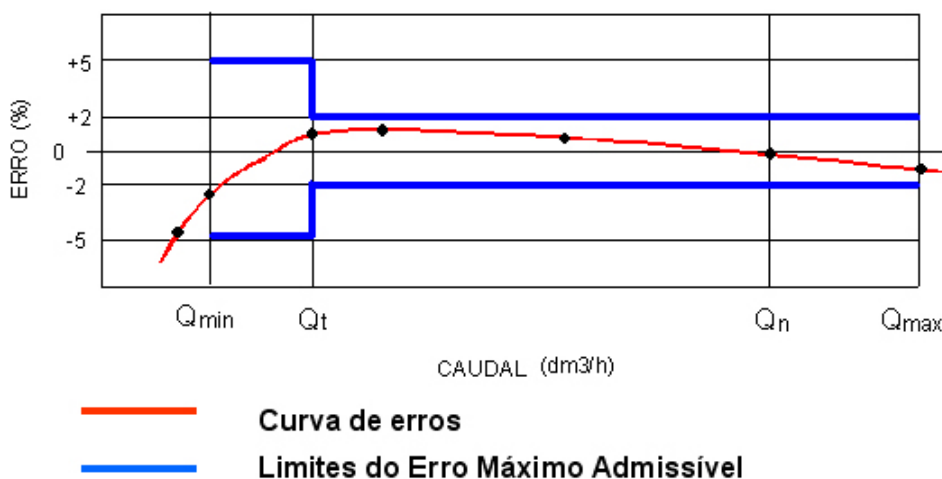


Figura 3.5 - Curva de erros característica de um contador volumétrico

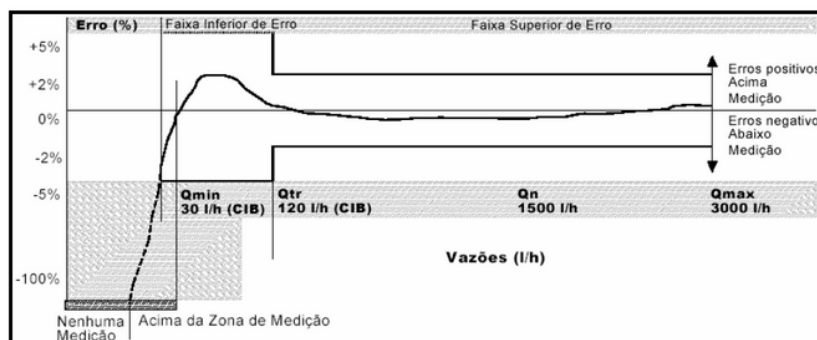


Figura 3.6 - Curva de erro típica para contador de velocidade de macromedição

O tempo de vida de determinado contador varia consoante a marca e o respetivo modelo. Geralmente varia entre doze a quinze anos podendo, no entanto, chegar aos vinte anos de idade. É natural que, ao longo do tempo, o contador proceda a uma subcontagem causada pelo desgaste da utilização. De notar que a água, na sua composição, pode conter elementos que vão potenciar o desgaste dos contadores. É de extrema importância ter em atenção às partículas em suspensão, tais como areias e outros grãos resultantes das reparações em ramais domiciliários, já que estas podem parar os contadores. A acumulação de calcários nos contadores também é frequente e, nos casos em que são usados apenas sazonalmente pode dificultar a rotação das peças móveis dos contadores que acabam por não contabilizar corretamente as voltas efetuadas. Isto conduz a ineficiência dos contadores (Rizzo A, Cilia J. (2005)).

A utilização de contadores com diâmetros sub e sobredimensionados é outro fator a ter em consideração. Geralmente utilizam-se diâmetros maiores devido às perdas de carga e ao possível aumento de consumos, contudo acabam por ser colocados diâmetros acima dos necessários e conseqüentemente pode ocorrer a subcontagem dos contadores. Esta subcontagem resulta do facto dos contadores trabalharem no limite inferior da sua escala de desempenho, provocando o desgaste do mesmo. Quando se verifica um subdimensionamento, a deterioração do contador pode verificar-se muito rapidamente. Apesar de, inicialmente, o contador apresentar elevada precisão, ocorre mais facilmente a rotura de peças devido à elevada pressão exigida pela água. Desta forma, o sobre ou subdimensionamento implicam uma elevada necessidade de dimensionar o contador por forma a colmatar estas situações (Arregui, et al., 2005).

“Como o valor do erro relativo é influenciado pelo valor do caudal ao qual esse erro é determinado, é usual fazer-se essa determinação em diversos pontos característicos dos caudais de funcionamento do contador, obtendo-se, assim, uma “curva de erros”.” (Janz, 2017).

3.5.2.2. Erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação

Numa situação de dimensionamento hidráulico errado utilizam-se contadores com diâmetros desadequados, o que afeta o erro de medição. Isto porque, na utilização de diâmetros muito superiores ao necessário o caudal de passagem aproxima-se do Q_{min} aumentando o erro de medição do contador. No caso de se tratar de um cliente de consumo médio elevado, torna-se prejudicial para a EG.

A deficiente instalação dos contadores pode afetar o seu funcionamento e conseqüente erro de medição (Alegre et al., 2005).

3.5.2.3. Erros de leitura ou registo

Devido ao crescimento tecnológico consegue-se aceder mais rápida e eficientemente à informação dos contadores. No entanto, ainda se recorre a técnicos (leitores cobradores) para o registo das leituras dos contadores através de um PDA ligado à base de dados dos clientes da EG. O PDA transmite informações sobre a morada associada a cada instalação, o tipo de tarifa e o período de tempo decorrido desde a última leitura. Este instrumento fornece igualmente os últimos registos retirados pelo leitor e pelo cliente. Desta forma é possível analisar situações de contador parado ou vandalizado, assim como eventuais roturas.

Os responsáveis pelas leituras dos contadores, ao inserirem as leituras, podem cometer erros, assim como o funcionário que descarrega esses dados. Cabe à EG averiguar e detetar os tipos de erros e suprimi-los, recorrendo a rotinas de trabalho e à realização de ações de formação. Deve proceder-se ao respetivo acerto da faturação do consumidor. Contudo, numa empresa que possuía um número muito elevado de clientes é natural que ocorram pequenos erros de leitura que se traduzem na emissão de faturas erradas.



Figura 3.7 – Registo de leitura (cedida por Professor Joaquim Sousa)

3.5.2.4. Erros de medição por avaria

A adulteração de contadores (Figura 3.8) é prática corrente. Tais situações devem ser monitorizadas e os leitores de contadores devem ter formação nesse sentido, com vista à sua identificação e reporte.

Periodicamente, deve-se efetuar a limpeza e manutenção do parque de contadores. Exemplo como os contadores vandalizados na Figura 3.9, em que não se consegue proceder às leituras, devem ser evitados.

A Portaria nº 21/2007, de 5 de janeiro, indica que a entidade gestora pode proceder à substituição do contador sempre que considere necessário, nomeadamente, devido à antiguidade de instalação ou falhas no seu funcionamento.

Podem também ocorrer erros de medição devido a causas naturais como o encravamento dos contadores, podendo, em casos mais extremos, ocorrer o bloqueio total da passagem de água por este equipamento. Estas ocorrências são consequência da ausência de manutenção.

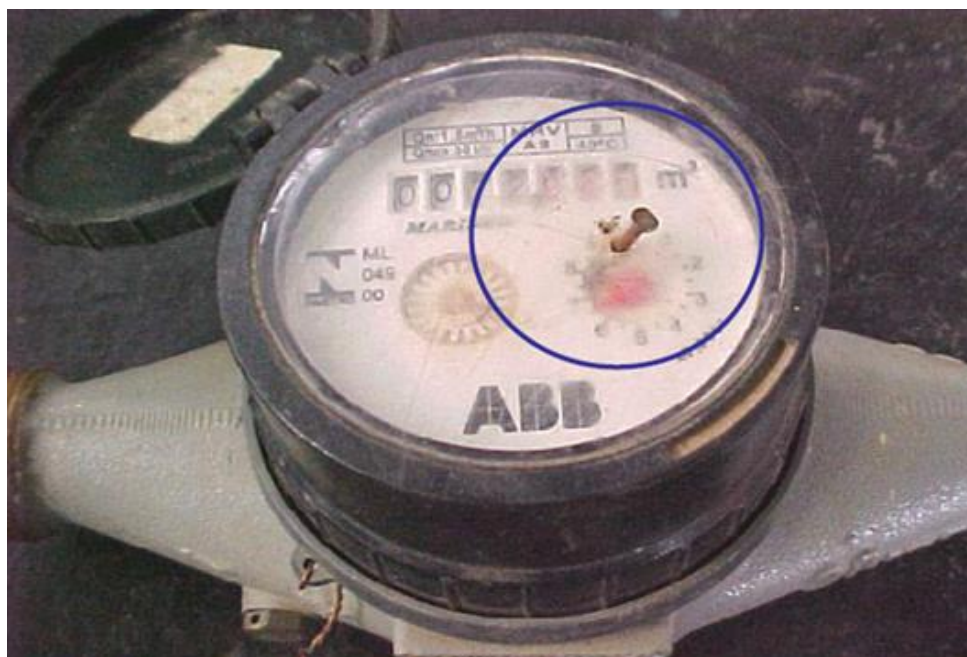


Figura 3.8 – Contador adulterado com recurso a agulhas (cedida por Professor Joaquim Sousa)



Figura 3.9 – Contador doméstico Vandalizado (cedida por Professor Joaquim Sousa)

3.5.2.5. Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores

Em algumas situações o contador encontra-se dentro da habitação, não sendo possível aceder ao contador para efetuar o registo das leituras. Com a ausência de dados referentes ao consumo do contador, recorre-se à estimativa para lançamento da faturação. Para sugere-se a utilização de sistemas de telemedição domiciliária (Temido et al, 2012).

O Decreto Regulamentar n.º23/95, de 23 de agosto, nos seus artigos 106.º e 107.º e anexo VI, define algumas normas sobre a instalação e localização dos contadores.

3.6. Perdas Reais

As perdas reais, também designadas de perdas físicas, podem ocorrer desde o ponto de entrega da água, por parte das entidades em alta, até ao contador do consumidor final. As perdas reais possuem diferentes origens, tais como, fissuras e extravasamento nos

reservatórios, fugas nas adutoras, fugas na rede, fugas na ligação ou roturas de condutas. (Gonçalves *et al.*, 2007)

Fatores que influenciam as Perdas Reais:

- O estado das condutas e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e de roturas;
- A pressão de serviço média, quando o sistema está pressurizado;
- A densidade e comprimento médio de ramais;
- A localização do medidor domiciliário no ramal;
- O comprimento total de condutas;
- O tipo de solo e as condições do terreno.

Os tipos de envelhecimento referidos no Guia Técnico nº 16 (ERSAR, 2010), estão relacionados com o desgaste que é sofrido pelos elementos infraestruturais do sistema de abastecimento de água, e são a causa para o aumento da frequência de roturas e, consequentemente, do volume de perdas de água. Referem-se:

- Desgaste natural dos materiais: com a passagem dos anos verifica-se a degradação e corrosão dos materiais, com a consequente perda de espessura e resistência mecânica. A corrosão tanto pode ser interna como externa, sendo a interna devida à acidez das águas e a externa à envolvimento de solos agressivos;
- Desgaste ou incrustação dos materiais resulta da acumulação de resíduos que, com o passar do tempo e devido à baixa velocidade de circulação da água, sedimentam no interior das tubagens. Esta sedimentação dos resíduos provoca a diminuição da secção nesse local. Poderá ocorrer em situações extremas o preenchimento integral do interior da tubagem, impedindo assim a água de circular. A Figura 3.10 apresenta a corrosão ocorrida em tubos de ferro galvanizado;
- Desatualização tecnológica: resultante do aparecimento de novos produtos, ficando os equipamentos mais antigos obsoletos. A Figura 3.10 ilustra uma tubagem em ferro galvanizado e cobre, materiais que caíram em desuso.

Também os ramais de chumbo, ou acessórios feitos com este material, têm vindo a ser substituídos por conferirem toxicidade e serem a causa de fugas.

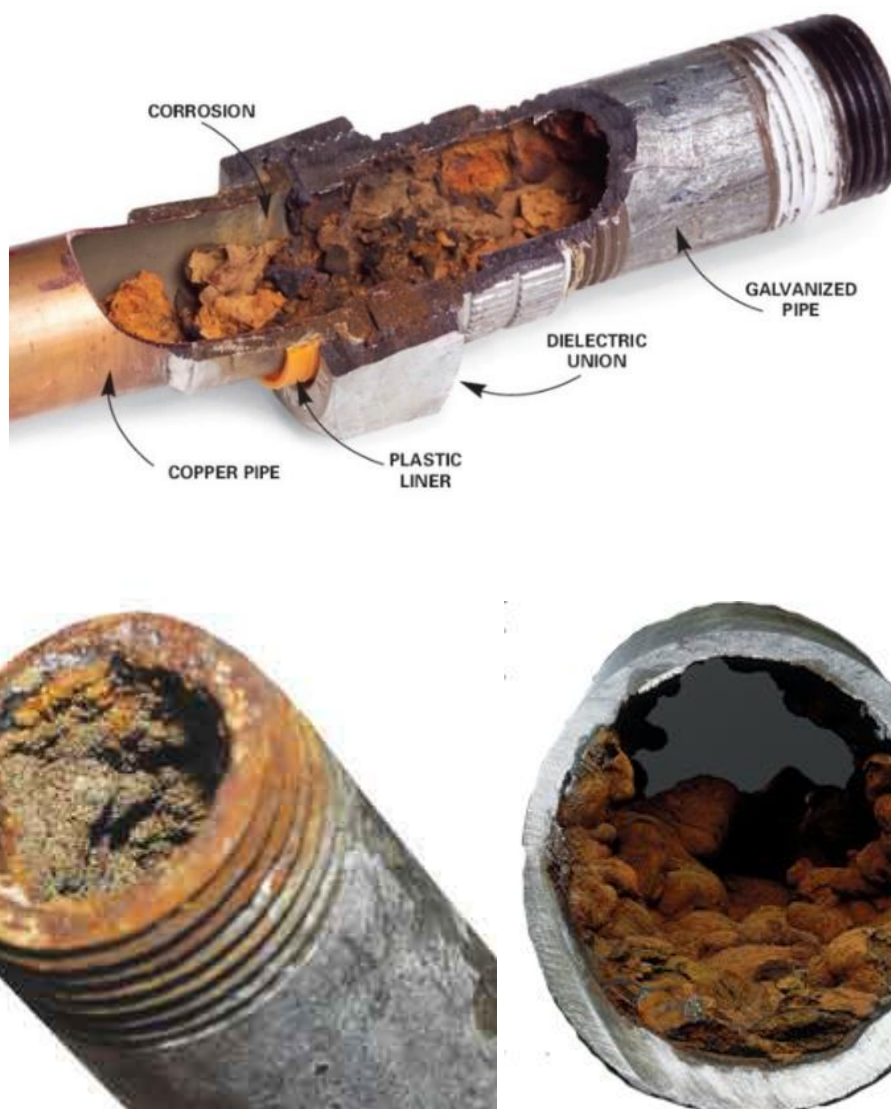


Figura 3.10 - Diferença do nível de corrosão entre tubagem galvanizada e cobre (Armstrong Plumbing, 2017)

O fibrocimento é um material que está a ser retirado e substituído por materiais com outras características mais inócuas. O problema apontado neste material é a ocorrência de roturas, consequência de assentamentos diferenciais. Além disso, o fibrocimento tem na sua constituição fibras de amianto, que representam perigo para a saúde pública, sobretudo pela inalação das fibras libertadas para o ar. Caso as condutas verifiquem bom estado de conservação e não sejam fragmentáveis, não constituem perigo para a saúde.

Muitas das roturas surgem em resultado de um elevado estado de degradação (Figura 3.11), má execução em obra ou má qualidade dos materiais, principalmente nos acessórios de ligação. Elevadas pressões no sistema podem também contribuir para o surgimento e aumento de roturas. Em redes antigas, com condutas envelhecidas, um aumento da pressão pode resultar no aumento do número de roturas que surgem num

curto espaço de tempo. Pelo contrário, uma pressão reduzida pode levar a uma redução da frequência de roturas. É possível localizar as fugas de água pela variação da pressão, uma vez que o aumento da pressão leva ao aumento do caudal de saída pelas roturas e tem efeito no ruído produzido por estas, sendo mais fácil identificar o local da fuga pelo método da auscultação.

O tipo de solo e as condições do terreno são particularmente relevantes, sobretudo no modo como se torna aparente, ou não, a ocorrência de roturas e fugas.



Figura 3.11 – Rotura na tubagem do ramal (cedida por Professor Joaquim Sousa)

As perdas reais de água provenientes de roturas são difíceis de detetar, por se encontrarem enterradas e fora da perceção da EG ou dos habitantes, pelo que exigem um grande esforço por parte da EG na sua localização. Apenas quando a água surge à superfície é relativamente simples de ser identificada a rotura.

A Figura 3.12 abaixo representa três classes de fugas de água, no entanto, estas podem ser agrupadas em quatro classes:

- Perdas inerentes ou perdas de base - são perdas de água não visíveis e não detetáveis por equipamentos de deteção acústica. Particularmente caracterizadas por caudais baixos mas grandes volumes, por escoarem permanentemente;
- Fugas e roturas não reportadas - a água não aflui à superfície, mas com a utilização de equipamentos acústicos as roturas são detetáveis. São caracterizadas por caudais médios, tendo uma duração dependente da frequência das campanhas de deteção realizadas, fator preponderante no seu volume;
- Roturas visíveis que afluem à superfície - sendo visíveis pela população que procede à sua comunicação. Por norma têm curta duração, caudais elevados e volumes de água moderados, por serem rapidamente identificadas e reparadas;

- Fugas e extravasamentos em reservatórios são também causas de perdas de água. Estas perdas são muitas vezes visíveis e têm uma duração dependente do tipo de manutenção que é realizada.



Figura 3.12 – Tipos de fugas de água (adaptado de ReCESA, 2007)

3.6.1. Perdas reais em condutas

As perdas de água em condutas e acessórios podem ter várias causas, como a falta de estanquidade nas juntas e uniões, nas válvulas e nos hidrantes e fissuração da tubagem (Figura 3.13). A falta de estanquidade dos constituintes da rede pode ter como origem a má qualidade dos materiais, a má colocação em obra ou mesmo a longa idade dos materiais. Pressões muito elevadas no sistema potenciam esta situação.

Na escolha da camada granular que envolve a tubagem deve-se ter especial atenção se existem rochas de arestas vivas, porque estas quando comprimidas contra a tubagem, podem causar a incisão do material, provocando problemas ao nível de roturas, fissuras nas tubagens.

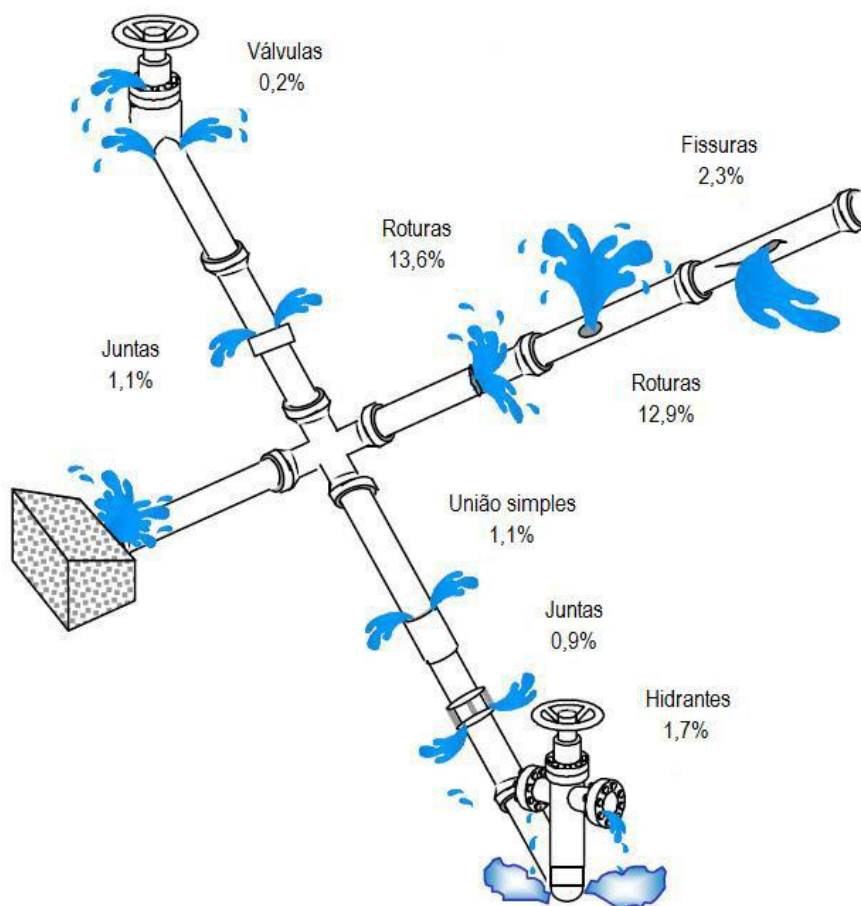


Figura 3.13 – Origens das perdas de água em condutas e acessórios (Alegre et al., 2000).

3.6.2. Perdas reais em ramais

Nos ramais de ligação, as perdas reais de água localizam-se na tubagem e nos acessórios de ligação conduta ramal, nos tês e nos joelhos (Figura 3.14). Os acessórios podem apresentar falta de estanquidade ou mesmo problemas de fissuração, uma vez que são por norma mais fracos, e com o passar dos anos apresentam danos. As válvulas junto ao contador podem também apresentar problemas de estanquidade.

Na tubagem do ramal, também ocorrem roturas pela falta de cuidado na escolha da camada granular, além da inadequada escolha das características e qualidade dos materiais que constituem a tubagem.



Figura 3.14 – Intervenção num ramal com o joelho danificado (cedida por Professor Joaquim Sousa)

3.6.3. Perdas reais em reservatórios

3.6.3.1. Fissuração

Os reservatórios são construídos em betão armado e, com o passar dos anos, os problemas de fissuração começam a surgir (Figura 3.15). A fissuração é um problema que está normalmente associado com as retrações derivadas à redução do volume do betão pela perda de água, e à ocorrência de assentamentos diferenciais que ocorrem por má execução ou má compactação do solo de fundação dos reservatórios (Alegre *et al.*, 2010).



Figura 3.15 – Fissura no reservatório (cedida por Professor Joaquim Sousa)

A fissuração tem como consequência a perda de estanquidade, possibilitando a passagem de água, agravando assim ainda mais a fissura existente. No caso das armaduras, a presença de cloro na água agrava a evolução da degradação. O cloro, é libertado para a atmosfera a partir do interior do reservatório, provocando assim a degradação nas faces interiores das paredes e da cobertura, caso a ventilação seja insuficiente (Alegre *et al.*, 2010). A manutenção dos reservatórios é então fundamental e dever-se-á realizar periodicamente.

3.6.3.2. Extravassamentos

Nos reservatórios, o nível de água é frequentemente controlado por boias de nível. Quando as boias dos níveis máximo e de emergência avariarem, as estações elevatórias não recebem as ordens de paragem. Caso as bombas continuem em funcionamento, a água em excesso que chega ao reservatório acabará por ser encaminhada para o exterior através das descargas de emergência que existem no topo dos reservatórios (Figura 3.16).



Figura 3.16 – Extravasamento do reservatório (Apontamentos das aulas de Hidráulica Urbana)

A água que é perdida por extravassamentos não é aproveitada novamente para o sistema de abastecimento, pelo que deve ser mantido um plano de manutenção regular a todos os reservatórios, acautelando assim estas perdas de água. Nos reservatórios elevados, os extravassamentos estão mais suscetíveis à crítica por parte dos habitantes, provocando uma má imagem da EG.

3.7. Medidas de Combate às perdas de água

3.7.1. Zonas de Medição e controlo

As Zonas de Medição e Controlo – ZMC consistem em dividir o sistema global em pequenas zonas controladas estabelecendo detalhadamente toda a informação pertencente a essas zonas.

O conhecimento do cadastro da rede de distribuição é fundamental para a criação da ZMC. Sem um bom cadastro o planeamento efetuado anteriormente pode não funcionar corretamente. Todas as entradas e saídas de água de uma ZMC devem ser controladas e o número de consumidores conhecido, conforme representado na Figura 3.17.

A nível económico-financeiro, o investimento inicial poderá ser elevado, caso o sistema não esteja pensado para a setorização em ZMC. Assim, será necessária a implementação de válvulas de seccionamento e a colocação de caudalímetros para o controlo de caudais e volumes de água.

Os caudalímetros mais utilizados são do tipo velocimétrico, eletromagnético ou ultrassónico. Em Portugal os contadores mais utilizados são os volumétricos. Os equipamentos quando agrupados com sistemas de telemetria ou telegestão admitem a aquisição remota de valores de volumes e de caudal.

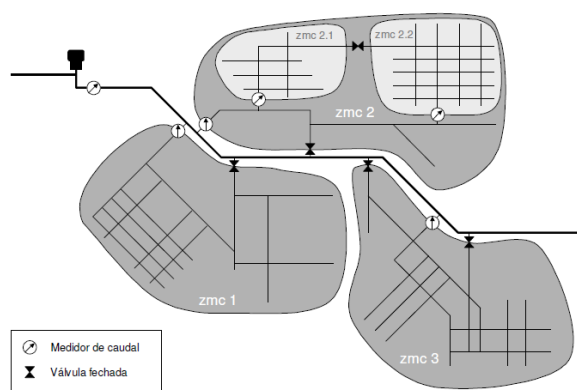


Figura 3.17 – Zonas de Medição e Controlo (Alegre et al., 2005)

O sistema de setorização compensará a médio / longo prazo e será muito eficaz, facilitando a recuperação e redução de perdas de água, focando os trabalhos apenas nas zonas críticas.

Relativamente ao dimensionamento e critérios de planeamento de ZMCs, segundo Farley e Martin (WRc, 1994) deverá admitir-se o limite máximo de 3000 ramais para zonas mais urbanizadas com predominância de moradias unifamiliares, pois acima deste valor o rigor pretendido com a medição zonada pode ser afetado negativamente. O valor

médio recomendado para este tipo de ZMC, é de cerca de 2000 ramais devidamente equipados com contadores (Alegre e Covas, 2010).

As ZMCs com grande número de ramais tornam-se pouco rigorosas, mas se a ZMC for de pequenas dimensões, pode não compensar os investimentos realizados em obras de construção civil e equipamentos adquiridos. O número mínimo aconselhável para este feito será de aproximadamente 500 ramais, deixando em aberto a tomada de decisão às entidades gestoras (Alegre e Covas, 2010).

As infraestruturas do sistema de abastecimento de água são por vezes muito extensas e não há a possibilidade de realizar um controlo diário dos caudalímetros. O uso de telemetria (Figura 3.18) facilita a reunião de informação sobre caudais, pressão, nível de água nos reservatórios e de qualidade de água nos pontos onde este sistema se encontra instalado, bem como o acionamento de alarmes (Alegre *et al.*, 2005), em locais por vezes em pontos remotos ou inacessíveis.



Figura 3.18 - Telemetria com recurso ao iWater 200 ISA

O sistema de telemetria está por vezes associado a um sistema de telegestão (Figura 3.19), sendo o seu funcionamento semelhante ao sistema de telemetria anteriormente referido, acrescentando-lhe a parte do controlo, ou seja, o operador consegue controlar o sistema à distância.



Figura 3.19 – Telegestão (Aquasis, 2017)

3.7.2. Localização de fugas

O processo de localização de fugas de água é realizado com recurso a equipamentos e procedimentos próprios, proporcionando uma localização aproximada, ou possibilitar uma localização exata do local da rotura. A localização aproximada permite apenas saber que num determinado troço de rede poderá haver indícios de possíveis roturas.

A localização exata fornece dados mais precisos sobre a localização da fuga, conduzindo ao local concreto da fuga.

3.7.2.1. Localização aproximada

3.7.2.1.1. Acelerómetros

Os acelerómetros permitem medir o ruído nas tubagens, sendo este um dos métodos possíveis para identificar os locais de rotura. A colocação dos acelerómetros (Figura 3.20) deve ser realizada de modo a que estes fiquem em contacto direto com a infraestrutura. Os acelerómetros são frequentemente instalados nos contadores dos clientes ou na rede de distribuição, mais precisamente em válvulas de seccionamento, bocas de incêndio, marcos de incêndio, ventosas e bocas de rega.



Figura 3.20 – Acelerómetros Primayer Phocos 2 (Primayer, 2017)

O acelerómetro grava o ruído da rotura durante a noite, pelo facto do ruído ambiente ser menor. Quanto mais perto estiver o equipamento da rotura maior será o nível de ruído gravado (Primayer, 2017).

3.7.2.1.2. Step test

O *step test* consiste na abertura e fecho de válvulas de secionamento, de forma a isolar pequenos setores da rede, permitindo a localização de roturas, como demonstrado na Figura 3.21.

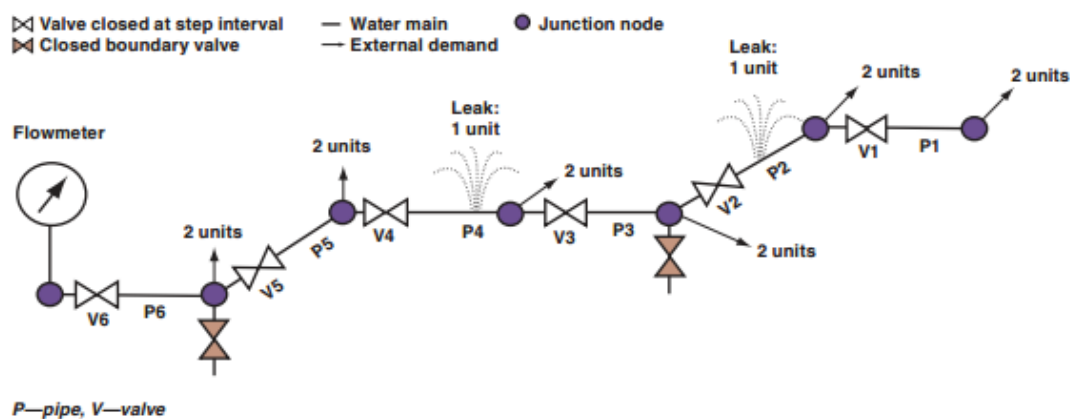


Figura 3.21 – Step test (AWWA, 2011)

Em cada passo (fecho de mais um setor da rede), o caudal que passa pelo caudalímetro é registado e comparado com o valor anterior, sendo a diferença de caudais registada (AWWA, 2011). Os registos obtidos servirão posteriormente para a construção de um gráfico, como demonstra a Figura 3.22.

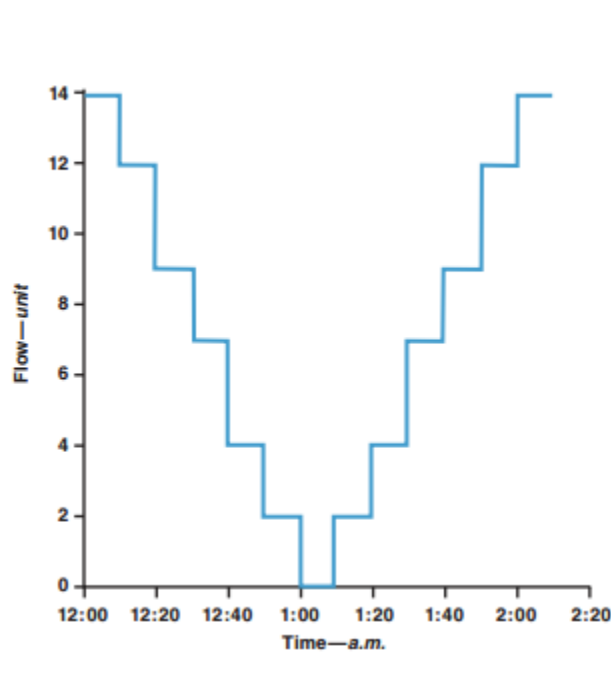


Figura 3.22 - Resultado do Step test (AWWA, 2011)

Para se saber em qual dos sectores se encontram roturas deverá determinar-se a diferença e a consequente análise das “quebras” de caudal registado logo após o fecho de cada válvula de seccionamento limitadora de cada setor. Quanto maior for a quebra registada em cada setor, maior será a probabilidade da presença de roturas nesse setor.

3.7.2.2. Localização exata

3.7.2.2.1. Geofone

O Geofone é um equipamento de sondagem de superfície, instalado diretamente acima da tubagem onde as características do solo o permitam. O ruído poderá ser mais ou menos audível, dependendo das características do solo e do pavimento acima da conduta e das características da própria rotura. O geofone (Figura 3.23) deverá ser utilizado quando o ruído ambiente for reduzido e quando a pressão hidráulica na tubagem for maior (horas de menor consumo de água), sendo estas condições mais propícias de serem alcançadas durante a noite.

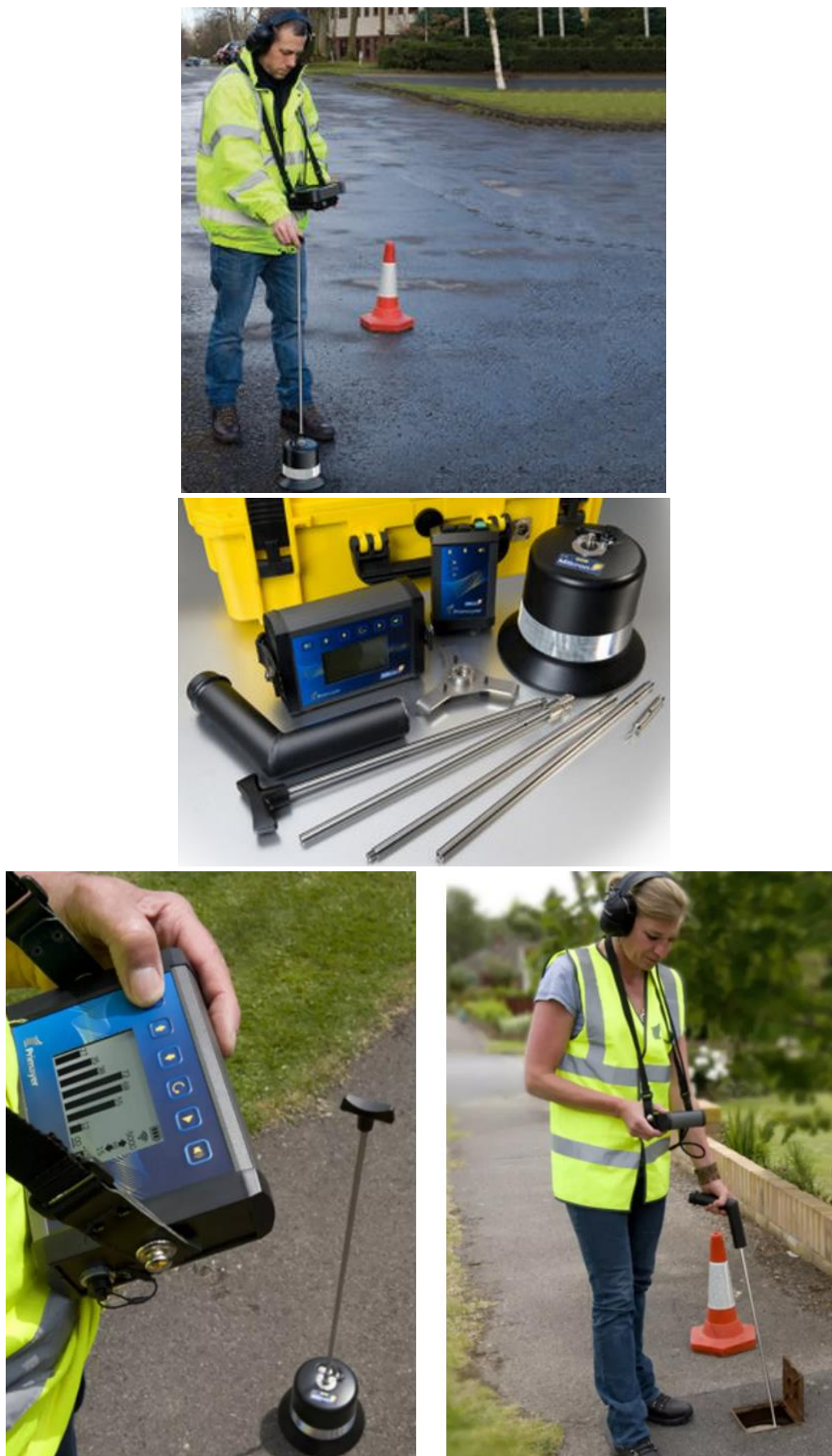


Figura 3.23 – Geofone Mikron da Primayer (Primayer, 2017)

O Geofone possibilita identificar o ruído que percorre através da água e pelas paredes das condutas, podendo auscultar-se através de acessórios junto ao contador, válvulas, bocas de rega, bocas de incêndio, marcos de incêndio ou ventosas (Primayer, 2017). Diferentes materiais têm diferentes características de propagação do ruído, sendo os materiais metálicos os melhores condutores das vibrações.

Numa primeira aproximação da localização da rotura utiliza-se a vareta de escuta, que apenas averigua pontos acessíveis da rede. (Alegre *et al.*, 2005).

3.7.2.2.2. Vareta de escuta

A vareta de escuta (Figura 3.24), é um equipamento acústico que serve para localizar roturas.



Figura 3.24 – Vareta de escuta Mikron da Primayer

3.7.2.2.3. Correladores

Os correladores (Figura 3.25) são equipamentos acústicos que permitem identificar, com precisão, o ponto onde se encontra a rotura na conduta. São colocados em válvulas ou acessórios metálicos, num troço de conduta. Através da correlação cruzada é calculada a diferença de tempo observada nos ruídos registados pelos dois acelerómetros (Alegre *et al.*, 2005).



Figura 3.25 – Correladores Eureka3 da Primayer (Primayer, 2017)

Com estes equipamentos é possível obter com alguma precisão a localização da rotura, através do cálculo da velocidade de propagação do som na conduta. O resultado deste ensaio deve ser confirmado com recurso a equipamentos de localização exata, como o geofone ou a vareta de escuta, localizando o ponto de maior ruído.

3.7.2.4. Correladores multiponto

Os correladores multiponto (Figura 3.26) funcionam de forma semelhante aos correladores, apenas divergem no maior número de aparelhos que são usados, conferindo assim uma maior abrangência da área em estudo. Os correladores multiponto permitem uma melhor aproximação do local da rotura.



Figura 3.26 – Correladores multiponto (Primayer, 2017)

Ao existirem mais pontos de escuta, o cálculo da velocidade de propagação inclui uma maior quantidade de dados, resultando num valor mais fiável.

3.7.2.2.5. Hidrofonos

Os hidrofonos (Figura 3.27) são utilizados em contato direto com a água, possibilitando assim a captação de sons que se propagam através da água. Os hidrofonos podem ser colocados em bocas de rega, bocas de incêndio, marcos de incêndio e também em torneiras, caso seja necessário.



Figura 3.27 - Colocação do hidrofone num marco de água

Os hidrofonos, pelas suas características, apresentam uma elevada sensibilidade, especialmente na banda de frequências mais baixas (<300 Hz), o que torna este equipamento apropriado para a correlação em condutas de plástico, condutas com uma longa distância ou de maior diâmetro (Vivax metrotech, 2009).

3.7.2.2.6. SmartBall

A SmartBall (Figura 3.28) consiste na introdução de uma pequena bola na conduta equipada com um sensor acústico de alta sensibilidade, apta a escutar o ruído produzido pelas roturas e a localizá-las. Depois de inserir o equipamento, este percorre a rede impulsionado pela água, enquanto vai guardando informação referente às roturas identificadas.



Figura 3.28 - SmartBall e rede de captura (apontamentos das aulas)

A seleção do diâmetro da SmartBall tem por base diversos critérios, tais como, o diâmetro da conduta, localização das válvulas e do próprio traçado da rede. É recomendável uma dimensão para o equipamento inferior a um terço do valor do diâmetro da conduta a ser inspecionada. Aquando da realização do ensaio, a SmartBall deverá ser retirada com o auxílio de uma pequena rede, como se verifica na Figura 3.12.

3.7.2.2.7. Sahara

O equipamento Sahara (figura 3.29), nas condutas de grande diâmetro a localização da rotura é identificada através do ruído (segundo a WRc, condutas com mais de 100 mm de diâmetro).

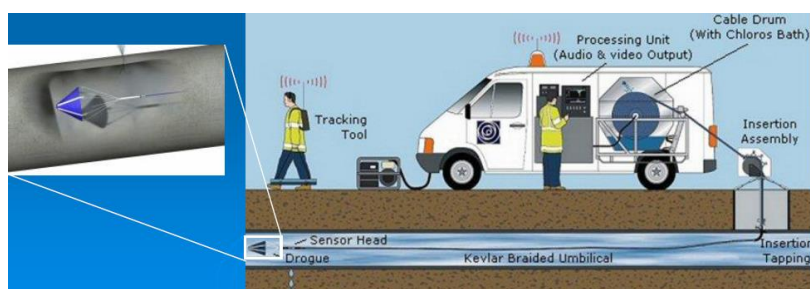


Figura 3.29 – Sahara (apontamentos das aulas)

O equipamento Sahara usa um sensor acústico para localizar o ruído gerado pela água em pressão que sai pela tubagem através das roturas ou fugas. Este sensor, após ser introduzido na conduta, desloca-se com a corrente ajudado por um pequeno para-quedas que o impulsiona. À superfície o operador transporta um dispositivo de rastreamento que permite saber a posição exata do sensor no interior da conduta. Caso se detete uma rotura audível, esta é identificada e localizada pelo operador do sistema presente na carinha (WRc, 2017).

4. O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA EMPRESA ÁGUAS DE COIMBRA

A AC, Águas de Coimbra, E.M. é uma empresa municipal, constituída a 24 de maio de 2003, cujo capital social é detido, na sua totalidade, pela Câmara Municipal de Coimbra. A empresa dá continuidade à atividade do Serviço Municipalizado de Água e Saneamento de Coimbra (SMASC), no seguimento do Serviço Municipalizado de Coimbra (SMC), cuja actividade remonta às primeiras décadas do século XX.

A AC, Águas de Coimbra, E.M. tem por objeto a satisfação de necessidades básicas no domínio do abastecimento público de água e saneamento de águas residuais urbanas. (Relatório de contras 2015 da AC, Águas de Coimbra, E.M.)

A área geográfica total abrangida é, genericamente, a correspondente ao concelho de Coimbra, composto por 31 freguesias (Figura 4.1), ocupando uma área de aproximadamente 320 km².



Figura 4.1 – Concelho de Coimbra

A cidade de Coimbra situa-se na parte central do concelho (representado na Figura anterior), e apresenta uma área de 58,7 km² (cerca de 18% da área total do concelho) e uma população residente em 2011 estimada em 60% da população concelhia, o que corresponde a uma densidade populacional de cerca de 1517 hab./km².

Com base nos Censos para o ano de 2011, a população residente no concelho de Coimbra é de 148.443 habitantes, a que corresponde a uma densidade populacional de aproximadamente 464 hab./km² no mesmo ano, o número total de clientes do serviço de abastecimento de água foi de 83300, dos quais 73968 eram clientes domésticos, enquanto o número total de utilizadores do serviço de saneamento foi de 79055.

A AC, Águas de Coimbra, E.M., dispõe de significativos recursos infraestruturais, dos quais se destacam os cerca de 1.193 km de rede de distribuição do abastecimento de água, 54 reservatórios e 36 estações elevatórias, que asseguram taxas de cobertura dos serviços de abastecimento de água de 100%.

Relativamente aos volumes de água faturados a clientes, registou-se em 2015 a estabilização do número de clientes face ao ano anterior. Contudo, verificou-se que os volumes de água fornecidos em 2015 aumentaram 1,42%, em comparação com os observados em 2014.

Actualmente, o cadastro de rede encontra-se já convenientemente detalhado. Ao longo dos últimos anos, o cadastro tem vindo a ser introduzido no programa de sistema de informação geográfica (SIG), sendo atualizado e devidamente georreferenciado, mas considera-se ainda a necessidade de ser aperfeiçoado. Uma rede bem cadastrada e bem conhecida permite tornar as respetivas intervenções mais eficientes e mais rápidas do que intervenções numa rede desconhecida.

Um dos maiores desafios que a AC, Águas de Coimbra, E.M. enfrenta é a reabilitação das infraestruturas existentes e a implementação de novas e melhores tecnologias, tais como equipamentos de telegestão, SIG completo com informação do cadastro, equipamentos de monitorização, entre outros.

A empresa viu já o seu trabalho reconhecido com uma Menção honrosa – ENCONTRO NACIONAL DE ENTIDADES GESTORAS DE ÁGUA E SANEAMENTO (ENEG) 2015, tendo sido pela quinta vez consecutiva a empresa mais bem posicionada no sector da água, no índice Nacional de Satisfação de Clientes – ECSI Portugal.

4.1. Captação e tratamento da água

A Ac, Águas de Coimbra, E.M. responsabiliza-se pelo abastecimento em baixa da rede de distribuição de água dos reservatórios municipais até ao consumidor final.

O abastecimento em alta é efetuado pela empresa Águas do Centro Litoral (AdCL) (Figura 4.2), estando responsável pelo tratamento e fornecimento de água aos reservatórios dos municípios. É nas suas infraestruturas que a AdCL faz o correto tratamento da água para consumo humano.

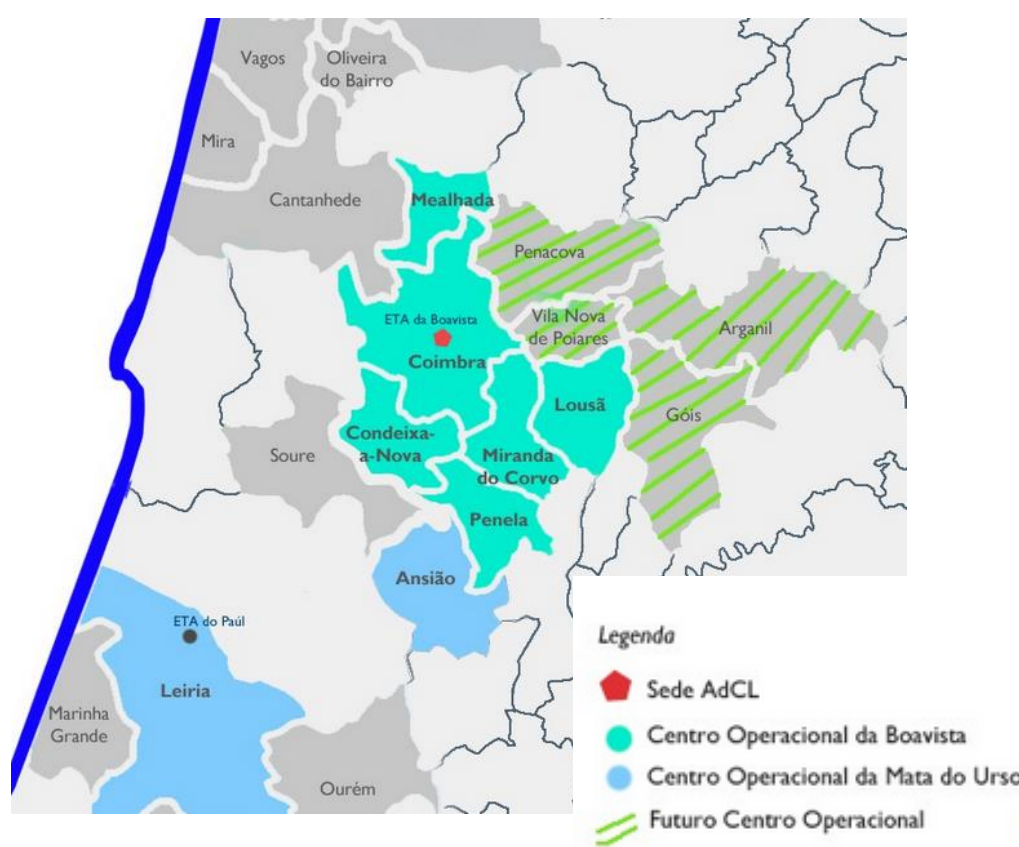


Figura 4.2 - Mapa das zonas abastecidas pela AdCL.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) da Boavista, representada em fotografia aérea (Figura 4.3), está em funcionamento desde 2010 e permitiu substituir as captações ali instaladas desde 1969. Esta ETA está, dimensionada para servir as populações dos municípios de Coimbra, Miranda do Corvo, Mealhada, Condeixa-a-Nova, Lousã e Penela.



Figura 4.3 - ETA da Boavista

4.2. Qualidade da água

A empresa Ac, Águas de Coimbra, E.M. integrou o Programa do Controlo de Qualidade da Água (PCQA), aprovado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). No âmbito deste Programa, efetuaram-se 414 amostras em torneiras de consumidores nas 3 Zonas de Abastecimento existentes: Boavista, Olhos de Fervença e Quinta das Cunhas, num total de 2666 análises. Para além deste programa, a AC, Águas de Coimbra, E.M. preparou e colocou em prática um Plano de Controlo Operacional (POC) com o objetivo de avaliar e controlar a qualidade da água na rede geral de distribuição de água, o que implicou a realização de amostras em diversos locais da rede pública de abastecimento de água (bocas de incêndio e reservatórios) e em torneiras de consumidores.

Para além das amostragens e análises planeadas, foram ainda realizadas outras por diversos motivos, nomeadamente para o acompanhamento e verificação de incumprimentos e valores anómalos, em sequência de solicitações e reclamações da qualidade da água, da verificação da eficácia da desinfeção de condutas novas de abastecimento de água antes da sua colocação em serviço, entre outros.

De acordo com o método de cálculo preconizado pela ERSAR para a obtenção do valor de cumprimento de valores paramétricos da norma de qualidade da água para consumo humano, a AC, Águas de Coimbra, E.M. obteve, em 2015, 99,45% de análises (efetuadas em torneiras de consumidores) em conformidade com o Decreto Lei nº

306/2007, de 27 agosto. Relativamente ao PCO, de realçar os valores anómalos no que diz respeito aos parâmetros de manganês e ferro, relacionados respetivamente com as características naturais (hidrogeológicas) da origem de água e a migração dos materiais de construção da rede de distribuição, em particular nos pontos de colheita.

No Gráfico 4.1, que se apresenta de seguida, ilustra-se a percentagem de análises em incumprimento do Valor Paramétrico (VP) por parâmetro (PCQA/PCO).

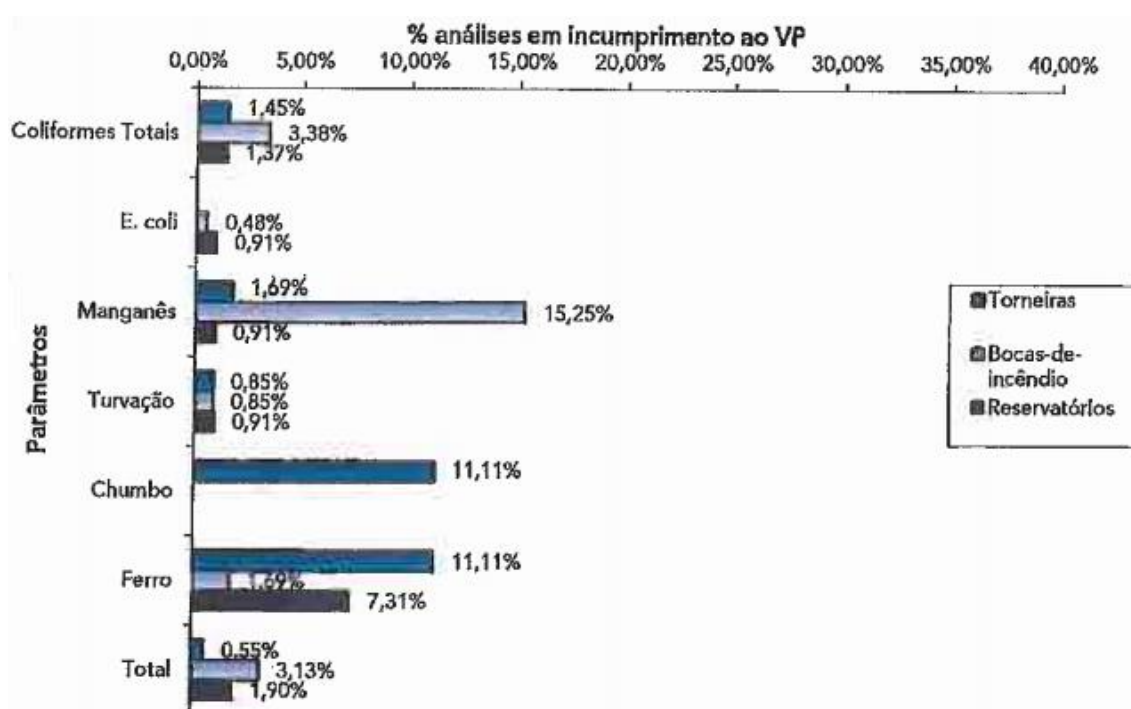


Gráfico 4.1 - Percentagem de análises (Relatório de contas 2015 da AC, Águas de Coimbra, E.M.)

Por forma a evitar a degradação dos níveis de qualidade e promover a renovação de água, a AC, Águas de Coimbra, E.M. realizou, no âmbito do seu Plano de Descargas de Água, um total de 610 Pedidos de Serviço, no respetivo período em análise. Estes pedidos de serviço foram realizados nos pontos de cota mais baixa, e nas extremidades de rede geral de distribuição de água, onde podem surgir acumulações de biofilme e sedimentos.

4.3. Reservatórios

Os reservatórios são estruturas extremamente importantes, podendo ser apoiados ou elevados, consoante as necessidades de pressão nas redes. O respetivo volume e capacidade de armazenamento deverá, permitir abastecer a rede a jusante por várias horas, sem que haja entrada de água no reservatório. A rede de distribuição da AC, Águas de Coimbra, E.M. contém 54 reservatórios, com uma capacidade total de

armazenamento de 21897 m³, sem contabilizar a reserva efetuada nos reservatórios da AdCL.

De um modo geral, os reservatórios elevados, devido à sua elevação e respetiva estrutura, contêm uma capacidade de armazenamento de água inferior à dos reservatórios apoiados. Desta forma, está influenciada negativamente a sua autonomia, a qual está associada às propriedades do reservatório, estado de conservação e características da rede a jusante (número e tipo de consumidores e perdas de água).

4.4. Materiais

A rede de distribuição de água destina-se a transportar e distribuir água através de condutas em boas condições de funcionamento hidráulico.

O material mais usado na rede de abastecimento de água do conselho de Coimbra é o PVC. No entanto, material como o Ferro Fundido Dúctil (FFD) está também presente nas condutas, mas em quantidades inferiores às do PVC. O Fibrocimento tem vindo a ser substituído por outros materiais, uma vez que a sua fraca qualidade é causa de roturas.

Mais recentemente, a AC, Águas de Coimbra, E.M. no seu investimento na reabilitação das redes de distribuição, tem optado por PEAD em algumas zonas.

4.5. Intervenções na rede de distribuição em 2015

Conclusão de obras iniciadas antes de 2015:

- Remodelação da rede de abastecimento de água em várias zonas do concelho de Coimbra – 5º fase (sistema Inferior) - Parte B
- Remodelação da rede de abastecimento de água em várias zonas do concelho de Coimbra – 6º fase (sistemas de sistemas de Pinhal de Marrocos, S. Clara, Alto dos Barreiros, Cernache e Cruz de Morouços).
- Remodelação da rede de abastecimento de água em várias zonas do concelho de Coimbra – 7º fase (sistema de Ingote/ Lordemão / Brasfemes/ Alto dos 5 Reia, Adémia, Chão do Bispo);
- Reabilitação do reservatório de Almalaguês torre;
- Reforço do abastecimento de água ao setor noroeste do concelho de Coimbra – troço entre Espertina e Antuzede.
- Melhoria das condições de segurança em instalações de abastecimento de água – 2º fase

Continuação da execução das obras consignadas anteriormente a 2015:

- Remodelação da rede de abastecimento de água no sistema de Ceira.

Obras consignadas em 2015, cuja execução continuou em 2016:

- Reabilitação pontual de condutas em diversos locais de Coimbra e da conduta de abastecimento ao HUC;
- Reforço da setorização do sistema de abastecimento de água – Construção de 19 novos pontos de medição.

A extensão da rede de água no final de 2015 era de 1193 km, dividida por 62 Zonas de Medição e controlo. O número de ramais de água era de 43 870. O número de instalações localizadas geograficamente era de 91946 (82778 com contrato ativo). O número de reservatórios geridos pela AC, Águas de Coimbra, E.M. era de 54. As estações elevatórias de água, onde se incluem hidropressores eram 36. O número de câmara de perda de carga era de 21, e de válvulas redutoras de pressão era 97.

Em 2015 registou-se uma diminuição das intervenções imprevisíveis na rede de abastecimento de água, que se considera resultado do investimento da empresa na manutenção preventiva e nas remodelações das redes de águas nos anos anteriores.

O gráfico 4.2 apresenta a evolução temporal do número de roturas em condutas da rede pública de abastecimento de água. (Relatório de contas 2015 da Ac, Águas de Coimbra, E.M.)

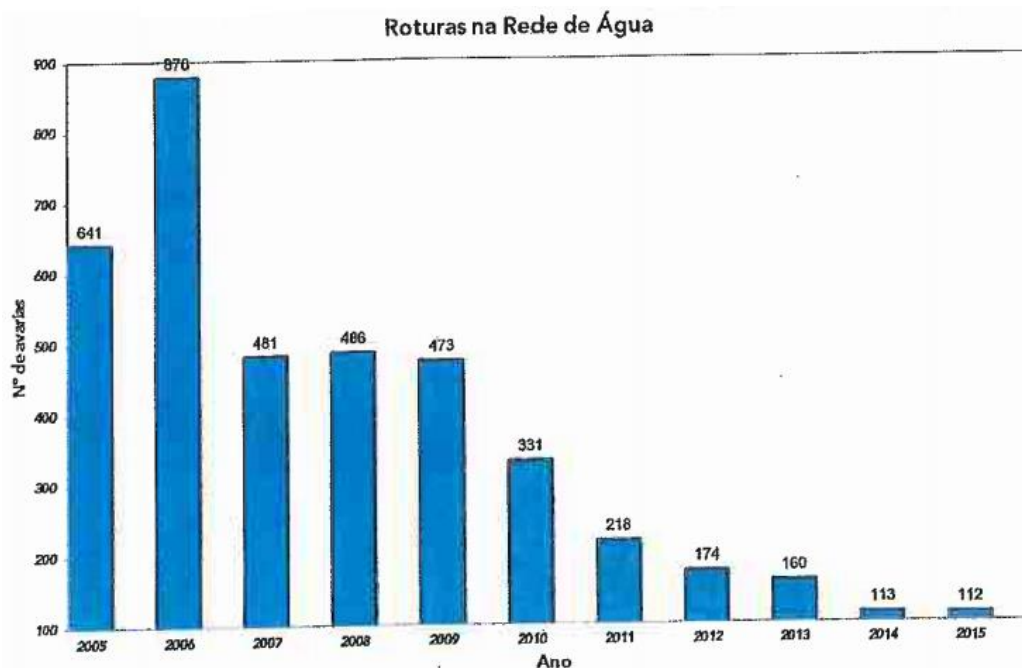


Gráfico 4.2 - Evolução temporal do número de roturas (Relatório de contas 2015 da AC, Águas de Coimbra, E.M.)

4.6. Estudo da ZMC – Ceira II

4.6.1. Introdução

Todos os consumos são medidos e corretamente registados, sejam eles faturados ou não, à exceção da utilização da água por parte dos bombeiros a partir dos hidrantes e bocas-de-incêndio. Deste modo, o volume de perdas será apurado relacionando o valor mensal do volume de água que passa pelo contador de cada ZMC (água de entrada), com os respetivos consumos autorizados medidos. Estes dados fornecem também indicadores importantes para a caracterização das mesmas zonas de medição.

Com recurso à telemetria efetua-se uma análise mais rigorosa, de forma a analisar os valores dos caudais noturnos.

Uma boa intervenção deverá ser rápida e eficaz, gastando o mínimo de recursos possível. Nesse aspeto, dependendo de vários fatores, valores elevados de caudal mínimo noturno podem ser indicadores de roturas em maior número e dimensão.

Na empresa AC, Águas de Coimbra, E.M., o controlo das perdas reais é realizado com recurso a equipamentos acústicos tais como acelerómetros (também conhecidos por *loggers* acústicos), vareta de escuta e geofone. É também realizado, quando necessário, o teste à presença de cloro através do respetivo kit.

4.6.2. Descrição do estudo da ZMC

O estudo consiste na análise de uma rede de distribuição abastecida pelo reservatório de água Ceira II (Figura 4.4), o qual abastece uma área residencial, zona de pouca agricultura. Este reservatório está ligado ao sistema de telegestão da AC, Água de Coimbra, E.M. através do qual se monitoriza o caudal à saída registando os seus valores a cada minuto.



Figura 4.4 – Reservatório Ceira II

O objetivo é controlar e diminuir o caudal de perdas no sistema. O caudal médio de perdas (Caudal Mínimo Noturno) no início do estudo tinha um valor aproximado de 6 m³/h. No gráfico 4.3 estão registados os caudais noturnos da rede. Supondo que as perdas de água são constantes ao longo do ano, uma rotura de 6 m³/h conduz a um volume de água perdida anualmente de aproximadamente 50.000 m³.

No Quadro 4.1 apresentam-se os elementos que constituem a rede do reservatório Ceira II, os diâmetros existentes e o respetivo comprimento. Fazendo referência aos materiais existentes, o predominante é o PVC sendo que em alguns troços é utilizado o PEAD. A rede de distribuição foi construída em 1993 apresentando já 22 anos de existência.

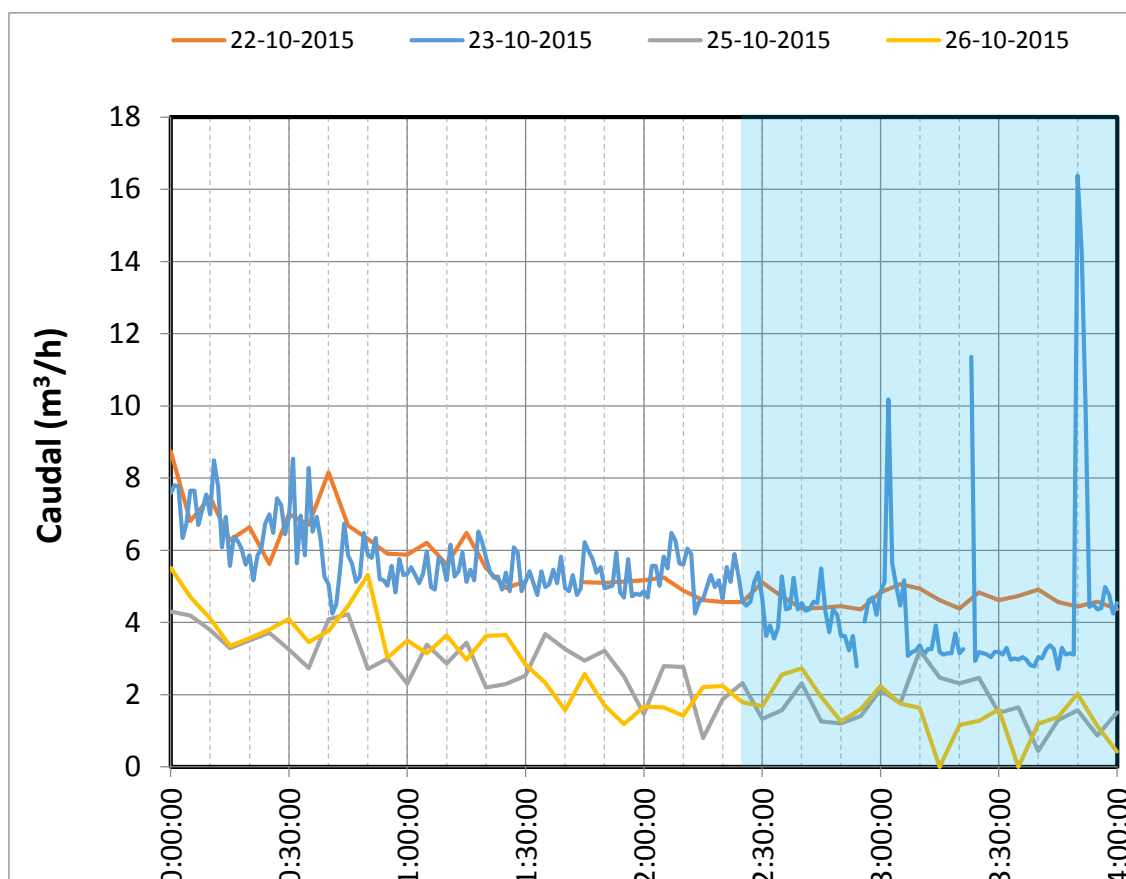


Gráfico 4.3 - Caudais noturnos da rede

No gráfico 4.3 apresentam-se os caudais do dia anterior aos fechos (22-10-2015) e do dia dos fechos (23-10-2015), assim como de dois dias após a reparação das roturas encontradas (25-10-2015 e 26-10-2015).

Quadro 4.1 - Elementos que constituem a rede

Diâmetro	Comprimento (m)
ø63	3.940
ø90	2.500
ø110	260
ø125	90
Aproximadamente 340 ramais	

Analisando os caudais à saída do reservatório, verifica-se um aumento do consumo no fim-de-semana, situação já prevista dado, o permanecer de grande parte da população nas respetivas habitações neste período, além de ser geralmente nesta altura da semana em que as pessoas colocam as máquinas de lavar em funcionamento e procedem à limpeza das suas casas. Ao longo do dia, os maiores consumos ocorrem nos períodos compreendidos entre as [8,9] h, as [11,14] h e as [20,22] h, o que também já seria de

esperar, pois correspondem às horas de refeição e práticas de higiene, ambas as atividades consumidoras de água.

Este trabalho tem de ser realizado durante a noite, das 2h às 4h, de modo a que qualquer alteração significativa de caudal seja indício da presença de uma fuga.

Numa fase posterior, efetuou-se o fecho progressivo de válvulas, identificando assim algumas fugas, através das variações bruscas nos valores de caudais coincidentes com o fecho das válvulas.

Nesta fase do trabalho, estudou-se a zona ao pormenor, visto ainda continuar a ser uma zona bastante crítica, apesar de já se ter elaborado uma campanha de fechamentos progressivos de válvulas. A metodologia usada para o estudo consistiu em fechar a válvula previamente selecionada e, passados alguns minutos, voltar a abrir essa mesma válvula.

Analisou-se a rede de distribuição (figura 4.5) para localização aproximada da zona onde correm as fugas.

Na segunda fase, após a localização aproximada das zonas onde ocorrem as fugas, a metodologia utilizada foi a sondagem acústica com recurso ao geofone e à vareta de escuta.

O primeiro fecho geralmente realiza-se à saída do reservatório durante 5 minutos de pausa, após os quais efetua-se a abertura da válvula; este fecho serve de controlo e também para verificar o estado do caudalímetro, se não tinha qualquer problema, serve de referência da hora de começo, no nosso caso não realizou o fecho próximo do reservatório por se ter a certeza que o caudalímetro está em bom funcionamento.

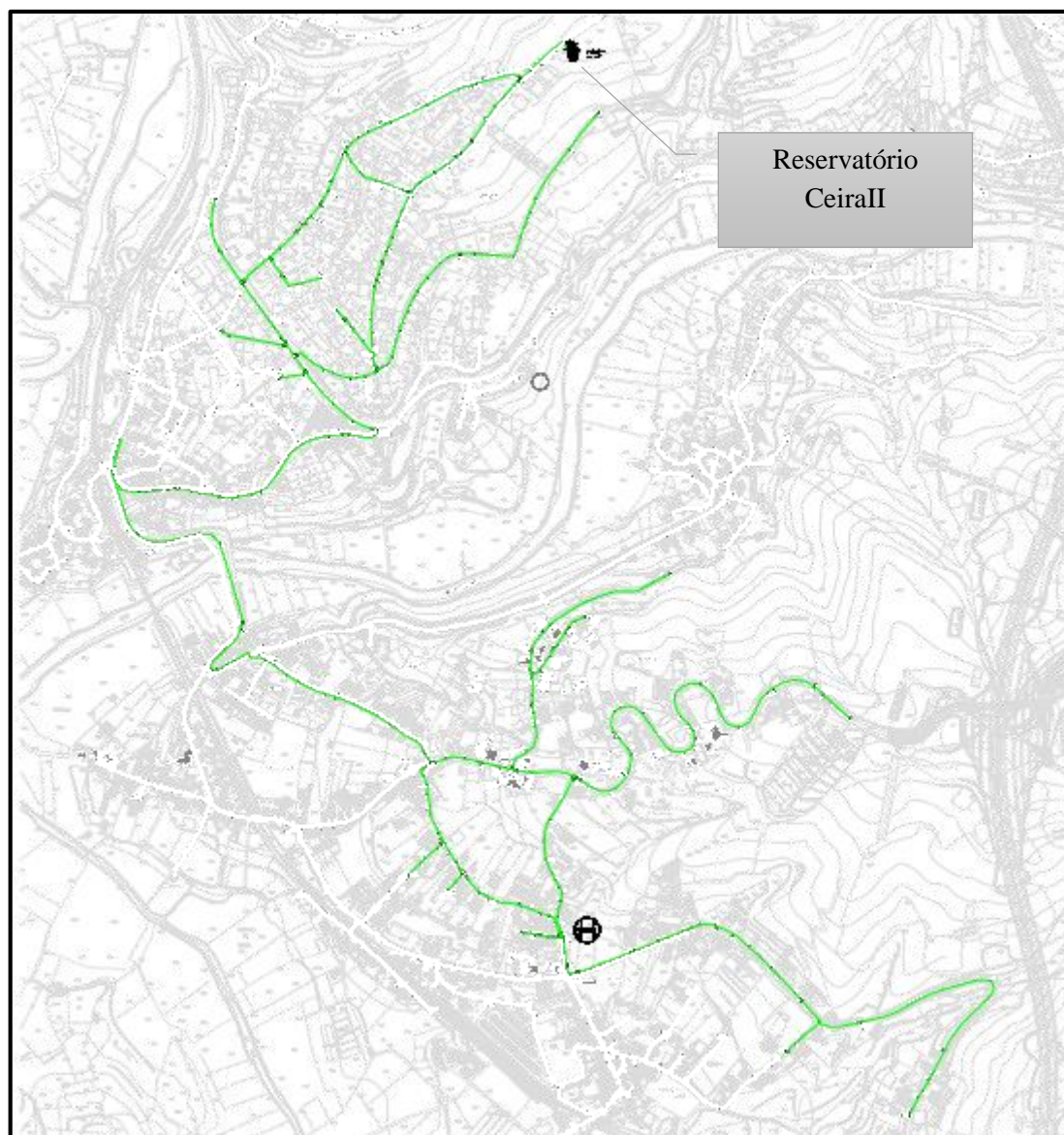


Figura 4.5 - Reservatório Ceira II e respetiva rede de distribuição de água

Foram realizados vários fechos na noite de 23-10-2015, se bem que em apenas dois é que foram observadas reduções de caudal:

- o primeiro fecho por volta das 02:45h e abertura por volta das 03:00h;
- o segundo foi por volta das 03:05h, mas entre as 03:20h até 03:25h ocorreu uma pausa no registo de dados devido a uma falha de leitura e quando voltou a funcionar registou caudal elevado, não se considerando essa paragem. A abertura da válvula iniciou-se por volta das 03:50h. O resultado está registado no gráfico de monitorização do caudal do dia 23-10-2015 - gráfico 4.4.

Na figura 4.6 estão identificadas com círculos a vermelho as duas zonas críticas das roturas.

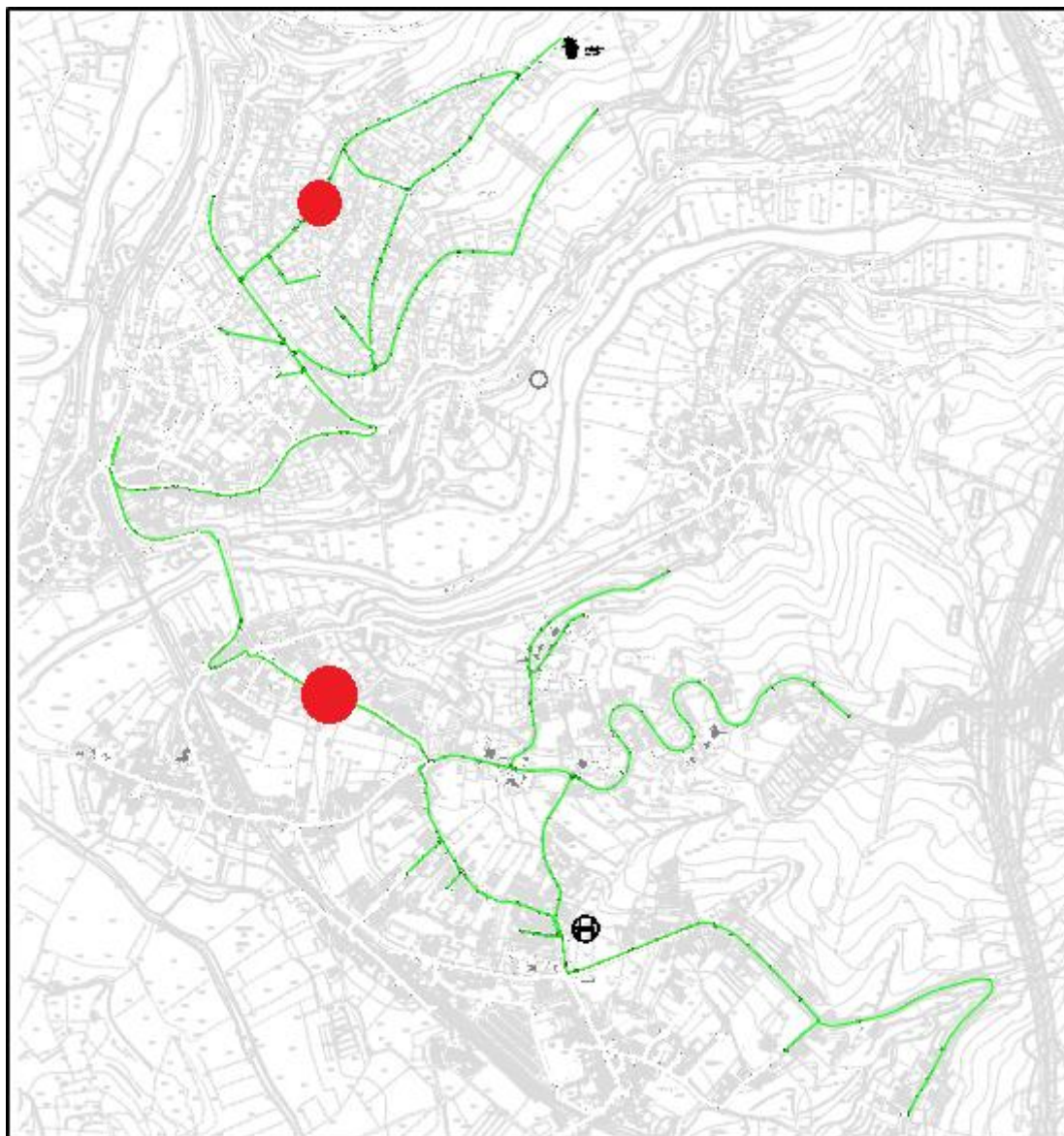


Figura 4.6 - Rede de distribuição de água e representadas as zonas críticas

As válvulas por vezes encontram-se assoreadas ou completamente inacessíveis, outras vezes não são encontradas apesar de estarem referidas em cadastro. No caso de estudo, não se registou qualquer problema na identificação e fechos das válvulas uma vez que houve a preocupação de fazer uma manutenção antes de a equipa AEIPA ir para o terreno.

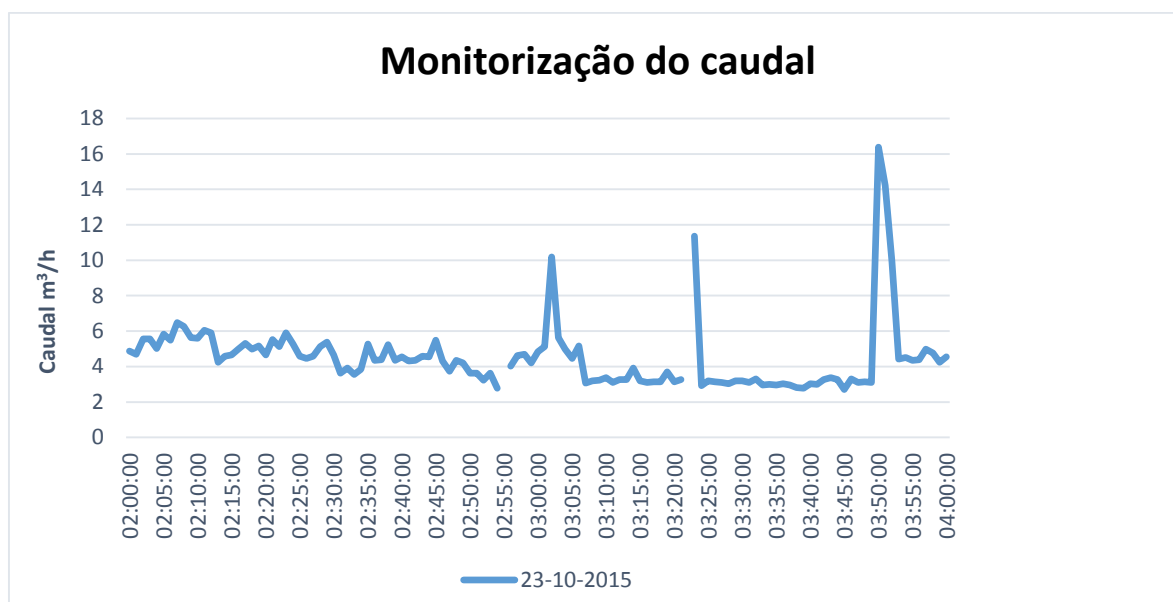


Gráfico 4.4 – Monitorização do caudal (m³/h) da noite de 23-10-2015

O resultado da monitorização do caudal durante os fechos/aberturas refletidos no gráfico 4.4, permite observar descidas de caudal com o fecho de duas válvulas, o que indica onde existe um maior volume de água perdida. Desta forma, o resultado leva a concluir que as fugas se situam na rua da Escola, rua da Boiça, rua Vendas, rua do Padre Campos, rua do Cemitério, rua do Correio e a rua da Beira.

Após se ter realizado uma localização aproximada das roturas, passou-se para a localização exata. Para isso, usou-se o método da sondagem acústica direta com recurso à vareta de escuta (nas válvulas de ramal e nos contadores), e indireta com recurso ao geofone (no solo/pavimento sobre a conduta).

A equipa da AEIPA no terreno efetuou a sondagem acústica nas ruas críticas já mencionadas anteriormente, com os equipamentos vatera de escuta e geofone - Figuras 4.7 e 4.8. Verificaram-se duas roturas: uma na rua da Escola junto à escola primária (Figura 4.9) tratando-se de uma rotura de ramal e a segunda rotura foi localizada na rua do Correio, em frente ao nº 48 (Figura 4.10), sendo também do tipo rotura de ramal. Após serem identificadas as roturas colocou-se spray de tinta para identificação do local (Figura 4.11).



Figura 4.7 - Sondagem acústica no ramal com recurso a vareta escuta.



Figura 4.8 – Sondagem acústica indireta no solo sobre a conduta com geofone.

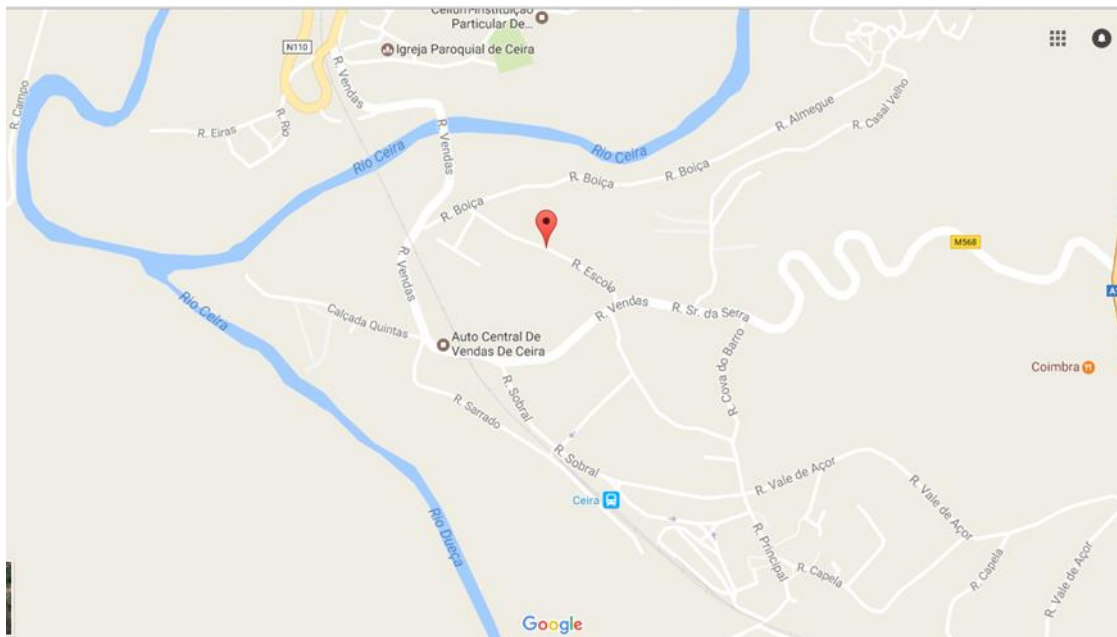


Figura 4.9 - Localização da rotura da rua da Escola

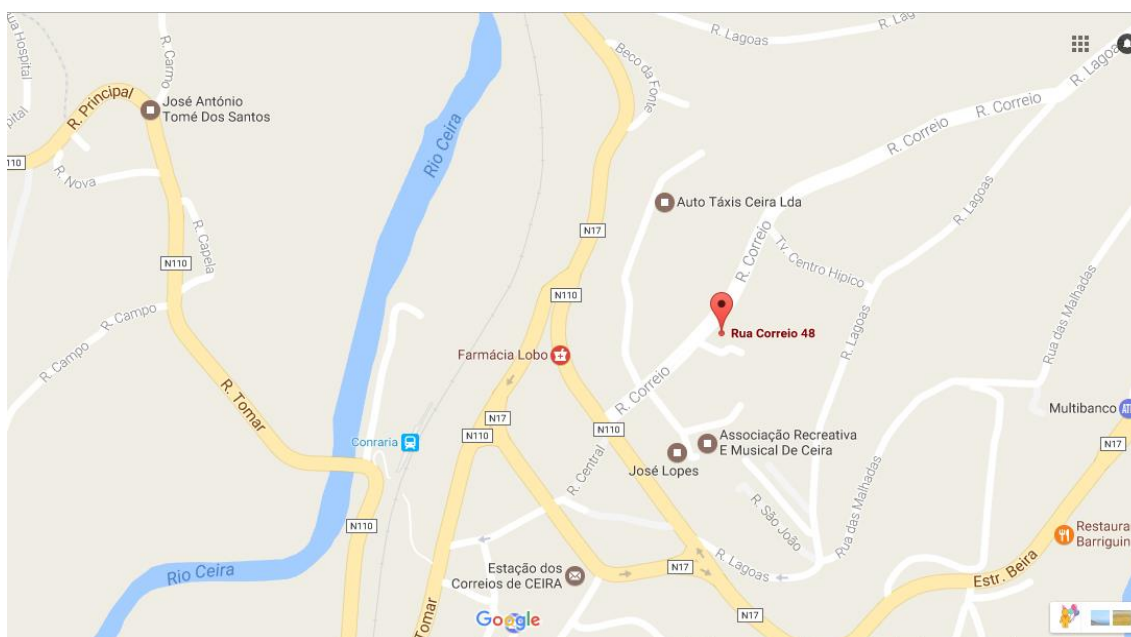


Figura 4.10 - Localização da rotura da rua do Correio



Figura 4.11 – Identificação de rotura com spray.

No dia 23-10-2015, procedeu-se à reparação das duas roturas de ramal identificadas. Pode concluir-se que, de forma geral, conseguiu-se atingir o objetivo desejado que era controlar as perdas de água na ZMC Ceira II, uma vez que houve uma diminuição considerável do caudal mínimo noturno.

5. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA (ÁGUAS DE COIMBRA)

5.1. Introdução

O presente estudo incide sobre a viabilidade económica da localização/reparação de roturas.

Neste estudo incluíram-se todas as etapas, desde a deteção da rotura até à respetiva reparação, considerando como benefício direto apenas o custo da água que se deixa de perder, tendo-se calculado o número de dias necessários para que o benefício iguale o custo (*pay back period*).

O estudo concentrou-se numa recolha intensiva de dados referentes a roturas do ano de 2015.

A equipa EIPA é constituída por dois técnicos que todos os dias percorrer os troços de condutas e ramais, em zonas pré definidas, com equipamentos para verificação de possíveis roturas. Em gabinete, com base nos caudais noturnos, fazem-se estudos para identificar quais as zonas com maior probabilidade de ocorrência de roturas.

Sempre que se deteta uma rotura, esta é marcada no local com spray de tinta ou com fita sinalizadora. Seguidamente a equipa EIPA preenche um relatório onde discrimina o tipo de rotura, a ZMC a que pertence e a localização/morada. Cada rotura é identificada com um número de reclamação, sendo posteriormente inserida numa base de dados designada de “GOTAS-Si”.

Nesta base de dados, cada reclamação contém uma OTU - Ordem de trabalho urgente, ou seja, cada rotura identificada é comunicada, sendo enviada uma equipa de piquete para o local para efetuar a respetiva reparação. Consoante o tipo de rotura, poderá ser imediatamente reparada ou é criada uma nova ordem de trabalho designada por OTP – Ordem de trabalho programado, para reparações em que é necessária a intervenção de uma empresa externa, como por exemplo, a repavimentação com recurso a mistura de betuminoso a quente.

5.2. GOTAS-Si

O GOTAS-Si é um sistema para Gestão de Ordens de Trabalho de Água e Saneamento, assente numa base de dados. O GOTAS-Si serve para receber pedidos de trabalhos, atribuí-los a equipas e confirmar a sua conclusão.

5.2.1. Ordem de trabalho urgente

A rotura é localizada e identificada pela equipa da EIPA e seguidamente comunicada ao departamento das reparações de roturas, que envia para o local uma equipa de piquete efetuar a reparação.

Nesta ordem de trabalho, tal como o nome indica, há uma certa urgência na reparação das roturas, sendo o procedimento realizado o seguinte: logo que a rotura seja detetada, a equipa EIPA faz o registo e caracterização do tipo de rotura (que pode ser classificada em rotura de ramal, na caixa de parede, junto ao contador, boca de incêndio ou rotura na via pública), mencionado a ZMC e a localização ou morada.

A equipa de piquete vai ao local efetuar a respetiva reparação da rotura, discriminando o tipo de reparação efetuada, especificando todo o tipo de material utilizado e as suas quantidades (Anexo Tabela 2 - Preços), recursos humanos que estiveram envolvidos na reclamação, tempo despendido, equipamentos usados e respetivo horário de funcionamento de cada equipamento (viatura ligeira, viatura pesada, mini escavadora, retro escavadora, máquina de corte de asfalto, placa vibratória e gerador) (Anexo Tabela 1 – Ordem de trabalho urgente).

Os recursos humanos envolvidos podem ser: técnico superior, encarregado, canalizador, motorista de ligeiros, motorista de pesados, condutor de máquinas pesadas - veículos especiais, cabouqueiro, cantoneiro e marteleiro.

Quando a equipa de piquete termina a reparação, a rotura é registada na base de dados “GOTAS-Si” como resolvida, caso contrário, será necessário abrir uma outra ordem de trabalho designada por ordem de trabalho programada.

5.2.2. Ordem de trabalho programada

Para a execução desta ordem de trabalho existe uma programação do trabalho previamente à ida da equipa para o local. Os trabalhos a efetuar pela AC, Águas de Coimbra, E.M são: a reposição de massa asfáltica a frio, reposição de calçada a portuguesa, reposição da calçada em pavê e colocação da caixa de parede.

Quando é necessária a reposição da mistura betuminosa a quente é aberta um sub-ordem de trabalho, por ser necessário contratar uma empresa externa para efetuar a empreitada. Esta empreitada, por norma, reúne um certo número de obras para se proceder depois à sua execução.

Nesta ordem de trabalho contabilizam-se os recursos humanos (motorista de ligeiros, motorista de pesado, canalizador, pedreiro, limpa coletores, marteleiro, cabouqueiro, calceteiro, asfaltador, cantoneiro e condutor de máquinas pesadas), sendo contabilizado o número de pessoas afetadas a cada recurso e as respetivas horas de trabalho.

Relativamente aos equipamentos, o registo funciona da mesma forma que para os recursos humanos. Além da contabilização os equipamentos usados (viatura ligeira, viatura pesada, placa vibratória, gerador, mini escavadora, retro escavadora, compressor e máquina de corte de asfalto) nas operações de cada ordem de trabalho, são

contabilizadas as respetivas horas de trabalho (Anexo Tabela 3 – Ordem de trabalho programada).

Para a contabilização dos materiais utilizam-se as seguintes unidades de medida: unidade, metros, kg e contagem a balde.

A ordem de trabalho só é finalizada quando todas as operações estiverem concluídas, incluindo a parte realizada pela empreitada (subcontratada).

5.3. Sistema de telegestão

Na gestão do sistema de abastecimento de água, a AC, Águas de Coimbra E.M, tem integrado um sistema de telegestão, como centro de controlo remoto. Esta ferramenta permite a monitorização em tempo real do sistema, permitindo o conhecimento das reais condições de escoamento, assim como a pronta atuação perante as solicitações e as ocorrências diárias.

Este sistema permite também o conhecimento, em tempo real, do escoamento ao nível dos caudais de entrada e saída nas zonas de abastecimento e das pressões em diversos pontos de monitorização e controlo, distribuídos pela rede através de medidores e data loggers que medem, registam e enviam remotamente os dados para a central, em intervalos de tempo predefinidos, ajustáveis de acordo com o grau de tratamento dos dados.

A telegestão possibilita a monitorização em tempo real de caudais, pressões, níveis e qualidade da água em pontos estratégicos da rede de distribuição, como se pode verificar na figura 5.1, onde se representa o caudal em forma de gráfico e o dia e a hora a que foi registado.

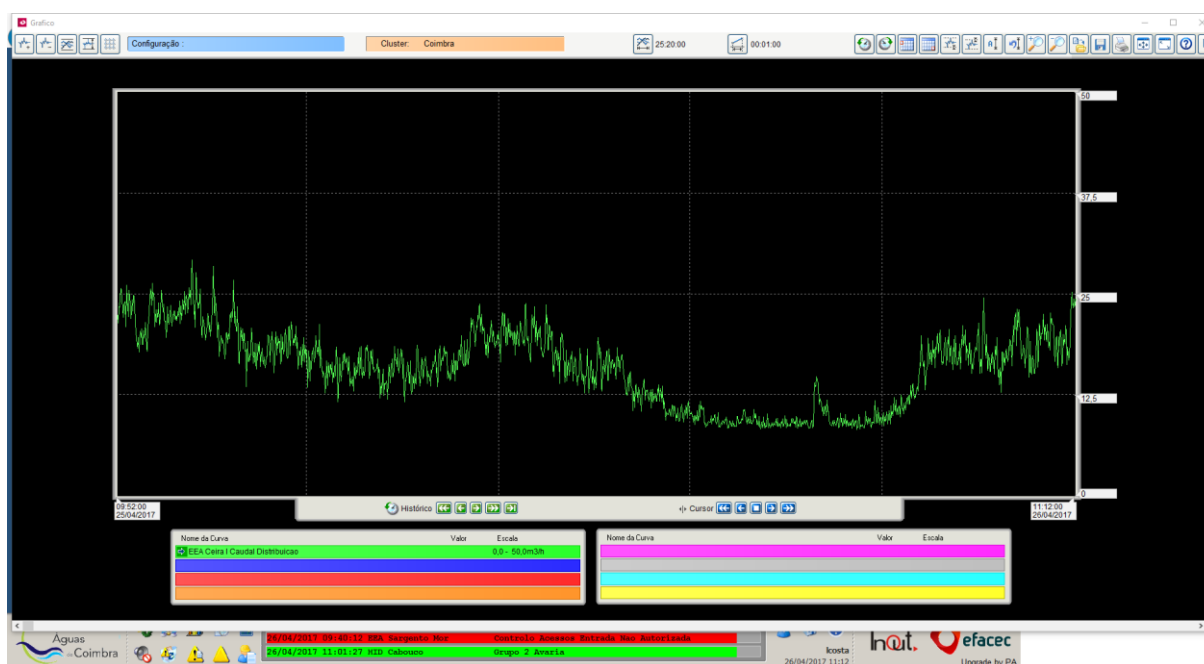


Figura 5.1 - Gráfico esquemático da telegestão.

5.4. Análise da relação custo / benefício

Para este estudo foram escolhidas oito ZMC, tendo-se adotado o critério seguinte: ZMC's que contêm zonas críticas onde é frequente ocorrerem roturas e que contêm ao longo do ano diferenças significativas de caudal. Deste modo, foram escolhidas as ZMC de Alqueves, Arruela, Alto dos Barreiros, Cabouco, Ceira I, Ceira II, Vale de Cântaros norte e Vale de Cântaros sul.

Cada rotura é identificada com um número de reclamação, pelo que foram contabilizadas todas as horas de trabalho dos recursos humanos, equipamentos, além de todo o material necessário a cada operação. Foram efetuados os cálculos para cada ordem de trabalho, considerando o tempo utilizado para cada operação pela equipa da EIPA. Em conclusão, o custo total é o somatório da OTU, mais a OTP, mais a equipa EIPA, isto é, o valor total gasto em cada rotura.

O programa informático de “telegestão” regista o caudal para posterior análise. Para o estudo em causa, analisou-se o caudal entre as 02:00h e as 04:00h, por ser um período de menor consumo, sendo registado o valor de menor caudal de minuto a minuto.

Para cada reparação, foi registado o valor do caudal do dia anterior à deteção da rotura e, posteriormente à reparação, foi retirado o valor do caudal do dia seguinte à reparação da rotura. A diferença entre caudais representa a água que deixou de se perder em m^3/h (benefício).

Deverá ter-se em consideração que nas roturas em caixa de parede não se verifica perda de caudal significativo. As roturas significativas, onde existem variações de caudal, são as roturas na via pública e roturas de ramal.

Na tabela dos preços unitários (Anexos- Tabela 2) está identificado o custo individual de cada material, recurso humano e equipamento, incluindo o do geofone. Esta tabela contém ainda o custo unitário da água ($€/m^3$). Todos estes custos foram fornecidos pelo departamento financeiro da AC, Águas de Coimbra, E.M.

5.5. O custo da rotura

Para definir o benefício da reparação de cada rotura calcula -se o benefício diário (o custo do volume de água recuperado diariamente). Por sua vez, para se chegar a este valor calcula-se a diferença entre caudais antes da reparação e depois da reparação, multiplicando o resultado pelas 24h do dia.

O volume de água recuperado diariamente a multiplicar pelo custo unitário da água (cerca de $0.48 €/m^3$) representa o benefício diário em euros por dia.

Cada uma das roturas tem um payback period. O payback é o período de retorno do investimento, o tempo decorrido entre o investimento inicial (deteção e a reparação da

rotura) e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

O custo total da rotura é o somatório da OTU, mais a OTP e mais a equipa AIPA, e o payback period corresponde ao custo total a dividir pelo benefício diário (custo do volume de água recuperado). O resultado desta divisão é o número de dias necessário para a rotura fique paga.

5.6. Análise dos resultados obtidos

Apresentam-se, de seguida, os resultados obtidos.

A cada rotura identificada foi atribuído um número de reclamação. Ocorreram roturas detetadas no mesmo dia, tendo sido posteriormente reparadas pela equipa de piquete com a diferença de horas ou apenas um dia. Consultou-se a telegestão para se retirar o valor do caudal antes e após cada reparação da rotura e efetuou-se a subtração entre estes dois valores. O resultado é o caudal recuperado diariamente, que está representado (Anexo - Tabela 4).

Nos casos em que foram detetadas e reparadas várias roturas na mesma altura, o benefício obtido foi dividido pelo número de roturas.

Para análise do custo das reparações e respetivo caudal reduzido recorreu-se a um gráfico de dispersão (gráfico 5.1). Um gráfico de dispersão, ou de correlação, é geralmente utilizado para se verificar o quanto uma variável é afetada por outra, ou seja, a relação entre duas variáveis. Frequentemente essa relação parte de uma variável independente e uma variável dependente da primeira. A variável independente é a causa, a razão e a variável dependente é o efeito, a consequência.

No caso em estudo, a variável do caudal reduzido (m^3/h) está no eixo das abcissas e a variável do custo das reparações (€) no eixo das ordenadas.

Cada rotura aparece como um ponto do gráfico definido pelos valores de ambas as variáveis para aquela rotura.

Pretendia-se que a relação entre o valor do caudal reduzido e o custo de cada reparação no diagrama de dispersão concluísse, que o custo das reparações apresenta uma tendência para aumentar com o valor do caudal reduzido, no entanto, os resultados obtidos no estudo realizado evidenciam uma forte dispersão, em particular para baixos valores do caudal reduzido.

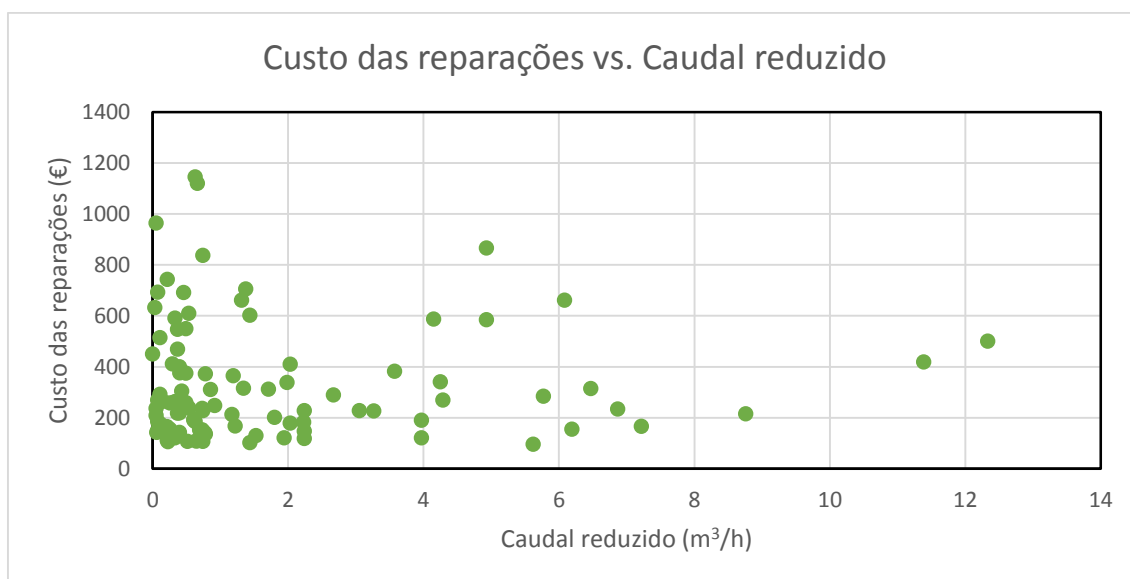


Gráfico 5.1 - Gráfico de dispersão custo das reparações vs. Caudal reduzido.

Com as intervenções realizadas o valor do volume de perdas reduziu, demonstrando a eficácia do trabalho realizado durante o ano de 2015.

De seguida, para cada uma das oito ZMC abaixo identificadas apresentam-se os respetivos resultados obtidos.

5.6.1. ZMC – Alqueves

Nesta ZMC foram detetadas cinco roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição para cada número de reclamação:

- A rotura com o número de reclamação 40956 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 238,36€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6105 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,03 €/dia, pelo que serão necessários 34 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 40955 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 242,04€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6105 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,03 €/dia, pelo que serão necessários 34 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 39043 é uma rotura do tipo rotura no ramal (terra batida), o seu custo de reparação foi de 159,09€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2146 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 2,47 €/dia, pelo que serão necessários 64 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 39042 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 681,940€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2146 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 2,47 €/dia, pelo que serão necessários 276 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- Por fim, a rotura com o número de reclamação 39018 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 351,76€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4292 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,94 €/dia, pelo que serão necessários 71 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

Além da breve descrição anterior de cada rotura, existem algumas considerações relevantes que têm de ser mencionadas, nomeadamente: as roturas com os números de reclamação 39043 e 39042 foram detetadas e reparadas na mesma altura, mas a reclamação 39042 tem um custo de empreitada adicional de 444€ e a outra não contém custo de empreitada, logo o período de retorno da reclamação 39042 são 276 dias para que esta fique paga, já a da reclamação 39043, em 64 dias fica paga. O custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influencia no resultado do custo total de cada reparação: quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

O gráfico 5.2 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações.

No caso de estudo, a amostra foi pequena registando-se uma grande dispersão sem que se consiga identificar qualquer tendência.

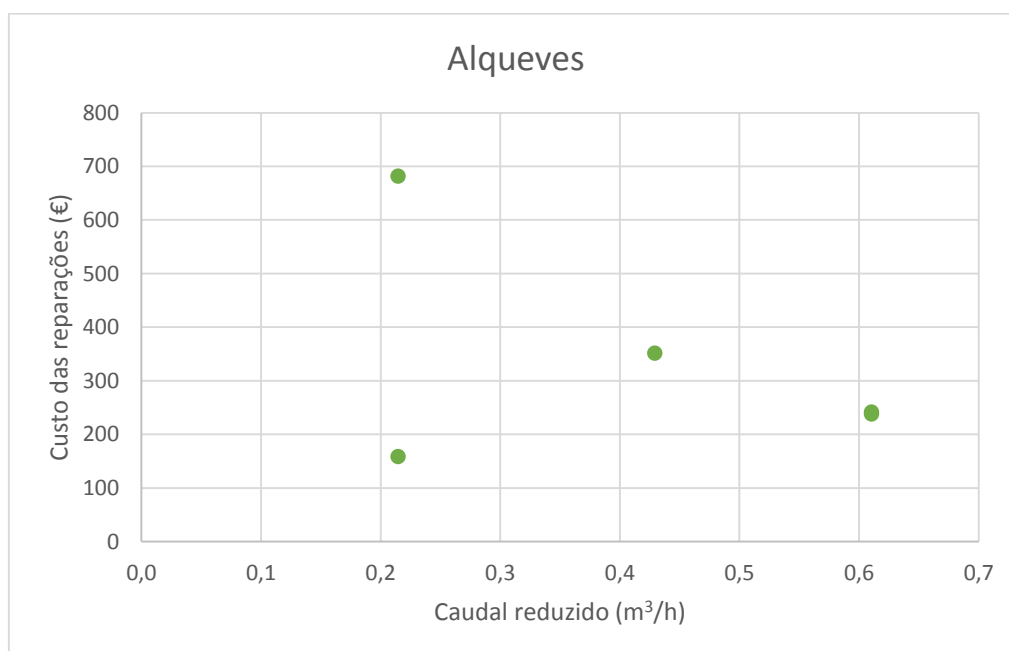


Gráfico 5.2 – Gráfico de dispersão de Alqueves

5.6.2. ZMC – Arruela

Nesta ZMC foram detetadas seis roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente efetua-se uma breve descrição de cada rotura:

- A rotura com o número de reclamação 40954 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 266,52€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3968 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,57 €/dia, pelo que serão necessários 58 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 40900 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no cimento), o seu custo de reparação foi de 178,28€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,5263 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 17,58 €/dia, pelo que serão necessários apenas 10 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38957 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 322,56€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3968 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,57 €/dia, pelo que serão necessários 71 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38955 é uma rotura do tipo rotura no ramal (na parede), o seu custo de reparação foi de 157,82€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3968 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,57 €/dia, pelo que serão necessários 35 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38947 é uma rotura do tipo rotura no ramal da Boca-de-incêndio (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 339,81€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,1068 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 1,23€/dia, pelo que serão necessários 276 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38946 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 562,31€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,1068 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 1,23 €/dia, pelo que serão necessários 457 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

Além da breve descrição anterior de cada rotura, existem algumas considerações relevantes que tem de ser mencionadas, nomeadamente: as roturas com números de reclamações 38947 e 38946 foram detetadas e reparadas na mesma altura, mas a reclamação 38946 tem um custo de empreitada adicional de 259,20€ e a outra não contém custo de empreitada, logo o período de retorno da reclamação 38946 são 457 dias para que esta fique paga, já a da reclamação 38947 em 276 dias fica paga. Igual ao exemplo que foi referido anteriormente existem mais na mesma situação, tais como os

das reclamações 38957 e 38955. O custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influencia no resultado do custo total de cada reparação, quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

Um dos fatores que influencia o período de retorno é o caudal reduzido, se o caudal reduzido for muito baixo (inferior a 1m³/h) o benefício diário também é baixo, logo o período de recuperação é maior, se o caudal reduzido for superior a 1m³/h o benefício diário também é maior, logo o período de recuperação é menor, dependendo do custo de cada reparação.

O gráfico 5.3 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. No caso de estudo, a amostra foi pequena registando-se uma grande dispersão sem que se consiga identificar qualquer tendência.

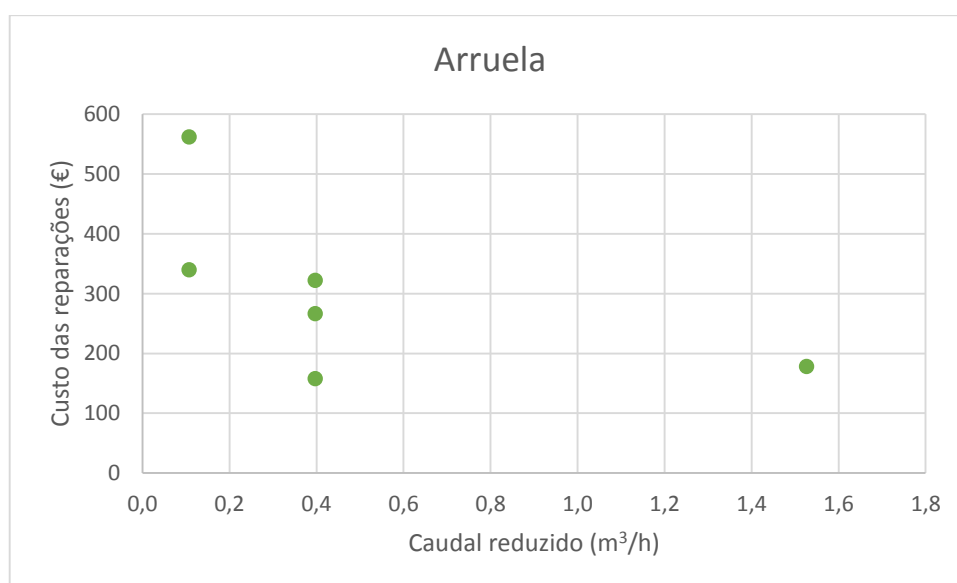


Gráfico 5.3 – Gráfico de dispersão da Arruela

5.6.3. ZMC – Alto dos Barreiros

Nesta ZMC foram detetadas seis roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição de cada rotura:

- A rotura com o número de reclamação 42995 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 634,40€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 4,1514 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 47,82 €/dia, pelo que em apenas 13 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 42940 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 215,78€, a quantidade de água

que se deixou de perder foi de 1,2210 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 14,07 €/dia, pelo que em apenas 15 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 40180 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 363,60€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,3431 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 15,47 €/dia, pelo que em apenas 23 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 39891 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 221,34€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,1221 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 1,41 €/dia, pelo que serão necessários 157 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 39368 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 386,79€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 6,4713 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 74,55 €/dia, pelo que em apenas 5 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

O gráfico 5.4 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. Neste caso, apesar de a amostra ter sido pequena, é possível identificar uma certa tendência de agravamento do custo de reparação com o caudal reduzido.

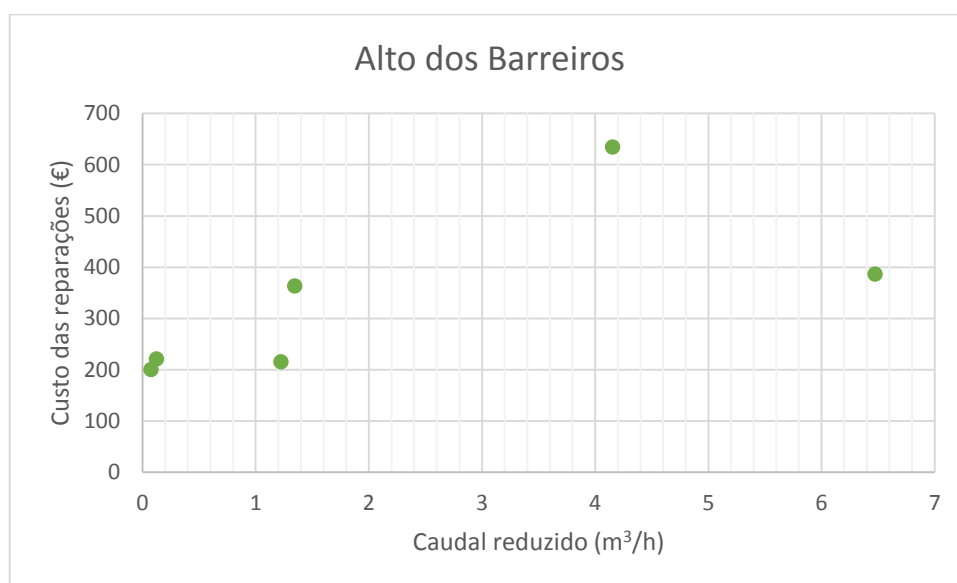


Gráfico 5.4 – Gráfico de dispersão do Alto dos Barreiros

5.6.4. ZMC – Cabouco

Nesta ZMC foram detetadas dez roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição de cada rotura:

-
- A rotura com o número de reclamação 43371 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 200,67€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,073 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,84 €/dia, pelo que serão necessários 238 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
 - A rotura com o número de reclamação 42920 é uma rotura do tipo rotura no ramal (terra batida), o seu custo de reparação foi de 155,02€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,5128 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 5,91 €/dia, pelo que em apenas 26 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
 - A rotura com o número de reclamação 42303 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 247,22€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0733 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,84 €/dia, pelo que serão necessários 293 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
 - A rotura com o número de reclamação 41657 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 202,73€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2564 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 2,95 €/dia, pelo que serão necessários 69 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
 - A rotura com o número de reclamação 40343 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 223,53€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 7,2161 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 83,13 €/dia, pelo que em apenas 3 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
 - Para a rotura com o número de reclamação 40185 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 219,91€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6960 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,02 €/dia, pelo que em apenas 27 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
 - A rotura com o número de reclamação 39586 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 185,37€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,9414 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 22,36 €/dia, pelo que em apenas 8 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
 - A rotura com o número de reclamação 39318 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 1225,10€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6593 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,60 €/dia, pelo que serão necessários 161 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
 - A rotura com o número de reclamação 37931 é uma rotura do tipo rotura no ramal da ETAR, o seu custo de reparação foi de 162,73€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6593 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,60 €/dia, pelo que em apenas 21 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
 - A rotura com o número de reclamação 37801 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 803,96€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 6,0806 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 70,05 €/dia, pelo que em apenas 11 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

Anteriormente foi efetuada uma breve descrição para cada rotura, seguidamente será apresentado o caso das roturas com números de reclamações 39318 e 37931, representado na figura 5.2. Estas roturas contêm o mesmo caudal reduzido, logo o seu benefício diário é o mesmo, o custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influenciou o resultado do custo total de cada reparação, quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

Um dos fatores que influencia o período de retorno é o caudal reduzido, se o caudal reduzido for muito baixo inferior a 1m³/h o benefício diário também é baixo logo o período de recuperação é maior, se o caudal reduzido for superior a 1m³/h o benefício diário também é maior logo o período de recuperação é menor, dependendo do custo de cada reparação.

Podemos verificar que nas roturas com os números de reclamação 43371 e 42303 a redução caudal é muito baixa, de 0,0733 m³/h. Na análise efetuada assumiu-se que quando as reduções de caudal eram inferiores a 0,1 m³/h não foi possível apurar o benefício efetivo da reparação, pelo que essas reclamações não foram consideradas no gráfico 5.10.

ZMC	Nº Reclamação	Data	Custo total (€)	Caudal antes da reparação (m3/h)	Caudal depois da reparação (m3/h)	Diferença entre caudais (m3/h)	Benefício diário (m3/dia)	Benefício diário (€/dia)	Nº de dias
Cabouco	43371	21-10-2015	200,67	2,5	2,4	0,0733	1,76	0,84	238
	42920	28-09-2015	155,02	4,3	3,8	0,5128	12,31	5,91	26
	42303	27-08-2015	247,22	2,4	2,3	0,0733	1,76	0,84	293
	41657	28-07-2015	202,73	1,9	1,6	0,2564	6,15	2,95	69
	40343	28-05-2015	223,53	7,2	0,0	7,2161	173,19	83,13	3
	40185	21-05-2015	219,91	8,1	7,4	0,6960	16,70	8,02	27
	39586	21-04-2015	185,37	9,3	7,3	1,9414	46,59	22,36	8
	39318	10-04-2015	1225,10	6,8	6,1	0,6593	15,82	7,60	161
	37931	23-01-2015	162,73	7,0	6,3	0,6593	15,82	7,60	21
	37801	15-01-2015	803,96	13,6	7,5	6,0806	145,93	70,05	11

Figura 5.2 – Tabela do Cabouco

O gráfico 5.5 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. Neste caso a amostra é ligeiramente maior e parece mostrar que existe uma certa tendência de agravamento do custo de reparação com o caudal reduzido, embora apresente grande dispersão.

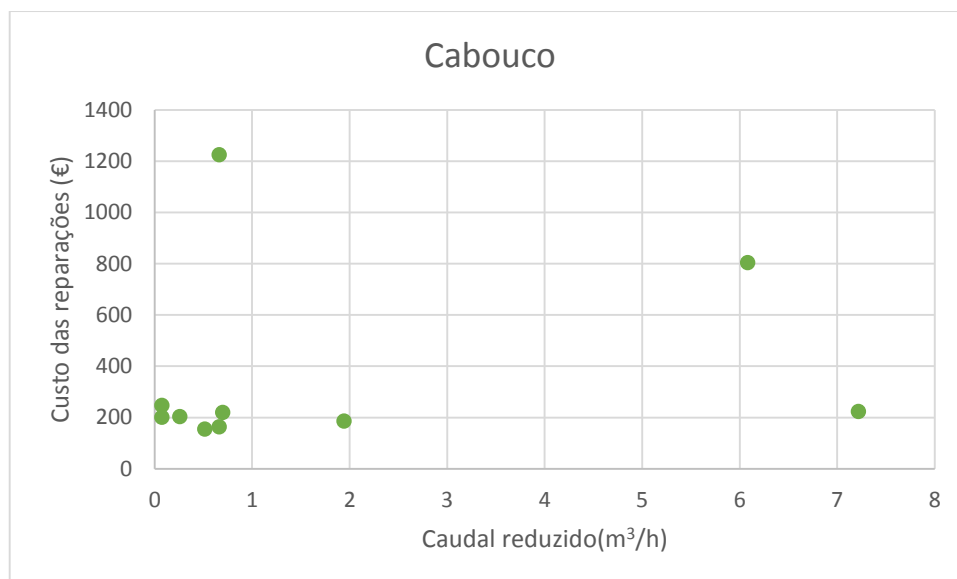


Gráfico 5.5 – Gráfico de dispersão do Cabouco

5.6.5. ZMC – Ceira I

Nesta ZMC foram detetadas quinze roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição de cada rotura:

- A rotura com o número de reclamação 43694 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 229,83€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 2,2283 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 25,67 €/dia, pelo que em apenas 9 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 43417 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 630,14€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3663 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,22 €/dia, pelo que serão necessários 149 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 43409 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 198,42€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2137 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 2,46 €/dia, pelo que serão necessários 81 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 42039 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 380,57€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,9841 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 22,86 €/dia, pelo que em apenas 17 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 42033 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 238,91€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,8010 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 20,75 €/dia, pelo que em apenas 12 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 41972 é uma rotura do tipo rotura na via pública (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 358,81€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,7094 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 19,69 €/dia, pelo que em apenas 18 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 40674 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 175,62€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0610 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,70 €/dia, pelo que serão necessários 250 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 39603 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 478,07€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 11,3858 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 131,16 €/dia, pelo que em apenas 4 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38879 é uma rotura do tipo rotura na via pública (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 721,91€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4579 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 5,27 €/dia, pelo que serão necessários 137 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38825 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 219,94€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6258 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,21 €/dia, pelo que serão necessários 31 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38809 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 1183,98€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6258 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,21 €/dia, pelo que serão necessários 164 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38792 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 714,38€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,3126m³/h, contraindo assim um benefício diário de 15,12 €/dia, pelo que serão necessários 47 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38759 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 448,63€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,1905m³/h, contraindo assim um benefício diário de 13,71 €/dia, pelo que em apenas 33 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38738 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 692,45€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0305m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,35 €/dia, pelo que serão necessários 1969 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38682 é uma rotura do tipo na via pública (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 396,66€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0000 m³/h, logo não houve payback period. O registo

do caudal efectuado pela telegestão foi 0,0000 m³/h, logo pode ter corrido um erro no registo.

Além da breve descrição anterior de cada rotura, existem algumas considerações relevantes que têm de ser mencionadas, nomeadamente: no caso das roturas com números de reclamações 38825 e 38809, detetadas e reparadas na mesma altura, mas a reclamação 38809 tem um custo de empreitada adicional de 912,8€ e a outra não contém custo de empreitada, logo o período de retorno da reclamação 38809 são 137 dias para que esta fique paga, já a da reclamação 38825 em 31 dias fica paga. O custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influencia o resultado do custo total de cada reparação, quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

Podemos verificar que nas roturas com os números de reclamação 49674 e 38738 as reduções de caudal são muito baixas, de 0,0610 m³/h e 0,0305 m³/h, pelo que, pelo motivo apontado anteriormente, não foram consideradas.

O gráfico 5.6 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. Neste caso a amostra é bastante maior e parece mostrar que existe uma certa tendência de agravamento do custo de reparação com o caudal reduzido, embora apresente grande dispersão, em particular para valores baixos do caudal reduzido.

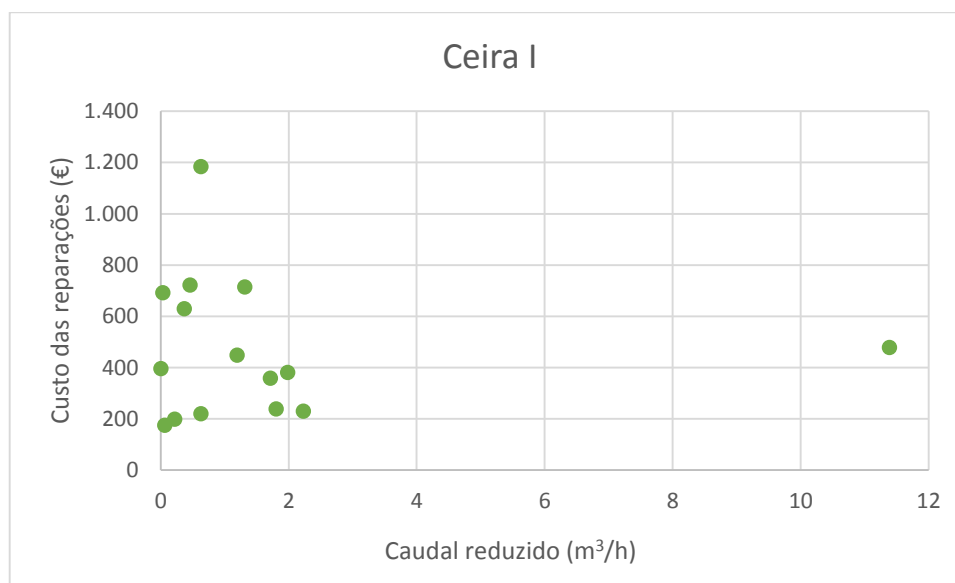


Gráfico 5.6 – Gráfico de dispersão de Ceira I

5.6.6. ZMC – Ceira II

Nesta ZMC foram detetadas vinte e quatro roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição de cada rotura:

- A rotura com o número de reclamação 43469 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 340,18€, a quantidade de água

que se deixou de perder foi de 2,6689 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 30,75 €/dia, pelo que em apenas 11 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 43418 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 382,90€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 2,0330 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 23,42 €/dia, pelo que em apenas 16 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 43416 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 231,03€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 2,0330 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 23,42 €/dia, pelo que em apenas 10 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 43328 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 281,18€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,9158 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 10,55 €/dia, pelo que em apenas 27 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 43212 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 148,91€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2279 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 2,63 €/dia, pelo que em apenas 57 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 43031 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 587,30€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3297 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 3,80 €/dia, pelo que serão necessários 155 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 42573 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 198,31€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7692 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,86 €/dia, pelo que em apenas 22 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 42243 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 420,16€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4029 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,64 €/dia, pelo que serão necessários 91 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 41405 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 286,76€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 4,2857 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 49,37 €/dia, pelo que em apenas 6 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 40753 é uma rotura do tipo rotura na via pública (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 271,00€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3297 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 3,80 €/dia, pelo que serão necessários 71 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 40643 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 218,41€, a quantidade de água

que se deixou de perder foi de 6,1905 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 71,31 €/dia, pelo que em apenas 3 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 40202 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 348,70€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 4,2491 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 48,95 €/dia, pelo que em apenas 7 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 40195 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 260,63€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,1722 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 13,50 €/dia, pelo que em apenas 19 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 40144 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 347,53€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7326 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,44 €/dia, pelo que em apenas 41 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 38747 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 302,44€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2564 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 2,95 €/dia, pelo que serão necessários 102 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38688 é uma rotura do tipo rotura no ramal (na calçada), o seu custo de reparação foi de 384,74€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0488 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,56 €/dia, pelo que serão necessários 684 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38678 é uma rotura do tipo rotura no ramal (na calçada), o seu custo de reparação foi de 1042,74€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0488 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,56 €/dia, pelo que serão necessários 1853 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38677 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 261,25€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0488 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,56 €/dia, pelo que serão necessários 464 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38658 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 312,25€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0733 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,84 €/dia, pelo que serão necessários 370 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38654 é uma rotura do tipo rotura na via pública, o seu custo de reparação foi de 741,73€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,0733 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 0,84 €/dia, pelo que serão necessários 879 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38621 é uma rotura do tipo rotura no ramal (caixa chão), o seu custo de reparação foi de 160,06€, a quantidade de água que se

deixou de perder foi de 0,3297 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 3,80 €/dia, pelo que em apenas 42 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 38618 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 307,27€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3297 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 3,80 €/dia, pelo que em apenas 81 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 38593 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 509,12€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3663 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,22 €/dia, pelo que serão necessários 121 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38585 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 264,72€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,3663 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 4,22 €/dia, pelo que em apenas 63 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

Além da breve descrição anterior de cada rotura, existem algumas considerações relevantes que têm de ser mencionadas, nomeadamente: no caso das roturas com números de reclamações 38688 e 38678 e 38677, detetadas e reparadas na mesma altura, mas a reclamação 38678 tem um custo de empreitada adicional de 720€ e as outras não contêm custo de empreitada, logo o período de retorno da reclamação 38678 são 1853 dias para que esta fique paga, já a reclamação número 38688 fica paga em 684 dias e a número reclamação 38677 em 464 dias fica paga. Como estas reclamações tiveram uma perda de caudal mínima (de 0,0488 m³/h), imediatamente o seu benefício diário é inferior, isto é, irão ter um maior período de retorno como foi verificado anteriormente. Tal como no exemplo referido anteriormente, existem mais na mesma situação, tais como os das reclamações 43418 e 43416, reclamações 38658 e 38654, reclamações 38621 e 38618, reclamações 38593 e 38585. O custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influencia o resultado do custo total de cada reparação, quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

Podemos verificar que nas roturas com os números de reclamação 38688, 38678, 38677, 38658 e 38654 as reduções de caudal são muito baixas, de 0,0488 m³/h e 0,0733 m³/h, pelo que, pelo motivo apontado anteriormente, não foram consideradas.

O gráfico 5.7 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. Neste caso a amostra é bastante maior e parece mostrar que existe uma certa tendência de agravamento do custo de reparação com o caudal reduzido, embora apresente grande dispersão, em particular para valores baixos do caudal reduzido.

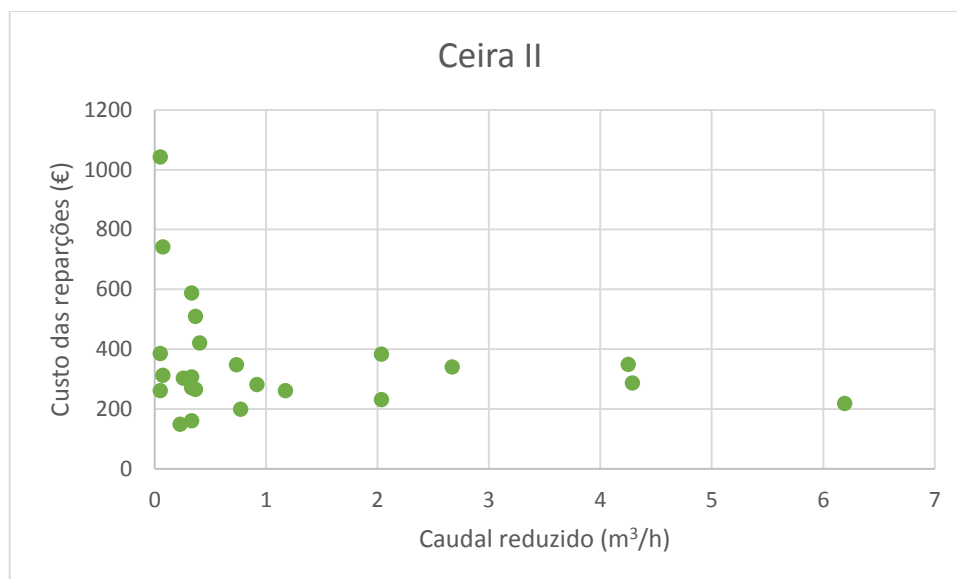


Gráfico 5.7 – Gráfico de dispersão de Ceira II

5.6.7. ZMC – Vale de Cântaros Norte

Nesta ZMC foram detetadas dezoito roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição de cada rotura:

- A rotura com o número de reclamação 43846 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 245,65€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 3,0525 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 35,16 €/dia, pelo que em apenas 7 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 43339 é uma rotura do tipo rotura no ramal da escola, o seu custo de reparação foi de 147,46€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,6410 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 7,38 €/dia, pelo que em apenas 20 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 43262 é uma rotura do tipo rotura no ramal da B.I, o seu custo de reparação foi de 159,58€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 3,9683 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 45,71 €/dia, pelo que em apenas 3 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 43261 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 238,69€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 3,9683 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 45,71 €/dia, pelo que em apenas 5 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 43232 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 239,56€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 8,7607 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 100,92 €/dia, pelo que em apenas 2 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 42080 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 259,75€, a quantidade de água

que se deixou de perder foi de 3,2662 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 37,63 €/dia, pelo que em apenas 7 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 41624 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 188,24€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7326 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,44 €/dia, pelo que em apenas 22 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 41355 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 175,21€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 2,2385 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 25,79 €/dia, pelo que em apenas 7 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 41352 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 284,72€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 2,2385 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 25,79 €/dia, pelo que em apenas 11 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 41340 é uma rotura do tipo rotura caixa de parede, o seu custo de reparação foi de 188,30€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 2,2385 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 25,79 €/dia, pelo que apenas 7 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 41309 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 284,42€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 5,7692 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 66,46 €/dia, pelo que em apenas 4 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 40532 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 537,54€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 12,3321 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 142,07 €/dia, pelo que em apenas 4 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 37985 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 153,00€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7428 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,56 €/dia, pelo que em apenas 18 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 37986 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 880,53€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7428 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,56 €/dia, pelo que serão necessários 103 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 37987 é uma rotura do tipo rotura no ramal (Pavê), o seu custo de reparação foi de 274,33€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7428 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,56 €/dia, pelo que em apenas 32 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 38556 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 429,84€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4884 m³/h, contraindo assim um benefício diário de

5,63 €/dia, pelo que serão necessários 76 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 38555 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 718,84€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4884 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 5,63 €/dia, pelo que serão necessários 128 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

- A rotura com o número de reclamação 38489 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 315,78€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,1526 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 1,76 €/dia, pelo que serão necessários 180 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.

Além da breve descrição anterior de cada rotura, existem algumas considerações relevantes que têm de ser mencionadas, nomeadamente: no caso das roturas com números de reclamações 37985 e 37986 e 337987, detetadas e reparadas na mesma altura, mas a reclamação 37986 tem um custo de empreitada adicional de 644€ e as outras não contêm custo de empreitada, logo o período de retorno da reclamação 37986 são 103 dias para que esta fique paga, já a reclamação número 37985 fica paga em 18 dias e a número 37987 em 32 dias fica paga. Tal como no exemplo referido anteriormente, existem mais na mesma situação, tais como os das reclamações 43262 e 43261, reclamações 41355 e 41352 e 41340 e reclamações 38556 e 38555. O custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influencia no resultado do custo total de cada reparação, quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

O gráfico 5.8 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. Neste caso a amostra é de tamanho razoável e parece mostrar que existe uma certa tendência de agravamento do custo de reparação com o caudal reduzido, embora apresente grande dispersão, em particular para valores baixos do caudal reduzido.

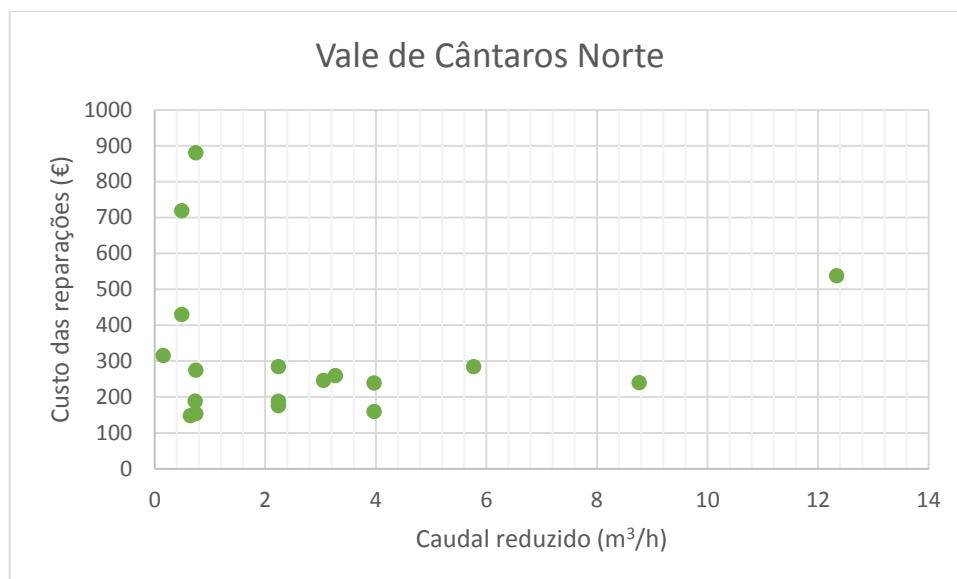


Gráfico 5.8 – Gráfico de dispersão de Vale de Cântaros Norte

5.6.8. ZMC – Vale de Cântaros Sul

Nesta ZMC foram detetadas dezasseis roturas e a cada uma foi atribuído um número de reclamação. Seguidamente é efetuada uma breve descrição de cada rotura:

- A rotura com o número de reclamação 38475 é uma rotura do tipo rotura no ramal do S.I., o seu custo de reparação foi de 492,08€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2900 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 3,34 €/dia, pelo que serão necessários 147 dias para que o custo da reparação desta rotura fique pago.
- A rotura com o número de reclamação 38468 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 191,87€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,2900 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 3,34 €/dia, pelo que em apenas 57 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38303 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 746,64€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,3736 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 15,82 €/dia, pelo que em apenas 47 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38298 é uma rotura do tipo rotura no ramal (Pavê), o seu custo de reparação foi de 390,97€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,8547 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 9,85 €/dia, pelo que em apenas 40 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38248 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 148,57€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,4347 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 16,53€/dia, pelo que em apenas 9 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

- A rotura com o número de reclamação 38239 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 664,59€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 1,4347 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 16,53€/dia, pelo que em apenas 40 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38226 é uma rotura do tipo rotura na B.I., o seu custo de reparação foi de 206,38€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7784 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,97€/dia, pelo que em apenas 23 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38225 é uma rotura do tipo rotura no ramal da B.I., o seu custo de reparação foi de 437,06€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,7784 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 8,97€/dia, pelo que em apenas 49 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38192 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 381,86€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4884 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 5,63€/dia, pelo que em apenas 68 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38191 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no Pavê), o seu custo de reparação foi de 368,92€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,4884 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 5,63€/dia, pelo que em apenas 66 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38140 é uma rotura do tipo rotura no ramal, o seu custo de reparação foi de 391,90€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 6,8681 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 79,12€/dia, pelo que em apenas 5 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38123 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 916,03€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 4,9298 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 56,79€/dia, pelo que em apenas 16 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38116 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 748,07€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 4,9298 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 56,79€/dia, pelo que em apenas 13 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38008 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 420,51€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 3,5714 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 41,14€/dia, pelo que em apenas 10 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38032 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 283,86€, a quantidade de água que se deixou de perder foi de 0,53420 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 6,15€/dia, pelo que em apenas 46 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.
- A rotura com o número de reclamação 38038 é uma rotura do tipo rotura no ramal (no pavimento betuminoso), o seu custo de reparação foi de 671,92€, a quantidade de água

que se deixou de perder foi de 0,53420 m³/h, contraindo assim um benefício diário de 6,15€/dia, pelo que serão necessários 109 dias o custo da reparação desta rotura fica pago.

Além da breve descrição anterior de cada rotura, existem algumas considerações relevantes que têm de ser mencionadas, nomeadamente: no caso das roturas com números de reclamações 38475 e 38468, detetadas e reparadas na mesma altura, mas a reclamação 38475 tem um custo de empreitada adicional de 280€ e a outra não contém custo de empreitada, logo o período de retorno da reclamação 38475 são 147 dias para que esta fique paga, já a da reclamação número 38468 em 57 dias fica paga. Tal como no exemplo referido anteriormente, existem mais na mesma situação, tais como os das reclamações 38248 e 38239, reclamações 38226 e 38225, reclamações 38192 e 38191, reclamações 38123 e 38116 e reclamações 38032 e 38038. O custo da empreitada da reposição do pavimento asfáltico a quente é que influencia o resultado do custo total de cada reparação, quanto maior for o investimento na reparação da rotura maior será o tempo de recuperação desse investimento em número de dias.

O gráfico 5.9 representa a relação entre o caudal reduzido e o custo das reparações. Neste caso a amostra é de tamanho razoável e parece mostrar que existe uma certa tendência de agravamento do custo de reparação com o caudal reduzido, embora apresente grande dispersão, em particular para valores baixos do caudal reduzido.

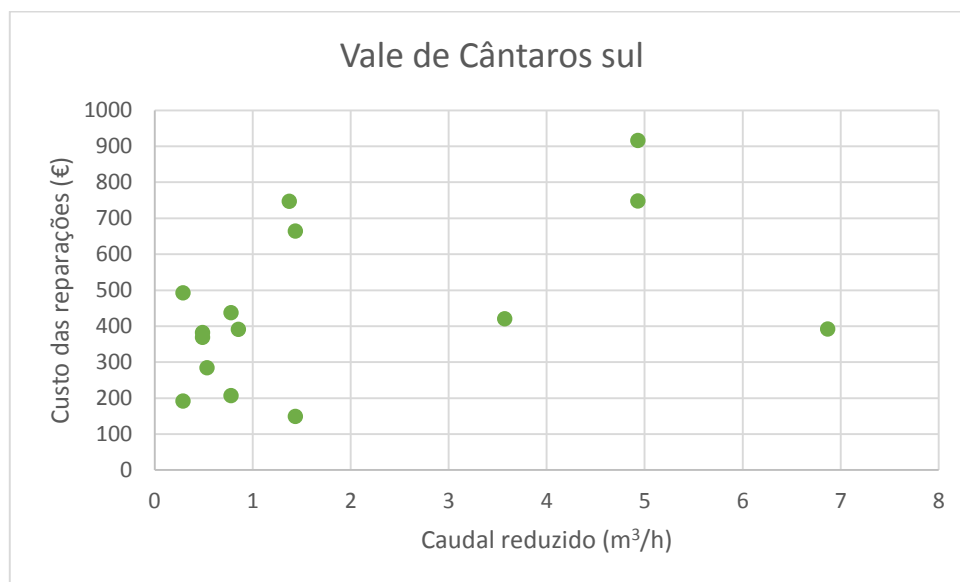


Gráfico 5.9 – Gráfico de dispersão de Vale de Cântaros Sul

Para a elaboração do gráfico 5.10 consideramos uma amostra de 90 roturas (as roturas com reduções de caudal inferiores a 0,1m³/h não foram consideradas).

O gráfico representa o grau de recuperação do investimento das reparações das roturas, verificando-se que na maior parte das roturas os períodos de recuperação (*payback*

period) são inferiores a um ano. Verificamos que 50% das roturas recuperam-se em menos de 31 dias.

Todos os dados atrás mencionados foram fornecidos pela empresa AC, Águas de Coimbra E.M, tendo-se assumido que estavam corretos.

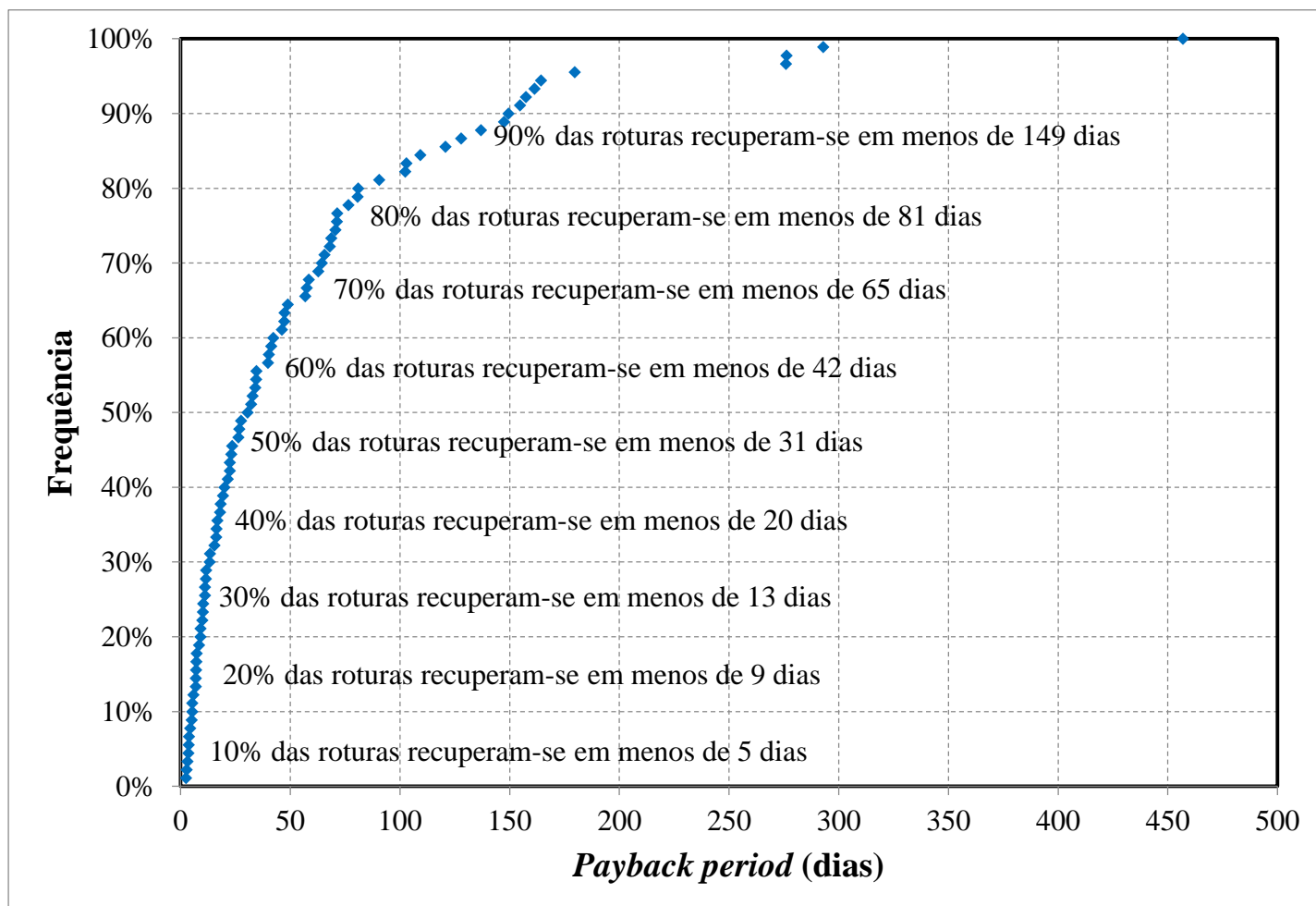


Gráfico 5.10 – *Payback period*

6. CONCLUSÃO

Atualmente, a principal preocupação das EG responsáveis pelo abastecimento de água é a elevada percentagem de perdas de água. No entanto, com algum investimento, é possível reduzir as perdas de água, sendo o principal investimento feito para o conhecimento da rede/cadastro e dos problemas nela existentes.

Para que uma EG consiga alcançar valores próximos do Nível Económico de Perdas, cabe aos responsáveis pela gestão da rede mobilizar o pessoal especializado afeto ao abastecimento de água e garantir a disponibilidade dos equipamentos e acessórios necessários. Este trabalho de redução de perdas de água é contínuo, de modo a conseguir o objetivo de manter os níveis de ANF e AF.

No que diz respeito ao estudo desenvolvido no âmbito da presente dissertação, a primeira fase referente à ZMC de Ceira II, em que se efetuaram fechos noturnos com auxílio do programa de telegestão, permitiu, de uma forma rápida e eficaz, a identificação dos troços da rede mais críticos em matéria de fugas de água. Pode concluir-se então, que, de uma forma geral, os objetivos deste estudo foram atingidos, uma vez que se conseguiram detetar três roturas com um impacto significativo no controlo das perdas de água.

Na segunda fase do estudo foram contempladas várias etapas - uma análise em gabinete das ZMC e dos troços de condutas mais críticos, com posterior realização de campanha de deteção de fugas por uma equipa munida de geofone e vareta de escuta. Para este estudo foram escolhidas as oito ZMC's que apresentavam maiores problemas, tendo sido determinadas todas as despesas efetuadas, desde recursos humanos, máquinas, aos materiais. O estudo incidiu sobre todas as fases de uma rotura, desde a sua deteção até à respetiva resolução, considerando-se como benefício direto apenas o custo da água que se deixa de perder. Como indicador para análise de resultados foi calculado o número de dias necessários para que o benefício iguale o custo (pay back period), isto é, o período de tempo necessário para recuperar os gastos efetuados em cada investimento, e o intervalo de tempo expresso em dias para que cada rotura fique "paga por si mesmo".

Para esta fase do estudo, pode-se concluir que os objetivos do trabalho foram também alcançados, uma vez que a identificação e resolução das roturas detetadas resultou numa diminuição significativa de caudal, além do controlo do nível de perdas existentes na zona em estudo. Os resultados obtidos permitiram vários benefícios, quer ao nível da poupança da poupança da água, quer em termos da melhoria do desempenho do sistema de abastecimento.

Seguidamente referem-se algumas recomendações para a redução e controlo de perdas, a serem adotadas pelas entidades gestoras:

- conhecimento cadastral da rede;
- manutenção e reparação das condutas, ramais e equipamentos;
- reparação das roturas o mais rápido possível;
- substituição de contadores
- utilização de equipamentos de localização e deteção de roturas;
- monitorização constante dos caudais;
- medição dos caudais noturnos;
- conhecimento de todos os consumos autorizados e não autorizados;
- gestão ativa da pressão;
- realização de ações de sensibilização à população;
- formação aos operários;
- ações de fiscalização das obras realizadas;
- a criação de novas ZMC na rede.

7. BIBLIOGRAFIA

Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E. Jr., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., e Parena, R. (2000). *Performance indicators for water supply service*. IWA Publishing.

Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M. do C., e Viera, P. (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Alegre, H., e Covas, D. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. Uma abordagem centrada na reabilitação*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Almeida, M., do C., Vieira, P., e Ribeiro, R. (2006). *Uso eficiente da água no sector urbano*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R. (2006) Integrated water meter management. In press.

Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., García-Serra J. (2005). *Key Factors Affecting Water Meter Accuracy*. LEAKAGE 2005. Halifax, Canada

DL n.º 194/2009 20 de Agosto (visto 20-03-2017)
http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=2186&tabela=leis&so_mio_lo=

Farley, M.; Wyeth, G.; Ghazali, Z.; Istandar, A.; Singh, S. (2008). *A Guide to Understanding Water Losses*. The Manager's Non-Revenue Water Handbook. - United States : Niels van Dijk, Vivian Raksakulthai, Elizabeth Kirkwood.

Gonçalves, E., e Alvim, P. R. A. (2007). *Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis*. Programa de Modernização do Setor Saneamento Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília.

Gonçalves, R. F. (2009). *Uso racional de água e energia. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro.

Grilo, T.V. (2007). *Técnicas de reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137452222/Dissertacao.pdf>

Pedroso, V.M.R. (2007). *Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.

Rizzo A, Cilia J. (2005). Quantifying Meter Under-Registration Caused by the Ball Valves of Roof Tanks (for Indirect Plumbing Systems). LEAKAGE 2005. Halifax, Canada

WRc (2017) <http://www.wrcplc.co.uk/sahara-leak-location-system.aspx>. Water Research Centre (visto no dia 01.02.2017)

Outros Websites consultados:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/PSan/2009-2010/1-semester/sebenta> - (acedido em 12-09-2017)

<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html> - (acedido em 15-09-2017)

<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html> - (acedido em 15-09-2017)

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgIA0AJ/micro-hidrogeradores-energia-eletrica-residenciais-os-veiculos-eletricos> - (acedido em 18-09-2017)

<https://mankenberg.com/pt/20/prgb:2/pr:128/product:uv-1.3/products.html> - (acedido em 20-10-2017)

<https://mankenberg.com/pt/20/prgb:1/product:vlvulas-redutoras-de-presso/products.html> - (acedido em 20-09-2017)

http://www.ascentro.pt/catalogos/valvulas_saint_gobain.pdf - (acedido em 20-10-2017)

http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/ln_valvulas/vtf02.asp - (acedido em 20-10-2017)

<http://www.aguas.tecnilab.pt/conteudo/areas-actuacao/aguas/apr-instrumentacao-fisica/apr-instfis-caudal/medidor-caudal-eletromagnetico> - (acedido em 27-10-2017)

http://www.pamline.pt/sites/pamline_fr/files/c9_plus.pdf - (acedido em 6-11-2017)

http://www.cgf.janz.pt/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=62#4. - (acedido em 14-11-2017)

http://www.cgf.janz.pt/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=46

- (acedido em 14-11-2017)

<https://www.google.pt/search?q=curva+de+erro+t%C3%ADpica+para+contador+de+velocidade+de+macromedi%C3%A7%C3%A3o&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjx944rMLSAhUHXBQKHT2jAAsQsAQIJA&biw=1093&bih=499#imgrc=ffG2P94Q32DLvM>: - (acedido em 14-11-2017)

<http://docplayer.com.br/17742561-Avaliacao-do-impacto-da-reducao-de-pressao-nas-perdas-reais-em-setor-de-distribuicao-de-agua-do-municipio-de-campo-grande-ms.html>
- (acedido em 16-11-2017)

<https://armstrongplumbing.wordpress.com/tag/galvanized-pipe/> - (acedido em 20-11-2017)

<https://www.dgs.pt/saude-publica1/amianto.aspx> - (acedido em 20-11-2017)

<http://www.aquasis.pt/pt/sistemas-de-telegestao> - (acedido em 22-11-2017)

<http://pertangola.com/ambiente/equipamentos/primayer/> - (acedido em 24-11-2017)

<http://www.primayer.com/products/mikron3/> - (acedido em 24-11-2017)

<http://pertangola.com/ambiente/equipamentos/primayer/> - (acedido em 24-11-2017)

<http://www.primayer.com/products/eureka3/> - (acedido em 25-11-2017)

<http://www.primayer.com/products/enigma/> - (acedido em 25-11-2017)

<http://www.wrcplc.co.uk/Data/Sites/1/media/pdfs/Promotional%20flyers/2.%20Pure%20Technologies%20-%20SmartBall.pdf> - (acedido em 25-11-2017)

<http://www.wrcplc.co.uk/leak-detection-location> - (acedido em 28-11-2017)

<http://www.aguasdocentrolitoral.pt/pt/menu-de-topo/atividade/abastecimento-de-agua/?id=19> - (acedido em 7-12-2017)

ANEXOS