

Gestão de Perdas em Redes de Abastecimento de Água - assistida pelo simulador EPANET

Tiago Orlando Moraes Moreira

Orientador: Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo

Fevereiro 2011



1. Sumário

Neste trabalho de dissertação irão ser abordados temas relacionados com Gestão de Abastecimento e Distribuição de Água. Apresentada uma visão global das diferentes vertentes e forma de como podem ser encarados e geridos problemas relacionados com a gestão da água, dando especial atenção e destaque às perdas de água. Faz-se referência a melhores técnicas disponíveis (MTD) para controlo, detecção e reparação de roturas e fugas de água. Mostra-se qual a importância do uso de programas de auxílio à tomada de decisão, como é exemplo o uso do EPANET, para combater e contribuir para a diminuição de água perdida e não facturada (perdas reais).

Após apresentação de noções teóricas sobre o tema, surge uma detalhada análise sobre um sistema de distribuição de água da INDAQUA Santo Tirso/Trofa, o Sistema de abastecimento de água R12 – S. Romão e S. Mamede do Coronado. Calibra-se o R12 no EPANET e daí consegue-se apresentar vários cenários e retirar conclusões fidedignas que poderão vir a surtir uma diminuição real do volume de perdas de água e consequente aumento de saldo positivo que será benéfico para a empresa.

In this dissertation work will be addressed topics related to Supply Management and Distribution of Water. Presented an overview of various aspects of form and how they can be viewed and managed issues related to water management, with particular attention and emphasis to water losses. The reference is the best available techniques (MTD) for control, detection and repair of ruptures and leaks. It shows how important the use of programs of aid to decision making, as exemplified by the use of EPANET to combat and contribute to the reduction of water loss and not invoiced (real losses).

After presenting theoretical notions on the subject, there is a detailed analysis of a water distribution system of INDAQUA Santo Tirso/Trofa, the water supply system R12 - S. Romão and S. Mamede do Coronado. Calibrate the R12 in EPANET and hence it is possible to present various scenarios and draw reliable conclusions that are likely to have an actual decrease in the volume of water loss and consequent increase in surplus that will be beneficial for the company.

2. Agradecimentos

Devo dar destaque neste trabalho ao nome de algumas pessoas que me apoiaram e ajudaram para que fosse possível a realização deste trabalho. Deixo então um agradecimento a:

- Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo (FEUP)
- Engenheira Joana Frada (INDAQUA)
- Engenheiro Diogo Coelho (INDAQUA)
- Engenheira Mariana Frada (INDAQUA)
- Francisco Cacheira (INDAQUA)
- Marco Teixeira (INDAQUA)
- Liliana Moura (INDAQUA)
- Teresa Ferreira (FEUP)
- Tiago Pinto (FEUP)
- Gil Lopes (FEUP)
- Todos os amigos pelo apoio e ajuda prestada ao longo curso
 - Diogo Nunes (FEUP)
 - Helena Rodrigues (FEUP)
 - João Pedro (FEUP)
 - Daniela Pereira (FEUP)
 - Raquel Silva (FEUP)
 - Mariana Queirós (FEUP)
 - Liliana Cardoso (FEUP)
- Todos os professores pelo conhecimento e amizade transmitida
- Aos meus Pais – José Moreira e Maria Isabel Morais

3. Índice

1. Sumário	a
2. Agradecimentos.....	b
3. Índice.....	c
4. Índice de Figuras.....	f
5. Introdução	1
6. Pesquisa bibliográfica.....	9
6.1. Sistemas de abastecimento de água em Alta e em Baixa – (Adução e Distribuição)	11
6.1.1. Águas do Noroeste – Sistema de Abastecimento de Água em Alta/Adução	14
6.1.2. INDAQUA – Sistema de Abastecimento de Águas em Baixa/Distribuição	18
6.2. Políticas de gestão.....	26
6.3. Perdas de Água	31
6.4. Zonas de Medição e Controlo (ZMC)	41
6.5. Indicadores de desempenho	43
6.6. Reparação de condutas sem abertura de vala	46
6.7. Contadores – Subcontagem / Roubo / Leituras	54
6.8. EPANET	61
7. Conclusões bibliográficas	65
8. Âmbito e objectivos	67

9. Descrição do trabalho.....	68
10. Políticas a adoptar no que respeita ao controlo de contadores	70
11. Melhor técnica disponível para efectuar reparação de rotura de tubagem sem abertura de vala	71
12. Formas mais eficazes de detecção de fugas de água	72
13. Balanço Hídrico / Nível Económico de Perdas.....	79
14. Resultados – EPANET – gráficos – tabelas – mapas – imagens – análises – resultado de simulações – ZMC – ZGP – Fotos.....	88
14.1. Distribuição dos consumos (caudais) pelos Nós	88
14.2. Análise sobre a pressão e distribuição de caudal de perdas	96
14.3. Outros dados que caracterizam o R12	123
14.4. Análises sobre o sistema R12.....	127
14.4.1. Dados recolhidos do EPANET representativos da actualidade do sistema R12.....	128
14.4.2. Cenário Actual - Para um consumo médio de 25 m ³ /h.....	129
14.4.3. Cenário Actual – Para um consumo actual máximo de 110 m ³ /h	130
14.4.4. Cenário Futuro - Para um consumo médio de 140 m ³ /dia.....	132
14.4.5. Cenário Actual – Para um consumo médio de 25 m ³ /dia	135
14.4.6. Cenário Actual – Para um consumo máximo de 110 m ³ /dia	136
14.4.7. Cenário Futuro – Para um consumo médio de 140 m ³ /dia.....	136
14.5. Simulações propostas de alteração à rede no sentido de provocar abaixamento da pressão	137
14.5.1. Cenário 1.....	138

14.5.2. Cenário 2.....	142
14.5.3. Cenário 3.....	146
14.5.4. Saldo Volumétrico	149
15. Conclusões.....	154
16. Trabalhos futuros.....	156
17. Bibliografia.....	- 1 -
18. Anexos	i
18.1. Anexo 1.....	i
18.2. Anexo 2.....	v
18.3. Anexo 3.....	xv
18.4. Anexo 4.....	xv
18.5. Anexo 5.....	xix
18.6. Anexo 6.....	xx
18.7. Anexo 7.....	xxi
18.8. Anexo 8.....	xxii
18.9. Anexo 8.1.....	xxiii
18.10. Anexo 9.....	xxiv
18.11. Anexo 10.....	xxvi
18.12. Anexo 11.....	xxviii
18.13. Anexo 12.....	xxx

4. Índice de Figuras

Figura 01: Ciclo hidrológico da água.

Figura 02: Balanço Hidrológico Mundial da Água, distribuição e quantificação dos seus diversos estados.

Figura 03: Ciclo de utilização da água (Subciclo do ciclo hidrológico).

Figura 04: Quatis representativos dos diferentes tipos de classificações dos anos hidrológicos.

Figura 05: Precipitação anual e respectiva classificação de hidrológica de uma bacia hidrográfica do sul de Portugal.

Figura 06: Redes Malhadas em Anéis e Blocos.

Figura 07: Redes Ramificadas em espinha de peixe e traçado em grelha.

Figura 08: Redes Mista – Malhada e Ramificadas.

Figura 09: Interligações de Sistemas de Abastecimento de Água em Alta.

Figura 10: Entidades Gestoras responsáveis pelos serviços nos sectores de águas.

Figura 11: Municípios que usufruem dos serviços das Águas do Noroeste.

Figura 12: Aspecto das Infra-estruturas de captação e tratamento do Sistema Multimunicipal em Areias de Vilar. (Capacidade diária para tratar 146.000m^3 de água).

Figura 13: Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água ao Baixo Cávado e Ave.

Figura 14: O Sistema Multimunicipal Actualmente em Serviço em Santo Tirso.

Figura 15: Expansão do Sistema de Abastecimento de Água a outras áreas ainda não abrangidas de Santo Tirso.

Figura 16: Onde está a INDAQUA em Portugal.

Figura 17: Reclamações recebidas na ERSAR relativamente ao Concelho de Santo Tirso.

Figura 18: Qualidade da água para consumo humano no Concelho de Santo Tirso.

Figura 19: Sistema global de Abastecimento de Água da INDAQUA em Santo Tirso (com cartografia de fundo à esquerda e sem cartografia de fundo à direita).

Figura 20: Sistema global de Abastecimento de Água da INDAQUA na Trofa com cartografia de fundo.

Figura 21: Imagem global da Rede de Abastecimento de Água, Sistema R12 – S. Romão e S. Mamede do Coronado.

Figura 22: Único Reservatório do Sistema de Abastecimento de Água R12 em São Mamede do Coronado, e seus componentes (Válvulas de corte, caudalímetro VRP).

Figura 23: Entrosamentos que deve prevalecer para proporcionarem uma boa gestão de Mudança.

Figura 24: Níveis de qualidade de gestão.

Figura 25: Fases do Desenvolvimento que caracterizam os estágios de gestão.

Figura 26: Fontes de rendimento de uma concessão em baixa.

Figura 27: Campos de um balanço hídrico.

Figura 28: Identificação os campos da água com objectivo a facturar e a reduzir por forma aumentar receita.

Figura 29: Definições e respectivas referências bibliográficas para os conceitos afectos ao cálculo das perdas de água.

Figura 30: Campos de intervenção para reduzir perdas de água.

Figura 31: Consequência da aplicação de políticas de redução de perdas de água.

Figura 32: Esquema da delimitação de ZMC na rede de distribuição (com controlo da rede adutora).

Figura 33: Aplicabilidade das diferentes técnicas aos diferentes materiais constituintes das condutas.

Figura 34: Técnica de revestimento com argamassa de cimento; (a) raspadores de aço; (b) dispositivo de spray para aplicação de argamassa.

Figura 35: Técnica de Spray Relining (espigão de aplicação de resina).

Figura 36: Técnica de re-entubamento simples.

Figura 37: Técnica de re-entubamento por destruição da tubagem existente.

Figura 38: Técnica de re-entubamento por redução diametral.

Figura 39: Técnica de re-entubamento com tubo de parede dobrada.

Figura 40: CCTV (dispositivo de vídeo para inspecção de condutas).

Figura 41: Filmagens a condutas para reparação

Figura 42: Princípio de funcionamento de um contador volumétrico.

Figura 43: Curva de erros e limites máximos admissíveis.

Figura 44: Comparação da curva de erros de contadores da classe B e C.

Figura 45: Esquema de um sistema de leitura automática de contadores.

Figura 46: Técnicas de reparação de conduta sem abertura de vala.

Figura 47: Detecção de fugas em ramal. Fecho de Válvula (Cabeça Móvel); Tirar contador/Colocar Manómetro de Pressão; Leitura da Variação da Pressão durante 5 a 10 min.

Figura 48: Reparação de uma conduta com abertura de vala e com eletrofusão (soldadura) da conduta.

Figura 49: Utilização de um geófono para localização de uma fuga de água.

Figura 50: Registadores acústicos.

Figura 51: Correlador acústico.

Figura 52: Princípio da correlação acústica.

Figura 53: Gráfico referente ao consumo de um cliente especial ao longo de uma semana.

Figura 54: Gráfico esquemático da determinação do Óptimo de Pareto para o NEPr.

Figura 55: Folha 4 do Excel - SAP_Consumos Reais vs Ruas vs cpc por Rua.

Figura 56: Folha 5 do Excel - Ruas vs Condutas vs Comprimento vs cpc por Conduta vs Consumo nos Nós.

Figura 57: Algoritmo a correr em MATLAB que permite calcular Consumo nos Nós a utilizar no EPANET.

Figura 58: Exemplo de ficheiros criados, após execução do programa MATLAB, passíveis de serem lidos pelo EPANET com informação calibrada referente ao consumo nos Nós.

Figura 59: Imagem representativa do Layout apresentado ao utilizador na execução do programa (1ª etapa – buscar o programa; 2ª etapa – escolher o tipo de calculo a efectuar, ‘resolução 1 ou 2’).

Figura 60: Locais onde se efectuaram as medições da variação de pressão num intervalo de tempo.

Figura 61: Caixa de recepção da VRP em Covelas no R12. Data-loggers na VRP; VRP com Manómetro de pressão acoplado.

Figura 62: Caixa de recepção da VRP em S. Mamede do Coronado no R12. Data-loggers na VRP; VRP com filtro e sedimentador de partículas a montante para purga desses mesmos materiais.

Figura 63: Registadores de volume e de pressão, associados a contador.

Figura 64: Registo da variação de pressão na Rua Carvoeira. In-Sito.

Figura 65: Registo da variação de pressão na Rua Carvoeira para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó - N188).

Figura 66: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP de Covelas. In-Sito.

Figura 67: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP de Covelas para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó – N6).

Figura 68: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado. In-Sito.

Figura 69: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó – N208B).

Figura 70: Registo da variação de pressão na Rua Fernando Namora. In-Sito.

Figura 71: Registo da variação de pressão na Rua Fernando Namora, para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó – N66).

Figura 72: Registo das “trilhas” (ruas com condutas) e das cotas dos Nós recolhidos pelo GPS (Garmin-etrex,VISTA HCx), representados no programa TrackMaker.

Figura 73: Registo exportado da Telemetria dos consumos dos meses de Agosto, Setembro e Outubro.

Figura 74: Consumo médio para o mês de Outubro (m^3).

Figura 75: Consumo médio de água semanal do mês de Outubro excluindo os fins-de-semana (m^3).

Figura 76: Consumo médio de água nos fins-de-semana (Sábado + Domingo) do mês de Outubro (m^3).

Figura 77: Consumo médio de água num dia médio do mês de Outubro (m^3).

Figura 78: Consumo médio horário de água num dia médio do mês de Outubro (m^3).

Figura 79: Consumo médio horário de água num dia médio (m^3/h).

Figura 80: Consumo médio horário de água num dia médio (m^3/h).

Figura 81: Número de ramais por conduta.

Figura 82: Factores horários do consumo efectivo da rede padronizados (sem perdas).

Figura 83: 1º gráfico representa a variação em metros da cota de água no reservatório. O 2º gráfico e a tabela, representam os Factores horários da variação da cota de água no reservatório inseridos no EPANET.

Figura 84: Relatório global da calibração da pressão nos locais escolhidos.

Figura 85: Relatório global da calibração da pressão nos locais escolhidos segundo uma análise estatística.

Figura 86: Gráfico de barras com comparação das médias reais e simuladas.

Figura 87: Registo da variação de pressão na Rua Carvoeira. Vermelho no EPANET; Verde in-situ.

Figura 88: Registo da variação da pressão imediatamente a jusante da VRP de Covelas. Vermelho no EPANET; Verde In-Situ.

Figura 89: Registo da variação do caudal da VRP de Covelas. Simulado no EPANET.

Figura 90: Registo da variação da pressão imediatamente a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado. Vermelho no EPANET; Verde In-Situ.

Figura 91: Registo da variação do caudal a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado. Simulado no EPANET.

Figura 92: Registo da variação de pressão na Rua Fernando Namora. Vermelho no EPANET; Verde in-situ.

Figura 93: Sistema pressurizado do R12 (Caudalímetros; Reservatório regulador/igualizador das bombas; 3 Bombas de rotação variável).

Figura 94: Imagem do Google Earth com o R12 (Coordenadas: 41°16'55.86"N -8°34'08.64"O) e representação do R12 no EPANET com imagem cartográfica de fundo. Representação da distribuição real dos aglomerados habitacionais.

Figura 95: Representação e distribuição dos tipos de habitações e serviços (de diferentes andares) presentes no R12.

Figura 96: Sugestão e representação de ZMCs para o Sistema R12.

Figura 97: Tabelas de nós e troços (seria possível apresentação esquemática da rede com a identificação e valores atribuídos aos nós e condutas. Essas imagens não são aqui apresentadas, pois dada a concentração e elevada quantidade de informação, torna-se ilegível e perceptível essa informação.

Figura 98: Para consumo médio actual: Apresentação de gráficos das isolinhas – distribuição das pressões às 5h e às 20h respectivamente.

Figura 99: Para consumo actual médio: Comportamento da pressão na rede, na hora de maior consumo (20h).

Figura 100: Para consumo médio actual: Comportamento da pressão na rede, na hora de menor consumo (5h).

Figura 101: Para consumo médio actual: Comportamento do caudal de abastecimento às 20h.

Figura 102: Para consumo Actual máximo: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente.

Figura 103: Para consumo Actual máximo: Comportamento da pressão na rede na hora de maior consumo (20h).

Figura 104: Para consumo Actual máximo: Comportamento da pressão na rede na hora de menor consumo (5h).

Figura 105: Para consumo Actual máximo: Comportamento do caudal de abastecimento às 20h.

Figura 106: Para consumo Futuro médio: Apresento gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente.

Figura 107: Para consumo Futuro médio: Comportamento da pressão na rede na hora de maior consumo (20h).

Figura 108: Para consumo Futuro médio: Comportamento da pressão na rede na hora de menor consumo (5h).

Figura 109: Para consumo Futuro médio: Comportamento do caudal de abastecimento às 20h.

Figura 110: Para consumo Futuro médio: À esquerda apresenta-se o comportamento da pressão na rede na hora de maior consumo (20h); à direita uma sugestão de correcção que possibilite o aumento das pressões.

Figura 111: Para consumo actual médio: Perdas de carga nas condutas (20h).

Figura 112: Para consumo actual máximo: Perdas de carga nas condutas (20h).

Figura 113: Para consumo Futuro médio: Perdas de carga nas condutas (20h).

Figura 114: Cenário 1 com criação de ZGP no R12 por análise do simulador EPANET.

Figura 115: Cenário 1 em hora de maior consumo e menor pressão presente na rede (20h).

Figura 116: Cenário 1 em hora de menor consumo e maior pressão presente na rede (5h).

Figura 117: Perdas de carga nas condutas (20h) para o Cenário 1.

Figura 118: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente para o cenário 1.

Figura 119: Representação das alterações efectuadas no R12 e simuladas no EPANET – Cenário 2.

Figura 120: Cenário 2 com criação de ZGP no R12 por análise do simulador EPANET.

Figura 121: Cenário 2 em hora de maior consumo e menor pressão presente na rede (20h).

Figura 122: Cenário 2 em hora de menor consumo e maior pressão presente na rede (5h).

Figura 123: Perdas de carga nas condutas (20h) para o Cenário 2.

Figura 124: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente para o cenário 2.

Figura 125: Cenário 3 com criação de ZGP no R12 por análise do simulador EPANET.

Figura 126: Cenário 3 em hora de maior consumo e menor pressão presente na rede (20h).

Figura 127: Cenário 3 em hora de menor consumo e maior pressão presente na rede (5h).

Figura 128: Perdas de carga nas condutas (20h) para o Cenário 3.

Figura 129: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente para o cenário 3.

5. Introdução

A água é vida. Proteger a Água é defender a Vida. Água é um direito de todo o homem, contudo esta não está disponível nem é distribuída de forma igual por todos.

O ciclo hidrológico tem um papel fundamental na distribuição e disponibilidade da água, este constitui um processo natural, interminável, característico da Terra, representando a movimentação contínua da água entre a superfície terrestre (continentes, rios, lagos e água subterrânea), os oceanos e a atmosfera.

O elemento dinamizador deste movimento cíclico é a radiação solar.

Através de fenómenos de precipitação, escoamento, armazenamento, evaporação e condensação, existe um autêntico processo de recirculação da água, funcionando a um nível global no planeta. [39] [40] [41]

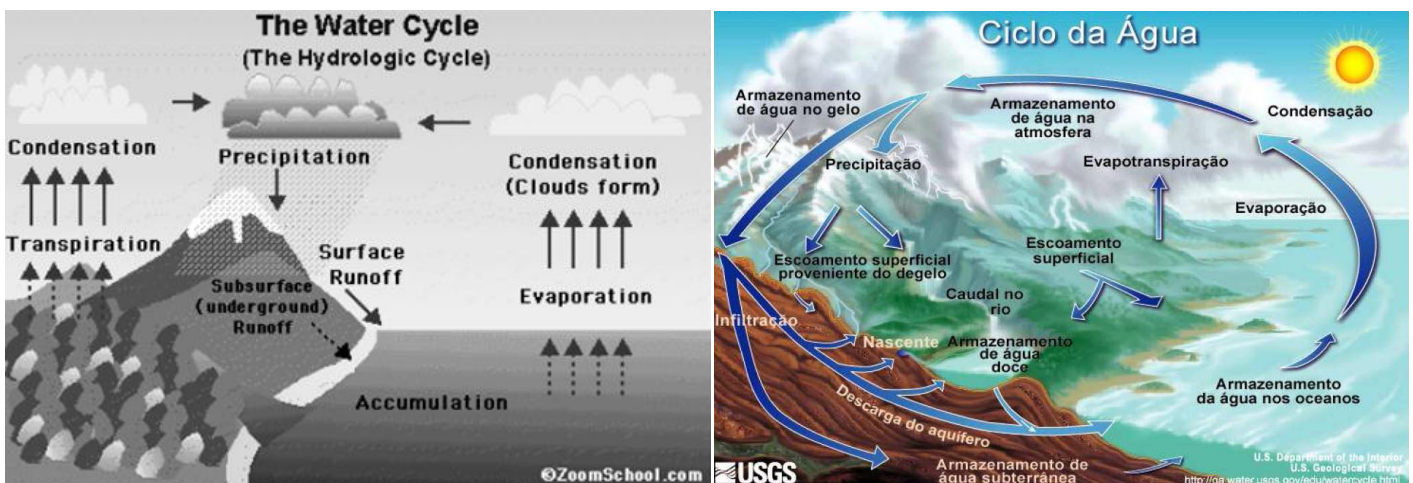
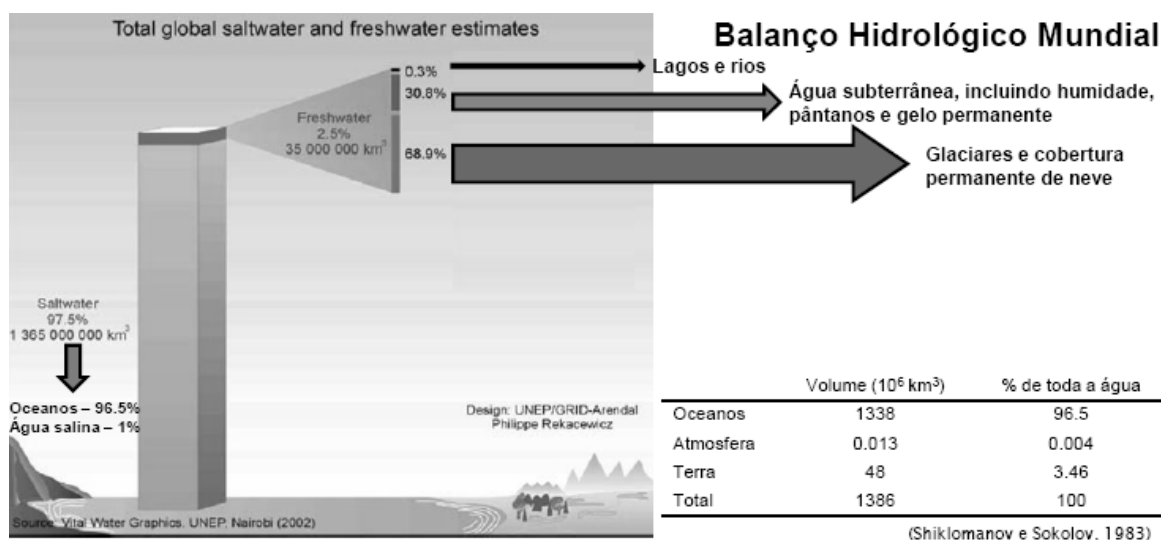


Figura 01: Ciclo hidrológico da água

As 5 componentes principais do ciclo hidrológico são, então: [39] [40] [41]

- Precipitação / Precipitation
- Escoamento (superficial e subterrâneo) / (Surface and Subsurface) Runoff
- Armazenamento (superficial e subterrâneo) / Storage or Accumulation
- Evapotranspiração / Evapotranspiration (Evaporation + Transpiration)
- Condensação / Condensation

Existem milhões de m³ de água no nosso planeta, cerca de 70% da Terra é água numa das suas diferentes formas de estado. [39] [40] [41]



Importância relativa das diferentes reservas hídricas				
Designação	Area (Mkm ²)	Volume (Mkm ³)	Volume (%)	Tempo de residência
Oceanos e mares	361	1370	94	~ 4000 anos
Lagos e reservatórios	1.55	0.13	< 0.01	~ 10 anos
Pântanos	< 0.1	< 0.01	< 0.01	1 ~ 10 anos
Rios	> 0.1	< 0.01	< 0.01	~ 2 semanas
Humidade do solo (zona não saturada)	130	0.07	0.01	2 semanas ~ 1 ano
Águas subterrâneas	130	60	4	2 semanas – 10000 anos
Gelos e glaciares	17.8	30	2	~ 10 - 1000 anos
Água na Atmosfera	504	0.01	< 0.01	~ 10 dias
Biosfera	< 0.1	< 0.01	< 0.01	1 semana

Figura 02: Balanço Hidrológico Mundial da Água, distribuição e quantificação dos seus diversos estados.

A intervenção do Homem no Ciclo Hidrológico é apenas parcial, dando origem a um sub-ciclo (o ciclo de utilização da água). A água captada nas reservas naturais (superficiais ou subterrâneas) é submetida a um processo de tratamento para ser utilizável (matéria prima). Depois de utilizada, a sua qualidade é naturalmente degradada, tornando-se necessário novo tratamento antes da devolução às reservas naturais em condições satisfatórias. ^{[39] [40] [41]}

Em certos casos, pode não existir o último processo de tratamento, assim como, existindo este processo, pode ser atingido um grau de qualidade elevada que possibilite uma reutilização do mesmo volume de água. ^{[39] [40] [41]}

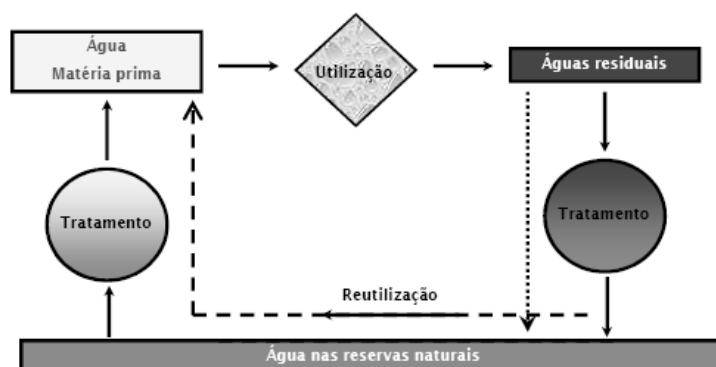


Figura 03: Ciclo de utilização da água (Sub-Ciclo do ciclo hidrológico).

A água é deveras importante para a sobrevivência do homem. Contudo nos locais onde ela mais escasseia faz-se sentir o poder económico sobre esta, daí se poder afirmar que o homem mais rico consegue ter sempre água disponível.

O facto de hoje e amanhã ter água com qualidade e abundância, não garante se daqui a 40 ou 50 anos continuaremos a possuir essa mesma água nesse mesmo local, por isso, o homem deve proceder a um uso racional deste bem tão precioso.

A água, na etapa de precipitação do seu ciclo hidrológico, não cai sistematicamente no mesmo sítio e com a mesma intensidade. Muitas das vezes da água doce existente (da pequena percentagem $\pm 3\%$ existente) não possuímos o seu acesso. Esta já existe em pequena quantidade, e mesmo assim muita dela fica retida após etapas de precipitação, não voltando a entrar no normal ciclo da água. Muita fica aprisionada no gelo, outra fica confinada em aquíferos no subsolo e por outro lado, muita outra percorre o ciclo da água num tempo tão rápido que o homem nem chega a ter possibilidade e tempo de acesso a essa água.

O nosso planeta tem limites e nós homens temos e devemos aceitá-los e respeitá-los, pois nós homens é que pertencemos à Terra e não a Terra ao homem. O ciclo da água, como um ciclo infinito dá a entender que a água é um bem infinito e que se encontra em constante movimento e renovação. Contudo este ciclo, por acção e influências das actividades antropogénica, sofre interferências. A quantidade de água com qualidade a ser contaminada é maior, a quantidade de água com qualidade disponível cada vez é mais difícil de explorar. As quantidades de água a tratar são cada vez maiores não dando tempo ao ciclo da água de a repor da mesma forma, disponível ao homem, em tempo conveniente para satisfazer as necessidades do elevado consumismo, comodismo e irracionalismo do homem. Esta influência antropogénica poderá causar um percurso forçado do movimento da água, fazendo que esta possa vir a diminuir, mesmo a deixar de existir em determinadas zonas da Terra, levando esta a predominar com abundância noutros locais que poderão ser locais de aprisionamento da água, retirando esta do tempo de utilização do homem do ciclo da água.

O homem sente assim necessidade de gerir e controlar a disponibilidade da água com qualidade. Para isso efectua recolha dos registos pluviométricos, e estes dados em Portugal podem ser obtidos recorrendo ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

Efectuam-se as correspondentes estimativas das precipitações anuais associadas a diferentes quantis, recorrendo a uma lei estatística (por exemplo: Lei de Pearson). Esses quantis, relacionados com períodos de retorno, permitem definir os diferentes tipos de anos hidrológicos. ^{[39] [40] [41]}

Quantil (%)	Período de Retorno (anos)	Tipo de ano
5	1.05	Muito seco
20	1.25	Seco
50	2	Médio
80	5	Húmido
95	20	Muito Húmido

Figura 04: Quatis representativos dos diferentes tipos de classificações dos anos hidrológicos.

No quadro seguinte, sistematizam-se as precipitações que decorreram da análise feita num Plano de Bacia Hidrográfica de Portugal (em Portugal a precipitação média anual é de cerca de 936 mm/ano) ^{[39] [40] [41]}

Quantil (%)	Tipo de ano	Precipitação anual na bacia (mm)
Média	-	756
5	Muito seco	365
20	Seco	553
50	Médio	751
80	Húmido	956
95	Muito Húmido	1159

Figura 05: Precipitação anual e respectiva classificação de hidrológica de uma bacia hidrográfica do sul de Portugal.

Dada a falta de disponibilidade de água onde o homem necessita de a usar, é necessário a criação de empresas que efectuem a sua distribuição e que garantam a sua qualidade de consumo. A evolução dos tempos fez com que o homem criasse sistemas de distribuição muito complexos, completos e sofisticados comparados com aquedutos existentes nos inícios das civilizações.

Contudo ainda muito se pode fazer no que respeita a contribuições benéficas para a gestão da água. Uma das prioridades actuais passa pela gestão de perdas de água nas redes de distribuição. As perdas de água são um grave problema, pois têm um forte peso nas despesas de uma empresa gestora de água, bem como possuem um forte impacte ambiental, pois contribui fortemente para o uso não racional na água.

Uma empresa de gestão de águas que apresente uma elevada percentagem de perdas de água deve mudar políticas e práticas de acção e gestão de forma a diminuir os custos inerentes a essas perdas. Necessário será, numa fase inicial, uma boa gestão de mudança, e para isso esta deve ser apoiada por elementos da mudança. Recorrendo à analogia entre empresa e uma corrente de elos interligados, a

resistência da corrente é determinada pelo elo mais fraco, daí a maior importância dos elementos de mudança se encontrarem em sintonia fomentando o entrosamento entre apoio político, liderança, tempo, contexto, conhecimento, tecnologia, financiamento (Tarifas, Transferências, Taxas) de forma a encontrar o termo em que accionistas, trabalhadores e clientes se encontrem satisfeitos. Para serem atingidos bons resultados com uma gestão de mudança, de forma a diminuir as perdas de água, recomenda-se as seguintes aplicações pela ordem exacta:

1. Criar um sentimento de urgência;
2. Reunir uma equipa forte para dirigir o processo;
3. Criar uma visão mobilizadora;
4. Comunicar a visão de forma alargada;
5. Responsabilizar os colaboradores para actuarem de acordo com a nova visão;
6. Apresentar resultados tão rapidamente quanto possível;
7. Reunir forças e usá-las para ultrapassar os obstáculos mais difíceis;
8. Ancorar a nova atitude na nova estrutura organizacional. ^[1]

Desta forma novas políticas surgirão e levarão ao combate das perdas de água sem grandes investimentos, conduzindo assim a um saldo mais positivo para a empresa gestora da água.

É importante que o responsável pelo processo de mudança se reja por regras simples e bem testadas, por exemplo os oito passos recomendados por 'John Kotter', recomendando-se, os seguintes pontos:

- Adoptar uma estrutura organizacional simples e plana;
- Criar uma equipa de reestruturação para coordenar o processo de mudança;
- Definir projectos de reestruturação para atingir os objectivos primordiais e distribuí-los pelos membros da equipa;
- Confiar nos membros da equipa: conceder-lhe a liberdade necessária para actuar de acordo com a nova estratégia/visão, não lhes concedendo a autoridade para alterar a estratégia, os objectivos ou as prioridades;
- Evitar estudos demorados;
- Tomar decisões rapidamente e potenciar que os restantes intervenientes decidam de modo igualmente rápido: um problema que demore mais do que uma semana a ser solucionado, deve merecer a atenção do líder;
- Um certo caos é inevitável, uma vez que a organização original foi fragmentada;
- Em certas fases do processo, não se gere verdadeiramente a mudança, "surfa-se". ^[2]

A existência de uma linha telefónica gratuita para os clientes comunicarem à empresa qualquer fuga que detectem, ou qualquer anomalia que sintam, deve ser

disponibilizada e divulgada. A política de serem disponibilizados na página da internet da empresa informação em tempo real relativa às perdas e consumos da rede poderá conduzir a uma maior sensibilização dos utentes no que respeita ao uso da água. Com esta transparência de gestão os resultados no combate às perdas de água serão certamente positivos contribuindo para a diminuição das perdas de água. ^[14]

De um modo geral, as empresas gestoras de águas procuram transitar por um processo contínuo com o objectivo de atingir um grau de excelência nos seus serviços prestados. Para isso, é conveniente e importante estabelecer diferentes estágios deste processo evolutivo: pré-eficácia, eficácia, eficiência e excelência. Qualquer empresa procura atingir o último degrau, o patamar da excelência, para atingir os melhores estágios de gestão (excelência), deverão obter os melhores resultados no desenvolvimento, e indicadores tais como o que respeita a Tempos de Decisão, e para isso o EPANET poderá contribuir positivamente, Indicadores de Gestão (período de controlo), Atendimento e Disponibilidade, Perdas (aumentar, melhorar, sofisticar e inovar o controlo de perdas com intuito de as reduzir bem como os custos a si inerentes, uma forma eficaz de o concretizar será baixar ao mínimo aceitável os níveis de pressão na rede de abastecimento), Emergências e Informação. ^[14]

Ao longo deste trabalho poder-se-á encontrar abordagens relacionadas com temáticas directamente ligadas à gestão de abastecimento de água. Será dado especial relevo à gestão de perdas de água em redes de abastecimento em baixa/distribuição (ramais e condutas de abastecimento doméstico) e ao EPANET – Simulador hidráulico e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água. Pretende-se que com a implementação assistida do simulador EPANET, se melhore a tomada de decisões conseguindo atingir resultados mais assertivos, prontos e imediatos simulando vários cenários no sentido de se vir a aplicar aquele que se mostre mais eficaz e rentável. Complementar e conjugar informação fornecida por um sistema informático de telemetria com a informação do EPANET, resultará uma triangulação que arrebatará resultados em menor tempo, correspondendo a um menor gasto de recursos e a uma resolução mais breve do problema resumindo-se numa diminuição das despesas.

Haverá especial preocupação em enunciar os diversos componentes de um balanço hídrico no sentido de apresentar os mais variados aspectos relacionados com a redução das perdas de água de forma a compreender o percurso da água desde que esta é comprada a uma fonte de distribuição em alta/adutora até ser distribuída em baixa/distribuição chegando a casa do consumidor. ^[3,4]

Para o bom entendimento das conclusões a que este trabalho possa chegar, é de maior importância, que sejam facultados aos leitores alguns aspectos relevantes que respeitem abordagens relacionadas com a gestão de abastecimento de águas. Aspectos tais que permitam conhecerem diferentes modelos de gestão, mostrando como estes estão dependentes das condições e cenários ostentados. Importante referir as diversas formas passíveis de se adaptarem à realidade de financiamento dos sistemas, podendo recorrer-se a Tarifas, Taxas ou Transferências (subsídios ao investimento) (TTT).^[14]

Nesta dissertação será também realizada uma apresentação da empresa INDAQUA, qual o seu enquadramento no que se refere a abastecimento, armazenamento e distribuição de água. Aludirá igualmente a uma análise de quais as suas políticas de gestão implementadas e regentes das práticas actuais, procurando descobrir as suas dinâmicas bem como indicadores de desempenho apresentados.

Será efectuada uma pesquisa sobre reabilitação de condutas, procurando solucionar da forma mais rápida e económica o problema das perdas de água, apresentando dessa forma as diferentes possibilidades de restituir uma conduta. Encontrada a técnica que se adequa mais eficazmente à realidade da INDAQUA procurar-se-á sugerir uma técnica que se adequa melhor à empresa e que se enquadre com as técnicas adoptadas actualmente pela empresa.

Posteriormente será apresentada uma análise sobre os diferentes tipos de contadores de água, suas perdas e roubos bem como novas e melhores técnicas disponíveis para efectuar leituras. Sente-se necessidade de abordar este tema pelo facto de se exprimirem percentagens consideráveis de perdas de água devido a erros de micromedição apurados em contadores, bem como em ligações ilícitas ao Sistema.

Esta fase de pesquisa culminará com uma breve descrição sobre as características e funcionamento do programa a utilizar como simulador hidráulico de uma rede de abastecimento da INDAQUA (Sistema sobre o qual recairá o estudo que será o R12 – Sistema de Abastecimento de S. Romão e S. Mamede do Coronado – Trofa). Para aplicação prática no simulador EPANET impõem-se os seguintes passos descritos de uma forma resumida:

- Aperfeiçoar e complementar o cadastro da rede do sistema R12, complementando com alguns nós e condutas que entretanto constituíram expansão à rede.

- Obtenção e confirmação, através de leitura no terreno, de cotas dos nós e reservatórios, bem como elevações e/ou depressões acentuadas do terreno.
- Conhecer a distribuição dos prédios com maior número de andares.
- Após concretizado no EPANET de todo o R12, obter no terreno confirmação de alguns dados em locais estratégicos de caudal, velocidade e pressão do fluido no interior das condutas.
- Efectuar posteriormente uma análise de consumos com base na facturação a utilizadores do Serviço existente, podendo calibrar o sistema distribuindo esse consumo pelos Nós.
- Calibrar, definindo o consumo padrão presente no R12, e o padrão do reservatório.
- Calibrar o sistema no que respeita a Nós aspersores de água, calibrando as perdas de água. Efectuar uma distribuição do caudal de perdas pelos nós.
- Culminará com um breve estudo de Zonas de Gestão de Pressão (ZGP) e Zonas de Medição e Controlo (ZMC) no sistema de forma a obter as pressões máximas e mínimas ideais no sentido de diminuir as perdas de água. Esse estudo poderá levar a sugestões de aplicações de novas válvulas redutoras de pressão em locais estratégicos, a ligeiras reformulações de redes de abastecimento, entre outros.

No culminar desta fase inicial da Dissertação surgem as conclusões bibliográficas onde serão apresentadas algumas opiniões pessoais que poderão ter influência nas abordagens seguintes.

Após esta fase inicial de pesquisa bibliográfica é apresentada a descrição do trabalho nos seus diversos tópicos. Nessa etapa da dissertação será efectuada uma memória descritiva, onde serão apresentadas análises e desenvolvimento mais aprofundado dos dados da empresa, serão aprofundados os temas anteriormente abordados no sentido de estudar a sua aplicabilidade à INDAQUA, serão apresentados resultados e os procedimentos tomados para a calibração do simulador, bem como serão anunciados e discutidos diferentes cenários (situações actual e possível expansão do R12, bem como alterações que provoquem a diminuição da pressão global do R12) referentes ao caso de estudo. Apresentam-se sugestões que poderão levar a um “salto” no que respeita à descoberta de algo inovador, não para a área da gestão de águas, mas sim que possa acrescentar algo mais à gestão de água da INDAQUA, em especial no que respeita à gestão das perdas de água no R12.

6. Pesquisa bibliográfica

A procura de água em Portugal para o sector urbano está actualmente estimada em cerca de 570 milhões de metros cúbicos por ano, a que corresponde um custo para a sociedade de 875 milhões de euros, representando 0,77% do Produto Interno Bruto Português. Acontece que nem toda esta água é efectivamente bem aproveitada, havendo uma parcela importante associada a ineficiência de uso, sob a forma de perdas e desperdícios. Essa ineficiência, correspondente a cerca de 240 milhões de metros cúbicos por ano e tem custos estimados em 370 milhões de euros.

[7] [37]

Sendo a água um factor essencial para o desenvolvimento socioeconómico do País, e consequentemente um recurso estratégico e estruturante, há necessariamente de se garantir uma elevada eficiência no seu uso, como contributo para a sustentabilidade dos Recursos Naturais.

Trata-se, por um lado, de um imperativo ambiental, já que os recursos hídricos não são ilimitados e é portanto necessário protegê-los e conservá-los. Um aumento da eficiência traduz-se evidentemente numa redução dos caudais captados e portanto numa maior salvaguarda dos recursos. Por outro lado, esta opção corresponde a uma necessidade estratégica ligada às disponibilidades e reservas de água no País, na medida em que, embora à escala nacional e anual, Portugal não tenha graves problemas de escassez em situação hídrica normal, podem no entanto ocorrer situações críticas, sazonais ou localizadas. Estas situações podem ser não apenas de carácter quantitativo, mas também de carácter qualitativo, com redução das disponibilidades de água com a qualidade necessária resultante da poluição. [7]

Justifica-se assim a crescente preocupação em promover um uso mais eficiente da água, ou seja, otimizar a utilização desse recurso – eficiência de utilização -, sem pôr em causa os objectivos pretendidos - eficácia de utilização - ao nível das necessidades vitais da sociedade, da qualidade de vida da população e do desenvolvimento socioeconómico do País. O objectivo é utilizar menos água para conseguir os mesmos objectivos, permitindo também, como benefícios indirectos, a redução da poluição dos meios hídricos e a redução do consumo de energia, aspectos fortemente dependentes do consumo de água.

Este processo de consciencialização deve ser materializado através de medidas concretas que conduzam à alteração das práticas actuais, o que se pretende atingir através da implementação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água.

Este Programa integra-se no esforço de planeamento dos recursos hídricos que o País tem vindo a efectuar, materializado no Plano Nacional da Água e nos Planos de Bacia Hidrográfica. ^{[01] [02]}

Uma parcela importante desta ineficiência corresponde a perdas reais e aparentes nos sistemas públicos de abastecimento. Entre os factores que influenciam as perdas reais estão o comprimento total de condutas, o estado das condutas e componentes, o seu material, a frequência de fugas e de roturas, a densidade e comprimento médio de ramais, a pressão de serviço média, a localização do medidor de caudal domiciliário no ramal e o tipo de solo e as condições do terreno, relevantes sobretudo no modo como se torna aparente ou não a ocorrência de roturas e fugas. Os factores que influenciam as perdas aparentes são em geral as ligações ilícitas, o uso fraudulento de bocas-de-incêndio e os erros associados à medição. ^[14]

Comparando com outros países da União Europeia, o nosso não é, por norma, carente em recursos hídricos, embora, por perturbações climáticas, sofra ocasionalmente de situações críticas de seca como as que se vem verificando nos últimos verões em determinadas zonas do país. Tal como a disponibilidade de água em Portugal, a população não é equitativamente distribuída pelo território nacional. Encontra-se concentrada em grandes cidades ao longo da linha costeira, abrangida por cinco grandes Sistemas de Abastecimento Multimunicipal em alta/adução.

Sendo a zona litoral onde se encontram as maiores redes de distribuição e onde existe maior consumo de água, é também aqui que se verifica um maior número de situações em que é utilizada de forma irracional e ineficiente. Contudo, pior que não saber usar é desperdiçar.

Estima-se que em Portugal estas perdas atinjam em média os 40%, correspondendo a 70 milhões de euros, considerando-se como objectivo a atingir a meta de 15%.^[7] Campanhas de sensibilização para a racionalização dos consumos domésticos, cortes na agricultura, entre outras devem ser políticas a aplicar no nosso país no que respeita à gestão da água. Estas medidas de incentivo à diminuição do uso da água por parte dos consumidores vai sendo aplicada, mas ao mesmo tempo grande quantidade de água é por vezes desperdiçada nas velhas e mal executadas redes de distribuição. Um Sistema de abastecimento de água está sempre sujeito a fugas. Algumas entidades nacionais têm trabalhado positivamente no sentido da sua redução, atingido já resultados comparáveis com outros países detentores de maior experiência na abordagem desta matéria. ^{[14] [38]}

6.1. Sistemas de abastecimento de água em Alta e em Baixa – (Adução e Distribuição)

O contínuo crescimento da população tem levado a um aumento no consumo de água, o que exige uma maior e melhor gestão desta. Para isso tem vindo a ser criado em Portugal uma série de entidades e Planos com o objectivo de gerir da melhor forma a água de qualidade existente no nosso Meio Hídrico. A necessidade de criação de barragens, albufeiras, Estações de Tratamento de Água (ETA), a criação de Planos de Bacias Hidrográficas (PBH), um Plano Nacional de Água (PNA), Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas residuais (PEAASAR) e mesmo legislação como a Directiva Quadro da Água (DQA), entre outras, têm sido ferramentas bastante importantes na gestão deste Recurso Natural que é a Água. Entidades como as Águas de Portugal (AdP), Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), Instituto da Água (INAG), Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território (MAOT), entre outras, são algumas das entidades que se articulam entre si, para gerir da melhor forma possível a preservação da qualidade da água e o seu abastecimento. ^{[b] [c] [d] [m]}

Em Portugal, para que haja a possibilidade que a água chegue ao utilizador em condições próprias de consumo, deve respeitar uma série de condições e limites expressos em legislação. Existem também uma série de barreiras empostas pela topografia e forma como a água potável está acessível no nosso planeta, daí o homem sentir necessidade de criar processos com etapas de forma a aceder com qualidade e algum comodismo à água em suas casas. Para isso recorre a etapas como: captação, adução (transporte), estações elevatórias, tratamento, armazenamento e distribuição.

^{[14] [9] [cc]}

Podemos dividir estas etapas por dois tipos de abastecimento, um Abastecimento em Alta (Adução), (conjunto de infra-estruturas contendo componentes destinadas à captação, tratamento e adução (incluindo elevação e armazenamento) de água para abastecimento público, com exclusão da distribuição, sob exploração e gestão de uma entidade gestora) e um outro de Abastecimento em Baixa (Distribuição) (efectua a distribuição sob exploração e gestão de uma entidade gestora).

Após a captação da água, esta segue para uma Estação de Tratamento de Água (ETA) com fins para consumo humano, a água poderá passar aí por um maior ou menor número de tratamentos. Dependendo da sua qualidade, poderá sofrer Pré-Oxidação; Coagulação; Floculação Química; Sedimentação/Flutuação; Filtração;

Desinfecção; possível tratamento específico para a presença pontual de algum parâmetro menos comum.^[42]

Estes tratamentos poderão ser agrupados em diferentes Classes. A classe 1 – Tratamento Físico e Desinfecção; classe 2 – Tratamento Físico, Químico e Desinfecção; classe 3 – Tratamento Físico, Químico, de Afinação e Desinfecção.^[42]

Sendo o Tratamento Físico uma Filtração. Sendo o Tratamento Químico constituído por Coagulação Química / Floculação / Sedimentação / Filtração; ou Coagulação Química / Floculação / Flutuação / Filtração. Sendo o Tratamento de Afinação constituído por Adsorção, Permuta Iónica, etc. E Desinfecção poderá ser por Cloragem ou Ozonização.^[42]

A água será posteriormente armazenada e/ou transportada por intermédio de grandes condutas adutoras ('pipes') que conduzirão grandes volumes de água até reservatórios mais pequenos e com maior proximidade de zonas habitacionais. Estas condutas caracterizam-se pelos seus grandes diâmetros, espessura e troços bastantes rectilíneos, isto para conseguir transportar grandes caudais de água com o menor número de perdas de carga e consequente menor gasto de energia.^{[14] [9] [cc]}

Chegando a estes reservatórios de menor capacidade volumétrica deixa-se o Abastecimento em Alta (Adução) e entra-se num sistema de Abastecimento em Baixa (Distribuição), em tudo idêntico ao que será alvo de análise e estudo nesta dissertação.

Estes sistemas de abastecimento de água caracterizam-se por um elevado conjunto de estruturas, equipamentos, reservatórios, canalizações (condutas), órgãos principais e acessórios, peças específicas (bombas, válvulas, sensores, entre outras) destinadas ao fornecimento de água segura e de boa qualidade para os prédios e pontos de consumo público, para fins sanitários, higiénicos, lúdicos e de conforto da população. Os Sistemas de abastecimento de água são concebidos para distribuir a água tratada de forma contínua, a todos os usuários de um sistema.^{[14] [9] [cc]}

As condutas (de menor diâmetro comparativamente à distribuição em Alta/Adução) são normalmente dispostas nas vias públicas, passando por baixo da pavimentação (enterradas ou dispostas em galerias). O escoamento que ocorre é sempre um escoamento sobre pressão, e para que uma rede de distribuição possa funcionar plenamente, é necessário haver pressão satisfatória em todos os seus

pontos. Muitas vezes, é necessária a construção de estações elevatórias de água para fornecer energia ao escoamento no sentido de este ultrapassar obstáculos como por exemplo um elevado desnível (aumentos de cotas topográficas). Nos trechos de redes com pressão em excesso, são instaladas válvulas redutoras de pressão (VRP). [14] [9] [cc]

O tipo de rede a ser implantada depende basicamente das características físicas e topográficas, do traçado do arruamento e da forma de ocupação da cidade em estudo, que será consequência do ordenamento do território. ^[cc]

Estas redes de abastecimento de água podem ser classificadas conforme o tipo de traçado em: Redes malhadas, ramificadas e mistas. ^[dd]

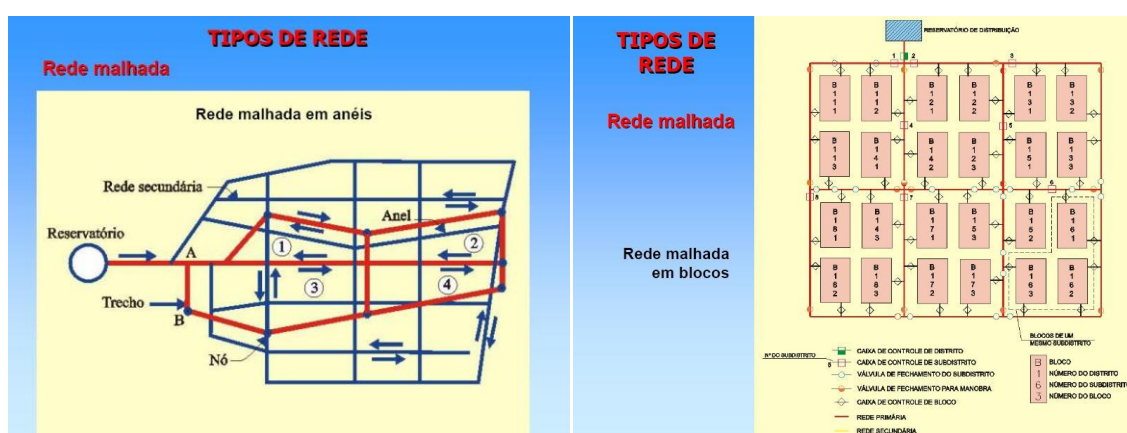


Figura 06: Redes Malhadas em Anéis e Blocos. ^[dd]

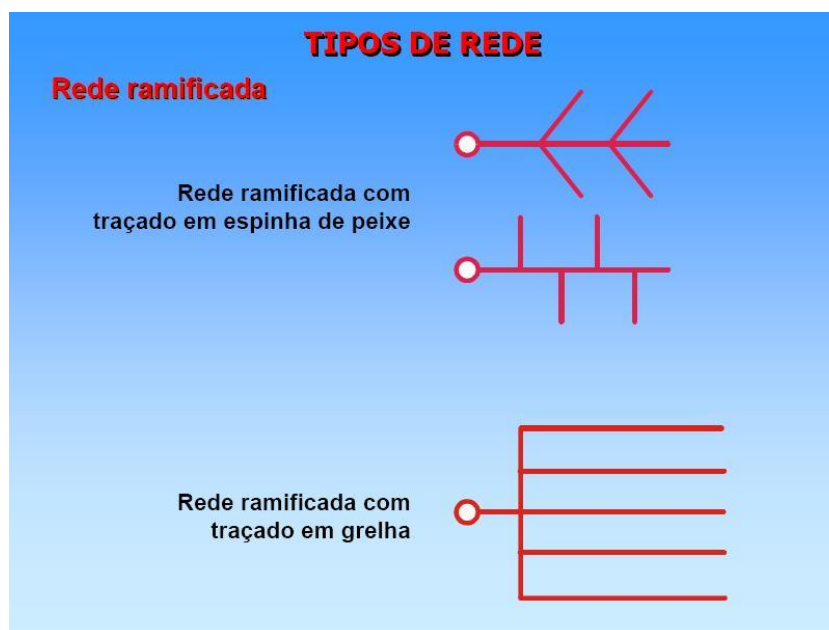


Figura 07 Redes Ramificadas em espinha de peixe e traçado em grelha. ^[dd]

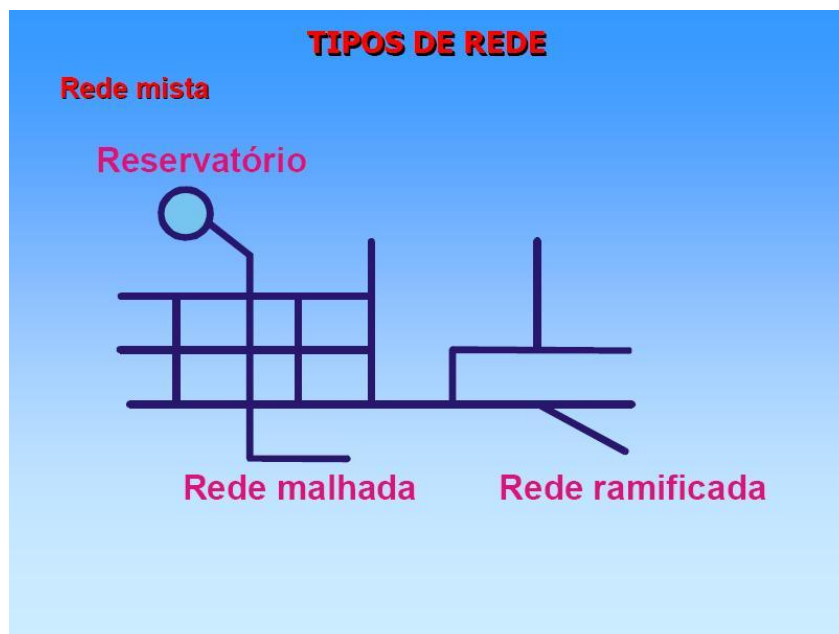


Figura 08: Redes Mista – Malhada e Ramificadas. [dd]

O sistema de abastecimento de água implementado no R12 da INDAQUA Santo Tirso/Trofa segue uma estrutura mista, mas maioritariamente com características de uma rede ramificada. Estes traçados são em certa medida impostos pelo ordenamento do território existente na zona em questão (S. Mamede e S. Romão Coronado e Covelas).

6.1.1. Águas do Noroeste – Sistema de Abastecimento de Água em Alta/Adução

“A Águas do Noroeste, S.A. é a nova empresa responsável pelo Sistema Multimunicipal do Noroeste e está a substituir, por fusão, os sistemas multimunicipais de captação, tratamento e abastecimento de água do norte da área do grande Porto, de abastecimento de água e de saneamento do Minho Lima e de abastecimento de água e de saneamento do vale do Ave.”

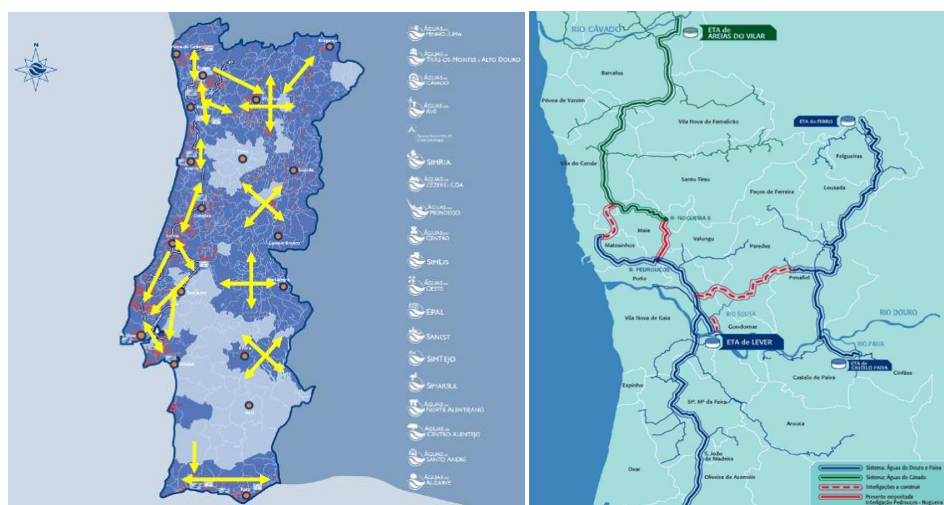


Figura 09: Interligações de Sistemas de Abastecimento de Água em Alta [1]

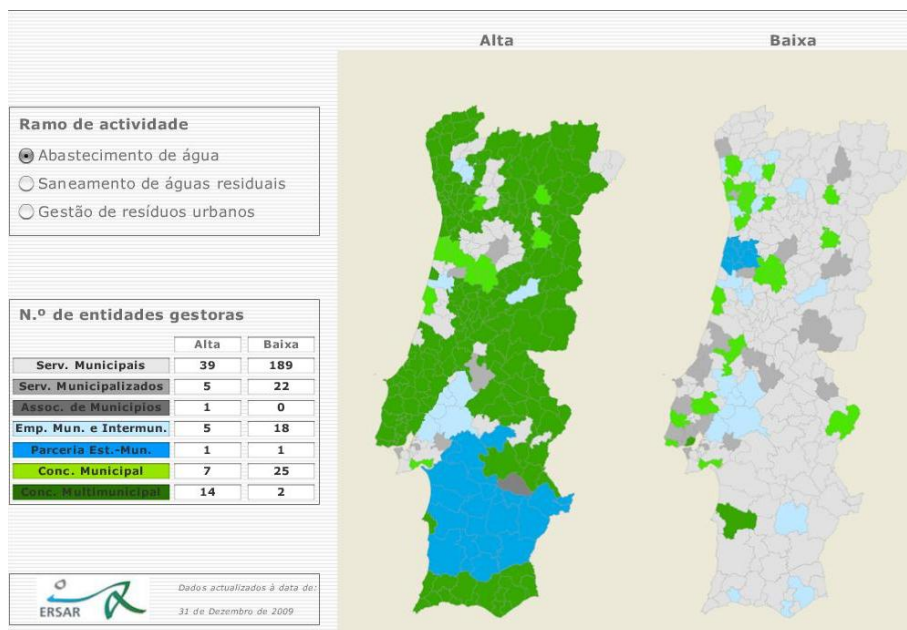


Figura 10: Entidades Gestoras responsáveis pelos serviços nos sectores de águas. ^[1]

O sistema de Abastecimento em Alta (sistema de adução) abrange todos os Municípios anteriormente servidos pelas Águas do Cavado, Águas do Minho e Lima e Águas do Ave (sistemas agora integrantes das Águas do Noroeste). Municípios esses que se passam a enumerar: Amarante, Amares, Arcos de Valdevez, Barcelos, Cabeceiras de Basto, Caminha, Celorico de Basto, Esposende, Fafe, Felgueiras, Guimarães, Lousada, Maia, Melgaço, Monção, Mondim de Basto, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, **Santo Tirso**, Terras do Bouro, **Trofa**, Valença, Viana do Castelo, Vieira do Minho, Vila do Conde, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Verde e Vizela. ^[1]

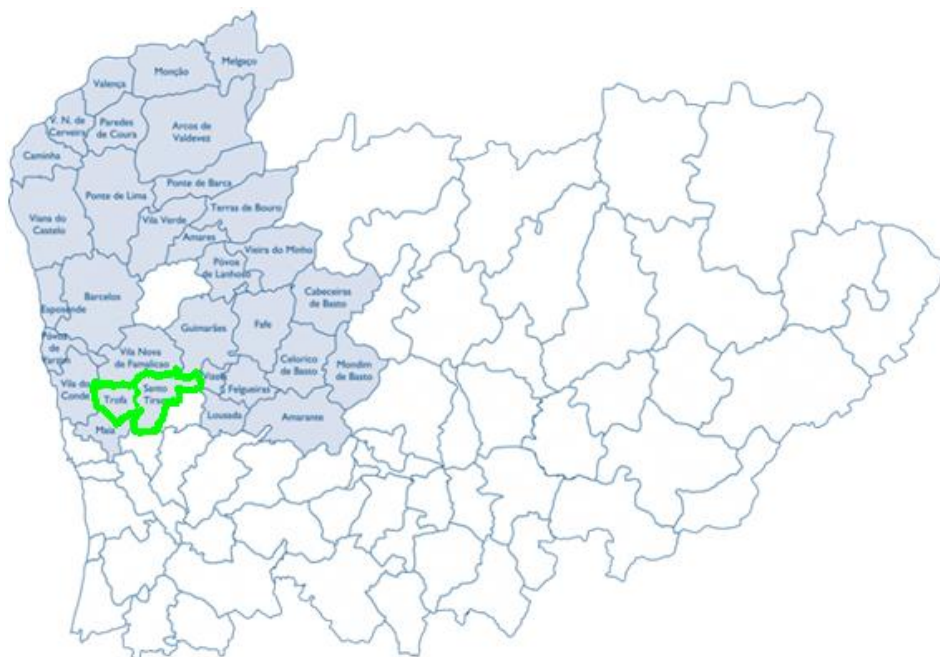


Figura 11: Municípios que usufruem dos serviços das Águas do Noroeste ^[1]

A fusão destas três entidades gestoras de Águas proporcionou a obtenção de sinergias, com reflexo muito positivo na sustentabilidade económica e financeira do conjunto.

O Sistema de Abastecimento de Água compreende os seguintes Centros Operacionais:

- Centro Operacional do Minho
- Centro Operacional do Lima
- Centro Operacional do Ave
- Centro Operacional do Cávado

Este Sistema caracteriza-se pelos seguintes parâmetros:

- Abrange a gestão de 326000 Km², correspondentes a todos os Municípios integrantes do sistema de abastecimento de água.
- Fornece um volume de água potável de cerca de 67,1 milhões de m³ por ano.
- Estima-se uma população residente em 1 milhão de habitantes.
- Investimento no abastecimento de Água é cerca de 416,1 milhões de euros (construção de manutenção de infra-estruturas e equipamentos).
- Fornece água à INDAQUA de Santo Tirso/Trofa, em média, 2 619 243 m³ por ano sendo esta distribuída em média em -218 270 m³ por mês.
- Possui como linhas de orientação de 'Missão e Visão' a procura da Satisfação dos Clientes e das outras Partes Interessadas, Envolvimento dos Colaboradores, Aperfeiçoamento e Inovação, Desenvolvimento Sustentável, Compromissos Sociais, Melhoria Contínua, Transparência, Comunicação. ^[1]



Figura 12: Aspecto das Infra-estruturas de captação e tratamento do Sistema Multimunicipal em Areias de Vilar. Capacidade diária para tratar 146.000m³ de água ^[1]

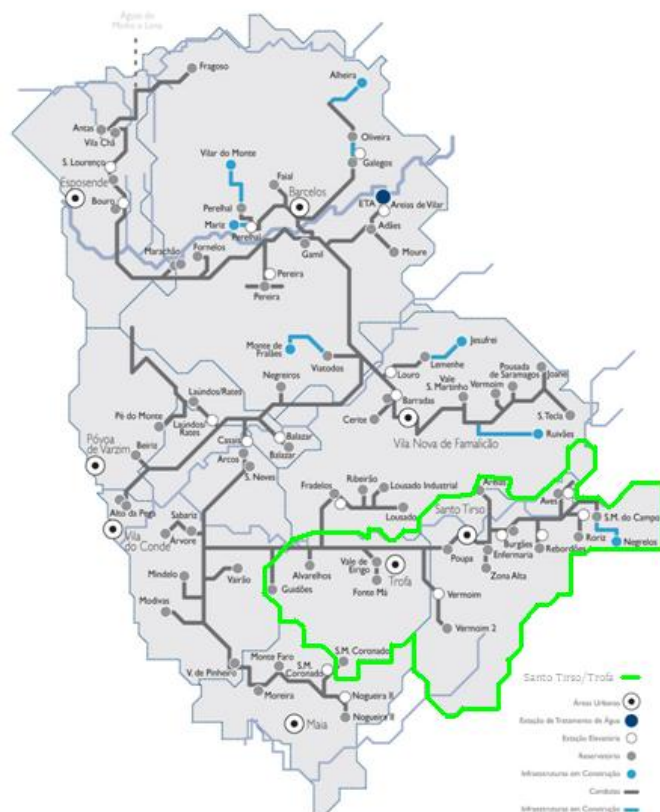


Figura 13: Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água ao Baixo Cávado e Ave. [9]

Em Santo Tirso e Trofa, a gestão deste sistema de abastecimento de águas em alta é assegurado pela empresa Águas do Noroeste. Nas seguintes figuras pode ser visualizado o traçado actual e perspectivas futuras de remodelação/expansão da rede de abastecimento. [1]

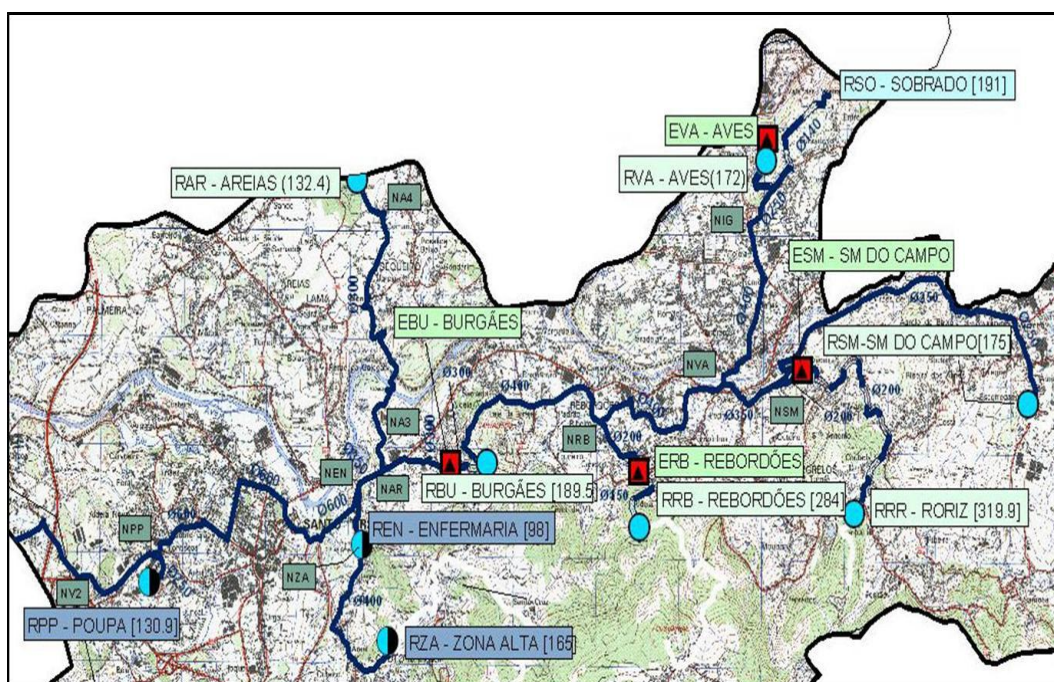


Figura 14: O Sistema Multimunicipal Actualmente em Serviço em Santo Tirso [1]

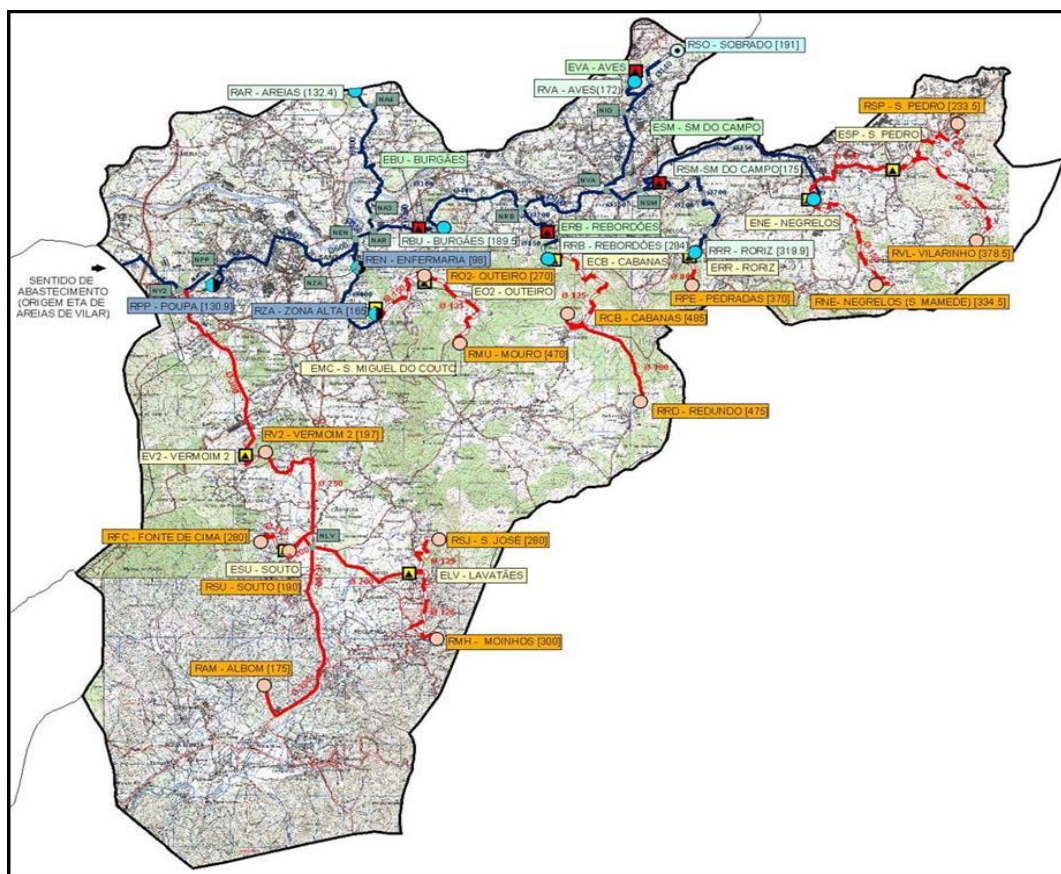


Figura 15: Expansão do Sistema de Abastecimento de Água a outras áreas ainda não abrangidas de Santo Tirso. ^[1]

6.1.2. INDAQUA – Sistema de Abastecimento de Águas em Baixa/Distribuição

“A INDAQUA – Indústria e Gestão de Água, S.A. é uma empresa Portuguesa criada para actuar, essencialmente, no âmbito das concessões municipais e parcerias público/privadas (PPP's), a INDAQUA representa uma clara aposta no sector do ambiente e na gestão do ciclo da água, integrando captação e tratamento de água, transporte e distribuição, recolha e tratamento de água residual.” ^[k]

A INDAQUA desde 1994 que aplica as suas boas práticas de gestão de águas no Município de Fafe. Contudo hoje (2011) é já gestora de 6 grandes redes de abastecimento de água em diferentes municípios do Norte do país (continuando a concorrer à exploração de novas concessões.

- **INDAQUA Fafe** – concessão dos serviços municipais de captação, tratamento e distribuição de água no Município de Fafe (cerca de 57.757 habitantes)
- **INDAQUA Santo Tirso/Trofa** – concessão dos serviços municipais de distribuição de água nos Municípios de Santo Tirso e Trofa (cerca de 109.977 habitantes)

- INDAQUA Feira – concessão dos serviços municipais de distribuição de água e recolha de águas residuais no Município de Santa Maria da Feira (cerca de 135.964 habitantes)
- INDAQUA Matosinhos – concessão dos serviços municipais de distribuição de água e recolha e tratamento de águas residuais no Município de Matosinhos (cerca de 169.104 habitantes)
- INDAQUA Vila do Conde – concessão dos serviços municipais de distribuição de água e recolha de águas residuais no Município de Vila do Conde (cerca de 73.391 habitantes)
- Águas de S. João – parceria público-privada na empresa municipal de distribuição de água e recolha de água residual no Município de S. João da Madeira (cerca de 21.100 habitantes) ^[k]

Em todas as suas concessões prezam pela Qualidade do Serviço Prestado, Sustentabilidade, Respeito pelos Recursos Naturais, Solidez Técnica, Capacidade Económica e Financeira, Satisfação interna, Identidade marcadamente Portuguesa. ^[k]

INDAQUA

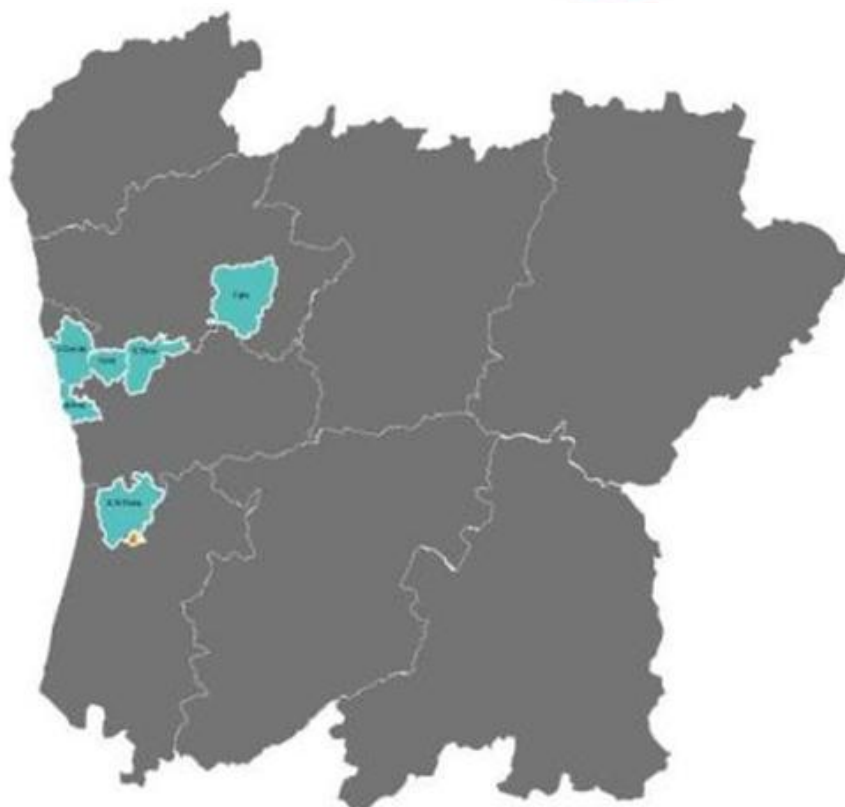


Figura 16: Onde está a INDAQUA em Portugal. ^[k]

Dar-se-á agora especial destaque à concessão dos serviços municipais de distribuição de água nos Municípios de Santo Tirso e Trofa. A INDAQUA Santo Tirso/Trofa compra água das Águas do Noroeste (abastecimento em alta). Procede depois ao seu armazenamento, controlo de qualidade e distribuição por diversos sistemas de distribuição de água (abastecimento em baixa). Os seus diversos sistemas de distribuição de água funcionam essencialmente por acção da energia gravítica, o que demonstra desde já a sua boa política de gestão no que respeita ao uso das fontes de energia.

A INDAQUA Santo Tirso/Trofa caracteriza-se pelos seguintes parâmetros:

- Labora desde 2 de Novembro de 1999 com um número reduzido de reclamações escritas (cerca de 20 por ano num universo de 72 129 habitantes em Santo Tirso). ^{[b][k][s]}

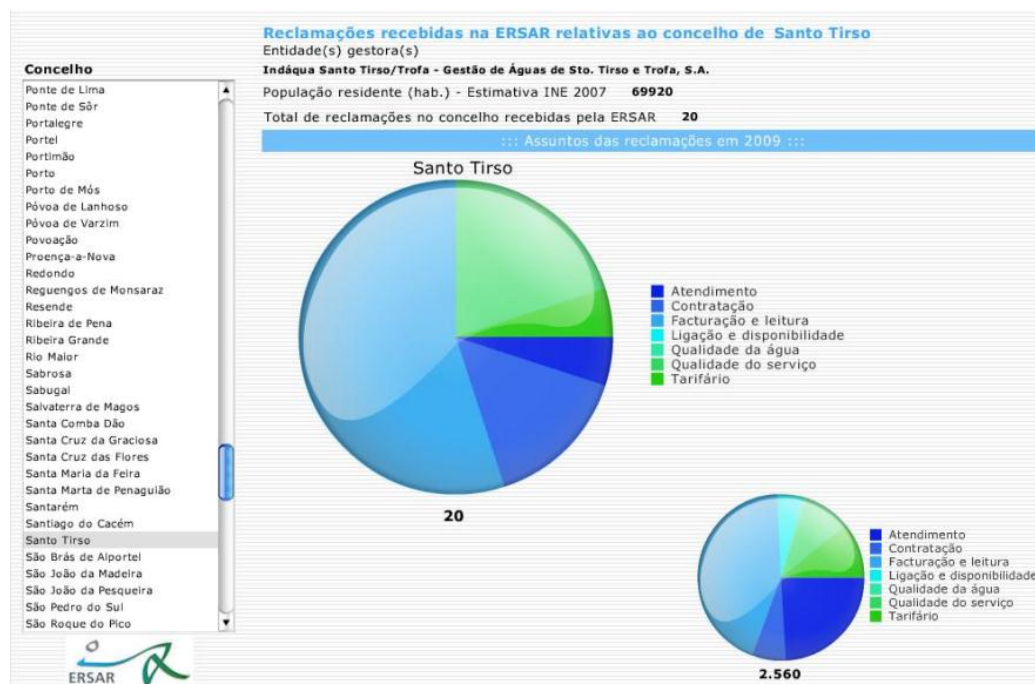


Figura 17: Reclamações recebidas na ERSAR relativamente ao Concelho de Santo Tirso.

- Presta serviços a 2 Concelhos, Santo Tirso (cerca de 72 129 habitantes) e Trofa (cerca de 37 474 habitantes). ^{[k][s]}

- Santo Tirso possui 11 reservatórios (sistemas de distribuição de água) e está projectada uma ampliação de mais 2 reservatórios. Os Sistemas actuais são: RX – Santa Cristina do Couto; R4, R1, R3 – Santo Tirso; R6 – Sequeirô, Lama, Palmeira, Areias; R7 – Burgães; R14 – Rebordões; R11, R9 – Vila das Aves; R13A – Roriz; R13 – São Martinho do Campo e a ampliação futura prevê a construção dos Sistemas RN – S. Mamede de Negrelos e RP - Vilarinho. (Anexo 11) ^[k]

- Trofa possui 7 reservatórios e está projectado um novo sistema. Os Sistemas actuais são: R10, RL, RSapateira – Trofa; RC/RZ – Alvarelhos; RA – Guidões; RSoeiro, **R12 – São Mamede do Coronado, São Romão do Coronado, Covelas** e a ampliação futura prevê a construção do Sistema RD - Coronados (Anexo 11) ^[k]

- Tem vindo a realizar um plano de investimento de cerca de 31 milhões de euros em infra-estruturas de abastecimento de água. ^[k]

- Mantém constante e permanente um controlo activo sobre a qualidade da água. ^{[k][b]}

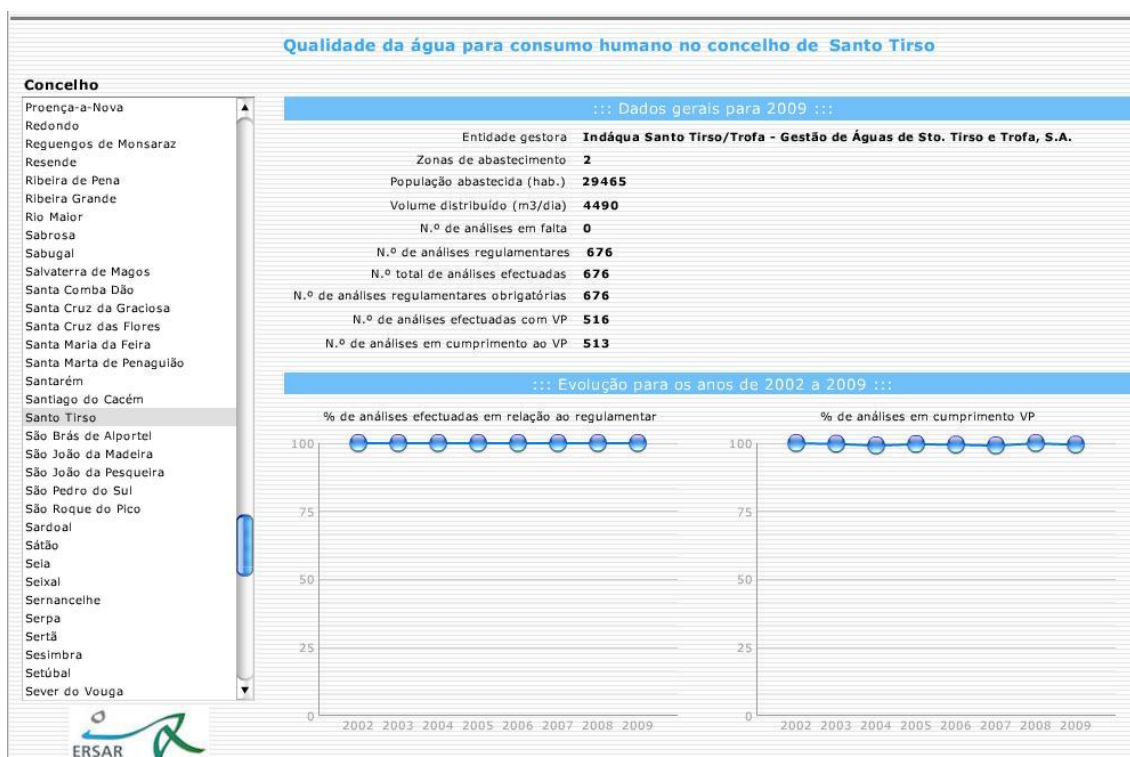


Figura 18: Qualidade da água para consumo humano no Concelho de Santo Tirso.

- Efectua com assiduidade a lavagem de reservatórios, pelo menos 1vez ano. ^[k]

- O DL 306/2007 de 27 de Agosto expõe as normas que controlam a Qualidade de Água para Consumo Humano pelas quais a INDAQUA rege as suas acções. ^{[k][43]}

- Cumprem o Plano Controlo da Qualidade da Água – PCQA aprovado todos os meses de Setembro de cada ano (1ª quinzena aprovados do sistema adutor, 2ª quinzena do sistema de distribuição – INDAQUA) pela ERSAR e implementado sempre em Janeiro pelas entidades distribuidoras de água ^{[k][43]}

- A INDAQUA efectua as suas análises de controlo da qualidade com uma frequência/assiduidade que depende do número de população e/ou volume a distribuir. [k][43]

- Efectua controlos de rotina 1, todas as semanas (análise bacteriológica, cloro, entre outros definidos no DL); efectua controlos de rotina 2 quinzenalmente em Santo Tirso e de 3 em 3 semanas na Trofa (análise química, microbiológica, entre outros definidos no DL); efectua Controlos de inspecção (CI) 3 vezes por ano em Santo Tirso e 2 vezes por ano na Trofa (depende da população) (análise de todos os parâmetros da rotina 1 e 2, mais pesticidas e outros definidos no DL) [k][43]

- Análises de cloro e decaimento de cloro são efectuadas nos reservatórios e na torneira de maior consumo da rede (ponto de maior consumo da rede), bem como em outros locais escolhidos aleatoriamente ao longo da rede. [k][43]

- Existem 3 zonas de PCQA, a zona Noroeste de Santo Tirso, Zona Noroeste da Trofa e a explorada no Facho (Agrela) que recorre a uma captação subterrânea. [k]

- Existe uma constante gestão e controlo de perdas de água. [k]

- Consegue fornecer água de forma ininterrupta, com uma taxa aproximada dos 99,9%, 365 dias por ano a todas as habitações às quais está ligada. [k]

- De 72 129 habitantes, 19 328 edifícios, **26 217** alojamentos (2,54 habitantes por habitação) (área territorial de concessão – alojamentos familiares: 21 811), 23 185 famílias (com 3,1 pessoas por família) existentes em Santo Tirso, estão ligadas ao sistema de abastecimento da INDAQUA **11 903** habitações com contrato (abastece cerca de 30 242 pessoas), e consomem em média um volume diário de água de 4617 m³. [k] [s]

- De 37 474 habitantes, 9 040 edifícios, **13 518** alojamentos (2,99 habitantes por habitação) (área territorial de concessão – alojamentos familiares: 13 535), 11 994 famílias (com 3,1 pessoas por família) existentes na Trofa, estão ligadas ao sistema de abastecimento da INDAQUA **7915** habitações com contrato (abastece cerca de 23 665 pessoas), e consomem em média um volume diário de água de 2747 m³. [k] [s]

- É pronta na reparação e substituição de contadores de água. [k]

- É pronta no controlo e reparação de fugas/roturas. [k]

- Gere as suas políticas de controlo activo de perdas por intermédio da criação e análise de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) bem como por Zonas de Gestão de Pressão (ZGP).^[k]

- Possui 9 funcionários técnicos qualificados com bastante experiência nos serviços de manutenção e reparação.^[k]

- Possui bastantes km de condutas, inúmeras válvulas, consegue trabalhar essencialmente por meios gravíticos e daí possuir poucos motores em reservatórios e poucos em estações elevatórias, o que leva a uma poupança em energia. Possui desta forma um sem número de acessórios que possibilitam o constante e bom funcionamento das diversas redes de abastecimento de água.

- Possui 24 876 (15 890 Santo Tirso + 8986 Trofa) ramais, dos quais 16 314 são ramais com contrato, e 1163 são ramais para hidrantes (marcos de incêndio), os restantes ramais estão construídos mas sem contratos sendo 7399 (4075 Santo Tirso + 3324 da Trofa).

- Possui uma gestão e controlo permanente dos diversos acessórios e componentes em STOCK.^[k]

- Efectua campanhas de reparação e substituição de contadores em mau funcionamento e em fim de vida.^[k]

- Preocupa-se em encontrar o valor de taxação mais adequado à população à qual presta serviços, tendo em conta os seus custos, proveitos, resultados, perdas e ganhos no sentido de obter um saldo satisfatório na sua demonstração de encargos.^[k]

- Prima-se por fornecer um bom atendimento, proporcionar um ambiente de trabalho agradável para os seus colaboradores, transmite confiança e transparece sentido de responsabilidade aos seus colaboradores para que estes se sintam mais motivados e interessados pelo sucesso do seu trabalho.

- Procura constante na melhoria da qualidade dos serviços através de optimização de métodos de trabalho, qualificação/formação dos colaboradores, aplicando melhores sistemas de manutenção, apertando o controlo de qualidade, redução de perdas de água na rede de distribuição.^[k]

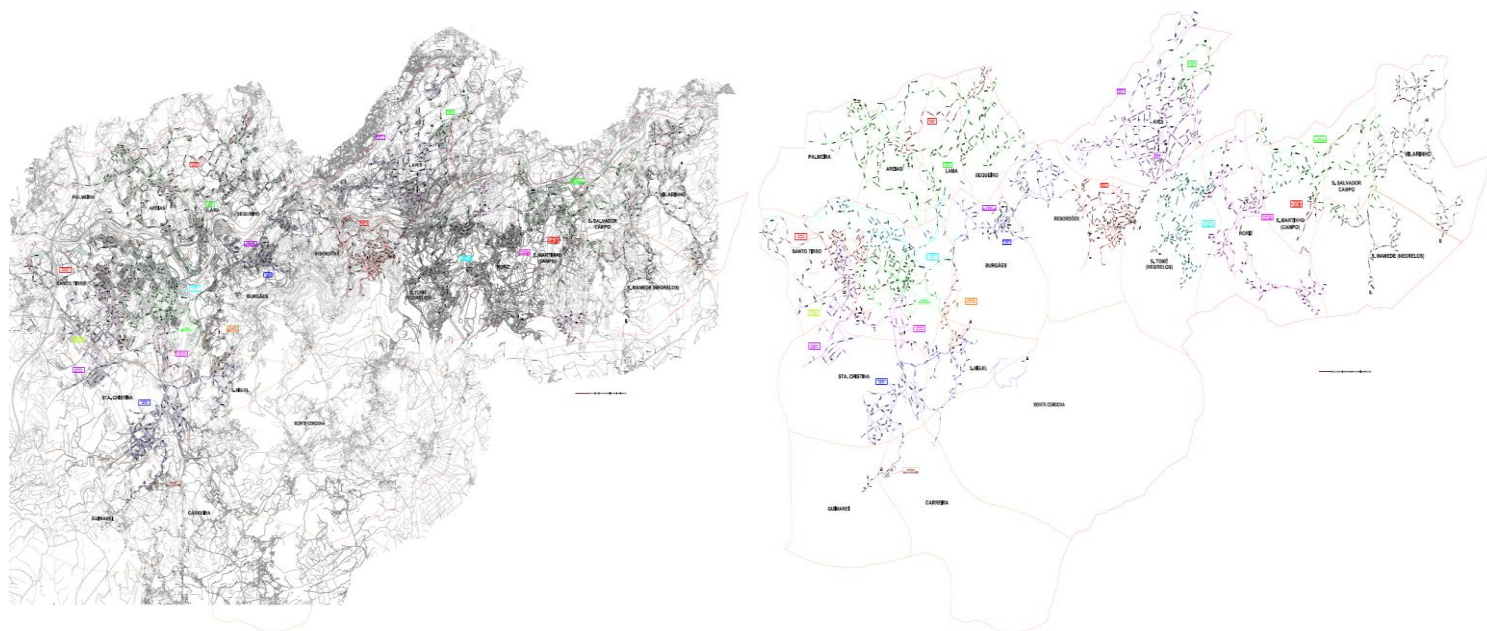


Figura 19: Sistema global de Abastecimento de Água da INDAQUA em Santo Tirso (com cartografia de fundo à esquerda e sem cartografia de fundo à direita).

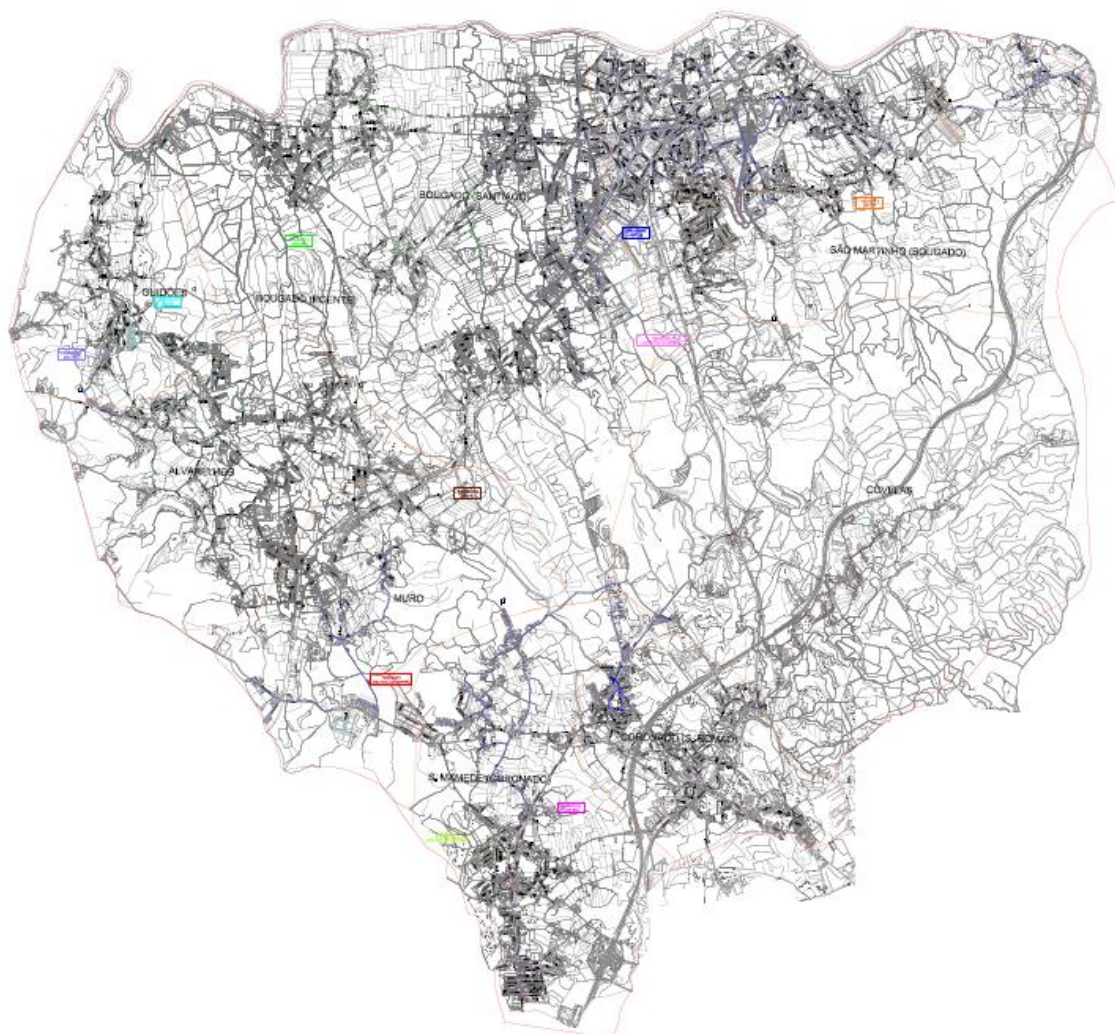


Figura 20: Sistema global de Abastecimento de Água da INDAQUA na Trofa com cartografia de fundo.

Como este trabalho ir-se-á reflectir sobre o estudo de um sistema de distribuição de água em particular, o Sistema de S. Mamede e S. Romão do Coronado e Covelas (R12), apresenta-se de seguida uma imagem representativa do seu cadastro. (Anexo 12).

**Cadastro da Rede de Abastecimento de Água
Sistema R12 - S. Romão e S. Mamede do Coronado**

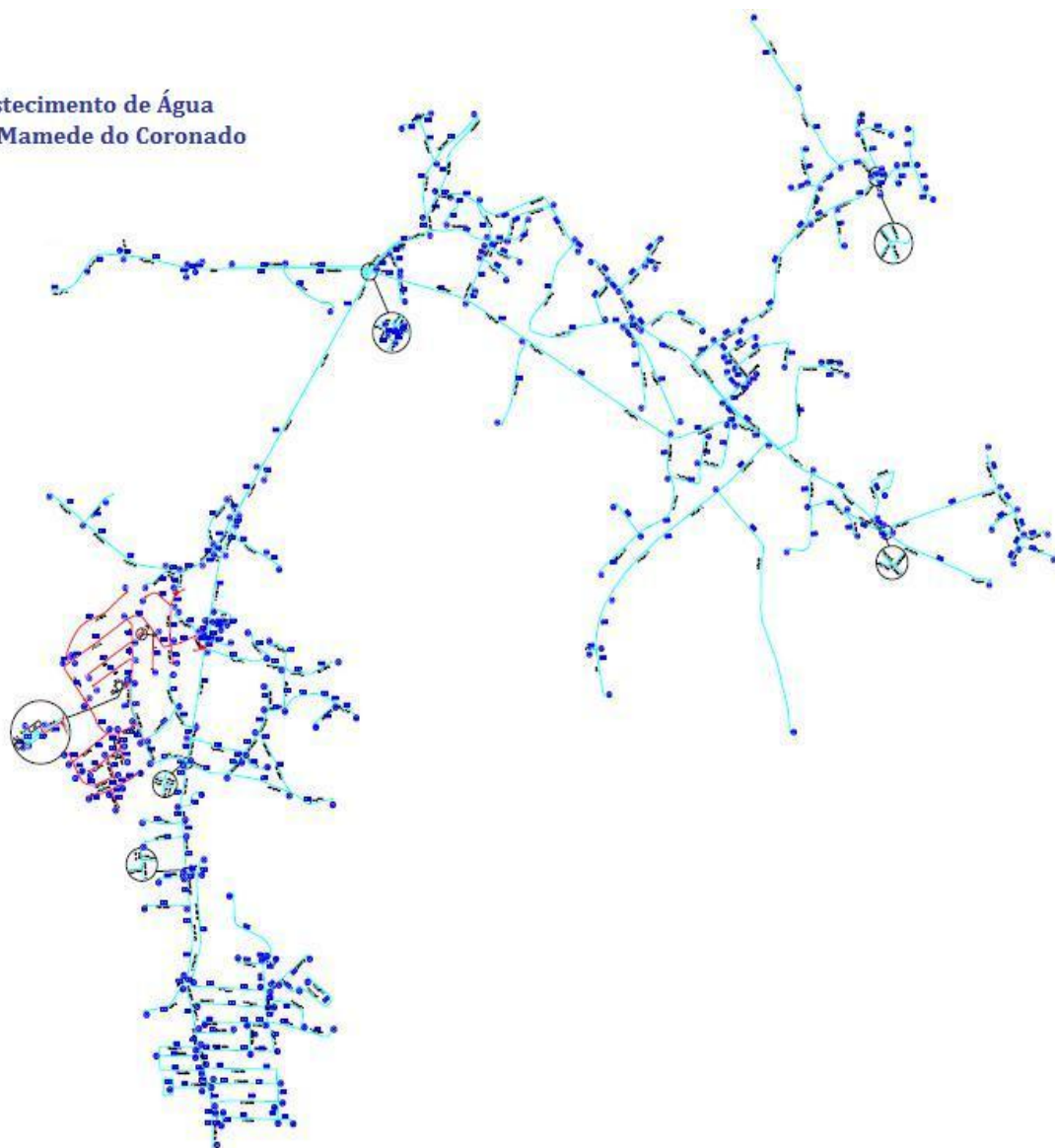


Figura 21: Imagem global da Rede de Abastecimento de Água, Sistema R12 – S. Romão e S. Mamede do Coronado^[k]

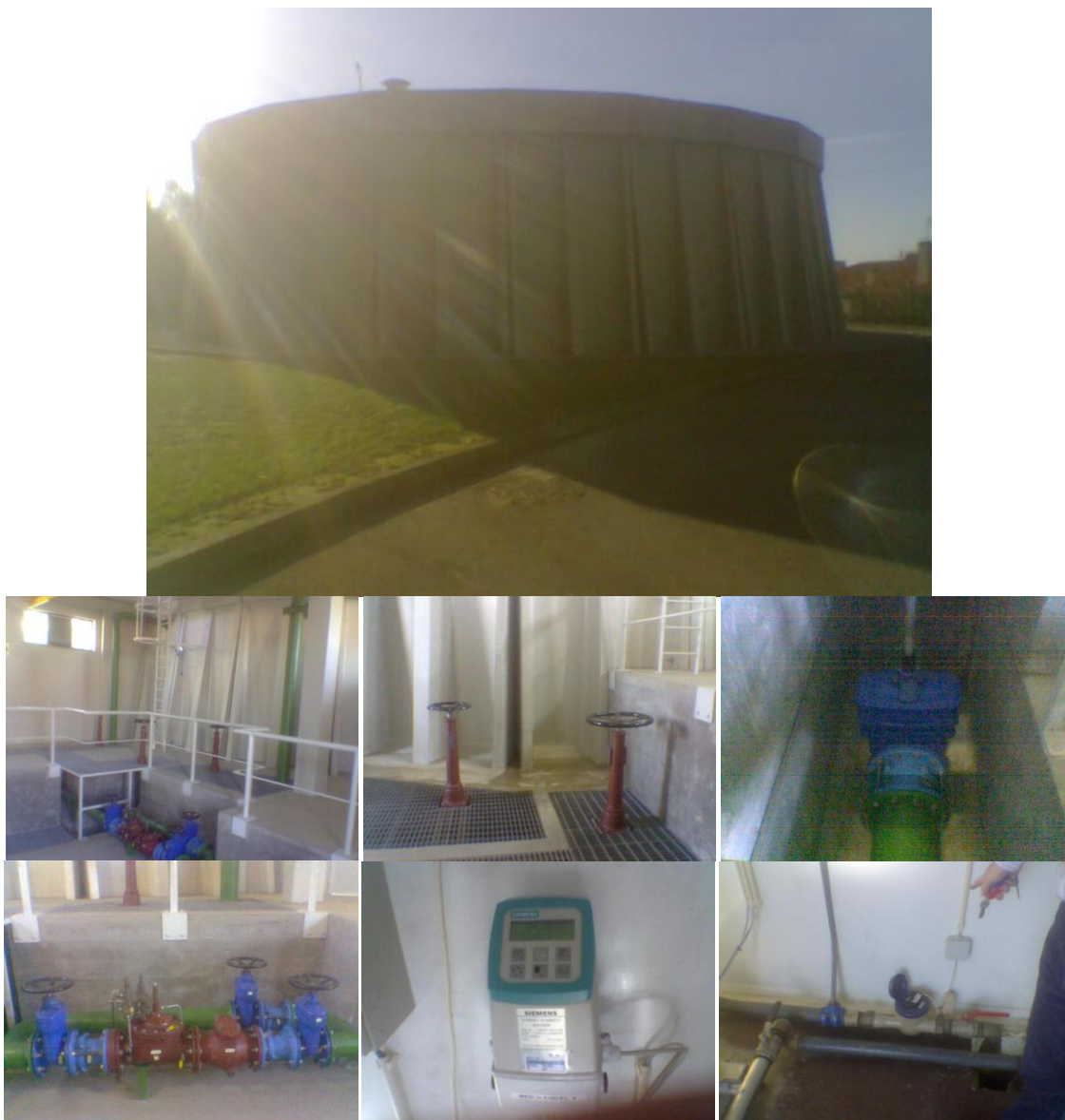


Figura 22: Único Reservatório do Sistema de Abastecimento de Água R12 em São Mamede do Coronado, e seus componentes (Válvulas de corte, medidor de caudal, VRP).

6.2. Políticas de gestão

Após a recolha, tratamento, armazenamento e transporte da água, esta chega finalmente à fase da distribuição e fornecimento ao consumidor. Para a gestão e controlo deste tipo de sistemas existem diversas formas de aplicabilidade a concessionários. Umas serão mais indicadas que outras dependendo das realidades entendíveis a cada caso.

A Gestão e Propriedades dos Sistemas poderão ser encontradas nas seguintes vertentes de exploração:

- Propriedade Pública/Privada
- Gestão mais ou menos profissionalizada

- Serviços Municipais (Ex.: Câmara Municipal de Santo Tirso)
- Serviços Municipalizados (Ex.: Serviços Municipais de Água e Saneamento (SMAS) de Santo Tirso)
 - Empresa Municipal
 - Empresa Intermunicipal
 - Parcerias Público/Público
 - Empresas Multimunicipais (“alta” adutoras)
 - Parcerias Estado/Autarquias (“baixa” distribuidoras)
 - **Parcerias Público/Privado**
 - Empresas mistas
 - **Concessões** (Ex.: Concedente – Câmara Municipal de Santo Tirso e a Concessão Privada – INDAQUA Santo Tirso/Trofa)
 - Privatização ^[14]

As principais diferenças entre uma exploração pública e uma privada e/ou público/privada, fazem-se notar essencialmente em parâmetros como preço da água, qualidade da água, bem como qualidade de serviços prestados. Por norma uma empresa gestora de água Municipalizada apresenta taxas de cobrança pelos serviços prestados inferiores aos de uma empresa gestora de água Privada, essencialmente por motivos políticos, contudo descarta um pouco de critérios de qualidade da água e qualidade de serviços no que respeita na prontidão de resolução de problemas. ^[14]

Uma empresa privada, especialmente aquelas que estabelecem parcerias Público/Privadas, e/ou as concessionadas, sofrem controlos e exigências mais apertadas, apresentando por norma um serviço de elevada qualidade no que respeita à gestão do controlo da qualidade da água, na regularidade de abastecimento de água, na gestão e controlo das perdas de água, no atendimento ao público, bem como na prestação dos mais diversos serviços. Contudo os preços normalmente cobrados aos utentes pelos serviços apresentados são superiores aos apresentados pelas entidades Municipais. Este facto poderá ser constatado numa análise das diferentes taxas cobradas pelos diferentes sistemas de abastecimento de água na página oficial da internet da ERSAR. ^[14] No Anexo 1 surgem algumas imagens retiradas do site da ERSAR que mostram diversos tarifários cobrados em Santo Tirso ao longo do tempo. Numa visita ao site poder-se-á escolher outros locais e visualizar outros valores de taxa (uns superiores e outros inferiores aos da INDAQUA Santo Tirso/Trofa, dependendo da zona do país e dependendo do tipo de entidade prestadora dos serviços de abastecimento de água).

Características típicas em Empresas de Gestão Público/Privadas e/ou concessionada (INDAQUA):

- Serviço Público (serviço essencial, em regime de exclusividade)
- Predominância de propriedade e gestão pública
- Raros exemplos de privatização das infra-estruturas
- Participação do sector privado
 - Subcontratação, terciarização, outsourcing
- Projectos, obras, limpeza, cantina, leituras de contadores, informática, contabilidade, reparações, pavimentação, manutenção de estações elevatórias e estações de tratamento
 - Exploração de estações de tratamento
 - Concessão dos serviços ^[14]

Uma política de gestão é o assumir uma postura de ATITUDE. Coordenar com atitude, decidir com atitude, dessa forma a coordenação e gestão da empresa seguirá caminhos de prosperidade. Deverá ser política de uma entidade gestora de águas possuir uma forte partilha de informação, efectuar uma prospecção prévia antes de tomar uma decisão ou efectivar algum investimento, possuir uma sala de controlo com equipa operacional 24h por dia, procurar uma resolução de problemas num prazo máximo de 24h, ter Informações em tempo real disponível para os clientes via Internet, criar consecutivamente metas de trabalho para os seus colaboradores premiando aqueles que valorizem o seu posto de trabalho, entre outros. ^[14]

Com uma nova atitude e transparência como as já referidas consegue-se combater eficazmente perdas de água, roubos de água, obter atendimento personalizado, conseguindo assim rentabilizar investimentos gerando receita. Dessa forma surgirá possibilidade de investir em instrumentos mais sofisticados (detectores de infra-estruturas para conhecer a posição exacta de uma conduta enterrada), construir galerias técnicas tendo melhor acesso às condutas (diminuindo custo de manutenção, reparação e substituição. Facilita a detecção de fugas), investir em equipamento de ponta (melhores técnicas disponíveis) no que respeita à detecção de fugas pelo ruído, equipamento que permita a electrofusão de juntas, entre outros. ^[14]



Para que todas estas políticas de gestão consigam ser concretizáveis, necessário será uma boa gestão de mudança, e para isso esta deve ser apoiada por elementos da mudança. Como já referido anteriormente, a analogia à corrente com laços fortes entre todos os elos de ligação e em sintonia, fomentando o entrosamento entre apoio político, liderança, tempo, contexto, conhecimento, tecnologia, financiamento, é possível atingir níveis de excelência. ^[14] ^[2]

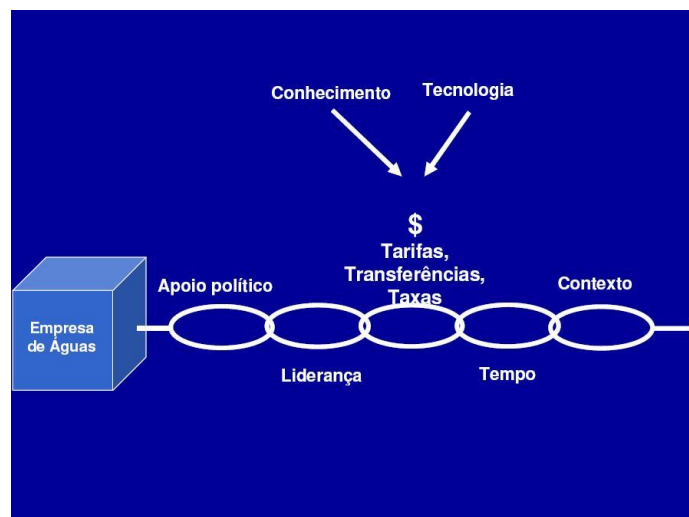


Figura 23: Entrosamentos que deve prevalecer para proporcionarem uma boa gestão de Mudança.

Uma entidade gestora de abastecimento de água poder-se-á encontrar entre vários níveis de qualidade de gestão, dependendo da forma de estar no mercado de trabalho e da sua capacidade de encarar e resolver o seu trabalho ao longo do tempo, dependendo por exemplo da importância que dá ao uso das melhores técnicas disponíveis, na preocupação e procura de servir o seu produto com o máximo de qualidade, entre outros. Certo é que todas as entidades procuram o melhor estado de qualidade de gestão, caminhando do início para o topo como se se tratasse da ascensão de vários degraus de uma escada, tal como mostram as duas figura seguinte. ^[14] ^[2]



Figura 24: Níveis de qualidade de gestão.

Estágios de gestão	Tempo de decisão	Indicadores de gestão	Atendimento e disponibilidade	Perdas	Emergências	Informatização
Pré-eficácia	Meses	Calculados anualmente, para os relatórios	Inexistência de atendimento telefónico permanente e de piquetes de intervenção	Não controladas, tipicamente superiores a 50%	Muito frequentes, de resolução tardia e demorada (só em condições excepcionais à noite e aos fins de semana)	Facturação e salários
Eficácia	Semanas	Controlados algumas vezes por ano	Atendimento telefónico permanente e piquetes de intervenção	30 a 50%	Frequentemente, com resolução à noite e aos fins de semana	Facturação, contratação, serviços administrativos, reclamações
Eficiência	Dias	Controlados ao mês	Idem + central de comando + telemetria	15 a 30%	Pouco frequentes, com resolução à noite e aos fins de semana	Idem + telemetria, cadastro digitalizado, modelação das redes
Excelência	Horas	Controlados em tempo real	Idem + telegestão + capacidade de mobilização generalizada, com planos de contingência	<15%	Raras, resolvidas quase sempre sem que a generalidade dos Clientes se dê conta	Integração geral das aplicações informáticas, com produção de indicadores de gestão em tempo real

Figura 25: Fases do Desenvolvimento que caracterizam os estágios de gestão.

Aumentar o número de clientes, aumentar o número de vendas de água por concelho, aumentar e controlar a qualidade da água, melhorar a gestão e controlo de perdas, reparação e substituição de contadores, não existência de falhas de prestação de serviços, diminuir reclamações, são uma série de aspectos de maior relevância para que uma entidade gestora de abastecimento de água consiga ser auto-sustentável. ^{[14] [2]}

Há poucas décadas atrás, grande parte dos municípios é que efectuavam os serviços de distribuição de água, contudo constataram que não dispunham das verbas necessárias para a concretização dos investimentos em falta e que conseguiriam obter receita com menos despesa se passassem a exploração a empresas publico/privadas, privadas e a concessões. Com o passar dos tempos os municípios têm abandonado a gestão desses serviços e consequentemente a água de abastecimento público tem obtido níveis mais elevados de qualidade, tem havido implementação de infra-estruturas mais modernas e sofisticadas bem como tem havido uma melhoria nos serviços prestados. Apresenta-se de seguida uma figura onde se esquematiza a tendência de evolução ao longo do tempo na exploração da água em baixa dando relevo às fontes de rendimento dos serviços prestados. ^[14]

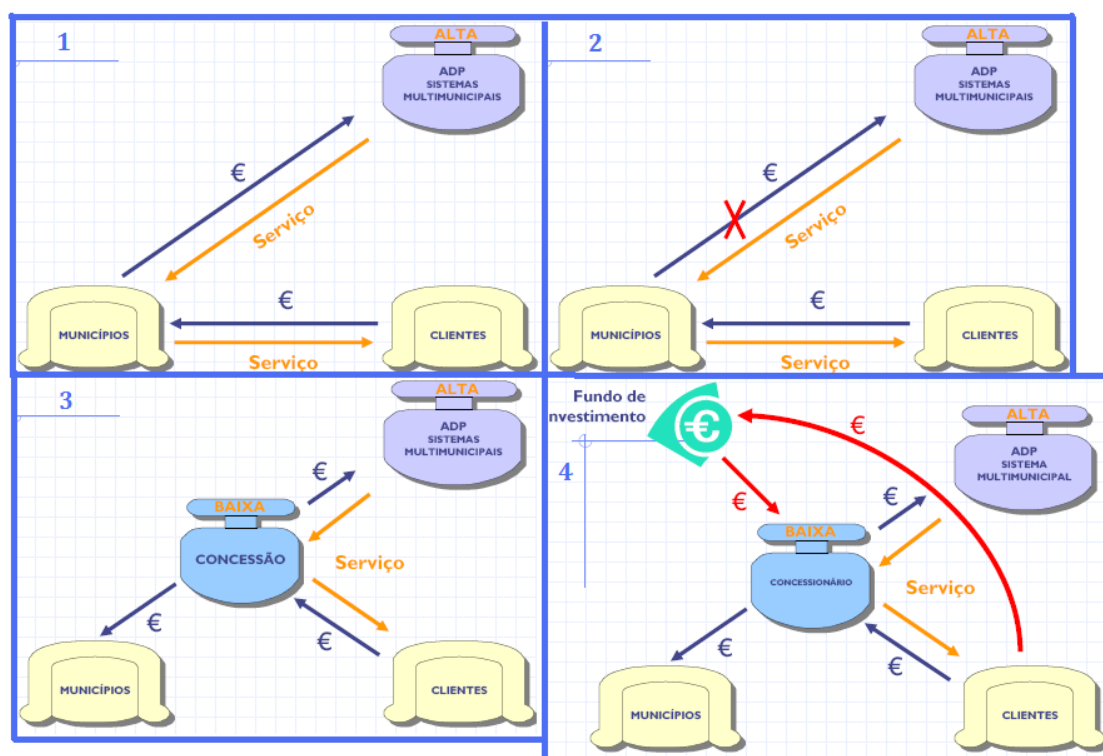


Figura 26: Fontes de rendimento de uma concessão em baixa. ^[14]

6.3. Perdas de Água

Para combater as perdas de água é necessário um forte controlo e monitorização. Só dessa forma se consegue obter resultados. Não se pode ficar apenas pela acção sobre as perdas de grandes volumes, atacar e controlar as perdas de mais pequeno volume é tão ou mais necessário, pois são estas que estão 24h sobre 24h a desperdiçar água potável (tratada; comprada) sem se conseguir detectar.

Existem sistemas de abastecimento de água mais vulneráveis que outros relativamente às perdas de água, isto devido às suas diversas características (tipo de material, idade das redes, tipo de terreno, pressões utilizadas, entre outros). Qualquer Sistema de Abastecimento de Água está sujeito à ocorrência de fugas de água. Estas fugas podem acontecer devido a acidentes súbitos em condutas ou em acessórios, provocadas por sobrepressões ou subpressões, sobrecargas excessivas, defeitos estruturais, assentamentos diferenciais, por situações extremas de funcionamento não previstas em projecto, ou no decurso de acções externas provocadas.

No caso da INDAQUA, a rede pública de distribuição de água, entretanto herdada do Município de Santo Tirso, era maioritariamente em PVC, verificando-se a existência de pequenos troços em Ferro Fundido Dúctil (FFD), Fibra de Vidro (PRFV) e Fibrocimento (FIB), este último tipo de tubagem contribui e muito para as perdas de

água. Após balanço hídrico efectuado pela empresa, em 1999, foi possível constatar um cenário de elevadas perdas de facturação, representando mais de 40% do volume de água entrada no Sistema. Por esse motivo, sentiu-se a necessidade da criação de uma equipa de trabalho com o objectivo de diminuir a percentagem de perdas de água para níveis aceitáveis, não só por razões económicas mas também pelo impacte negativo provocado no Ambiente. ^[K]

Ao longo de 4 anos, a INDAQUA Santo Tirso/Trofa implementou um conjunto de procedimentos que possibilitaram o controlo e a redução das perdas de água:

- Promovendo inspecções visuais à rede de distribuição,
- Desenvolvendo campanhas de substituição de contadores,
- Criando Zonas de Medição e Controlo (ZMC),
- Analisando periodicamente os caudais mínimos nocturnos e as pressões em pontos críticos da rede,
- Além da execução de várias outras acções (Step-Testing, etc.),

Com estas políticas de controlo de perdas de água, foi possível obter um valor de % de água não facturada inferior a 20% desde 2008. Após ser atingido este valor, constata-se que as metodologias adoptadas permitem mantê-lo estável, não permitindo contudo uma grande diminuição deste número (em 2010 a % de água não facturada da Indaqua Santo Tirso/Trofa foi de 18,8%. Para tal, seria necessário um significativo reforço das acções de campo, nomeadamente através de ensaios de rede nocturnos (Step-Testing), abaixamentos de pressão, solução que incrementa significativamente os custos associados. ^[K]

Contudo a INDAQUA relativamente à média nacional apresenta valores aceitáveis no que respeita a volumes de água perdida. Actualmente em Portugal, as perdas de água em Sistemas de distribuição conseguem já atingir valores próximos dos 30%, chegando a alcançar os 50% em alguns municípios, sendo que a INDAQUA apresenta valores abaixo dos 25%. ^[K]

Para além dos já referidos aspectos que contribuem para a existência de perdas num sistema de abastecimento de água, acrescentam-se os seguintes factores aos quais se exige especial atenção de forma a combater as perdas de água, reais e aparentes:

- Optimizar a pressão de funcionamento da rede
- Analisar a frequência com que ocorrem as roturas
- Conhecer e melhorar o estado de conservação da rede
- Procurar instalar e preservar a melhor qualidade dos materiais
- Utilização das melhores técnicas disponíveis para o modo de construção e colocação das tubagens
- Dar especial atenção a zonas de rede instaladas em solos envolvente com características desfavoráveis à detecção de fugas
- Optimizar a melhor forma de funcionamento e operação da rede
- Dar especial atenção a zonas de maior idade da rede
- Procurar roubos de água e violações de contadores
- Contadores antigos a contabilizar por defeito caudal consumido ^[14]

É de maior importância criar estratégias para detectar e combater as perdas de água. Estabelecer passos de actuação, começando por saber quanta água está a ser perdida através de um balanço de hídrico (balanço de água), é essencial para ter noção das quantidades de água perdida e não facturada. ^[14]

Água Entrada no Sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo Facturado Medido	Água Facturada
		Consumo autorizado não facturado	Consumo Facturado Não Medido	
			Consumo Não Facturado Medido	Água Não Facturada
			Consumo Não Facturado Não Medido	
	Perdas de Água	Perdas Aparentes (comerciais)	Uso Não Autorizado	
			Erros de Medição	
		Perdas Reais (físicas)	Fugas nas Condutas de Adução e/ ou distribuição	
			Fugas e extravasamentos nos reservatórios de Adução e/ou distribuição	
Fugas nos ramais				

Figura 27: Campos de um balanço hídrico.

Água Entrada no Sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo Facturado Medido M	Água Facturada
			Consumo Facturado Não Medido	
	FACTURAR	Consumo autorizado não facturado	Consumo Não Facturado Medido B	Água Não Facturada
			Consumo Não Facturado Não Medido B	
REDUZIR	Perdas Aparentes (comerciais)	Uso Não Autorizado T		
		Erros de Medição R		
	Perdas Reais (físicas)	Fugas nas Condutas de Adução e/ ou distribuição 4		
		Fugas e extravasamentos nos reservatórios de Adução e/ou distribuição R		
		Fugas nos ramais RR		

Figura 28: Identificação os campos da água com objectivo a facturar e a reduzir por forma aumentar receita.

O balanço hídrico é um instrumento fundamental para a avaliação das perdas de água. Consiste na contabilização rigorosa de todos os volumes de água entrados e saídos de um determinado Sistema, durante um período de referência. ^[14]

No balanço hídrico, a água que entra no Sistema é dividida em dois grandes volumes:

- Consumo autorizado e
- Perdas de água.

O primeiro corresponde ao volume de água medido ou não medido, facturado ou não facturado, fornecido a consumidores registados, à própria entidade gestora e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais, industriais ou de outra natureza. ^[14]

As perdas de água correspondem à diferença entre o volume de entrada no Sistema e o consumo autorizado, sendo de dois tipos:

- Perdas reais e
- Perdas aparentes.

As perdas reais são as perdas físicas de água do Sistema em pressão, que ocorrem até ao contador do cliente, cujo volume é função da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga. ^[14]

As perdas aparentes contabilizam todos os tipos de imprecisões associadas às medições de água, além do consumo não autorizado, por furto ou uso ilícito. ^[14]

Para qualquer entidade gestora de Sistemas de distribuição de água, um indicador de extrema importância é o volume de água não facturada, ou seja, o volume de água sem retorno financeiro, calculado através da diferença entre o volume de água entrada no Sistema e o consumo autorizado facturado. Estas perdas, designadas por perdas comerciais, contabilizam não só as perdas reais do Sistema como também as perdas aparentes, além dos consumos autorizados não facturados. ^[14]

Com base nas definições estabelecidas pela *International Water Association* (IWA), que têm vindo a ser traduzidas, para português, na literatura publicada pelo

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), sugere-se a consulta de diferentes fontes para cada um dos conceitos, conforme indicado na figura seguinte. ^[rr] ^[w] ^[b]

Conceito	Documento	
Água entrada no sistema	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2
Água facturada	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A20)
Água fornecida à adução	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2
Água fornecida para distribuição	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2
Consumo autorizado	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A14)
Perdas de água	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2
Consumo autorizado facturado	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A10)
Consumo autorizado não facturado	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A13)
Perdas aparentes	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2
Perdas Reais	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2
Consumo facturado medido (incluindo água exportada)	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A8)
Consumo facturado não medido	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A9)
Consumo não facturado não medido	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A12)
Consumo não autorizado	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004	Anexo A – Fichas de Variáveis (A16)
Erros de medição	Guia Técnico nº 1, IRAR 2004 Guia Técnico nº 9, IRAR 2007	Anexo A – Fichas de Variáveis (A17) Capítulo 7
Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição	Anexo A – Fichas de Variáveis (A16)	Anexo A – Fichas de Variáveis (A19)
Fugas e Extravasamentos de reservatórios de adução e/ou distribuição	Anexo A – Fichas de Variáveis (A16)	Anexo A – Fichas de Variáveis (A19)
Fugas nos ramais a montante do ponto de medição	Anexo A – Fichas de Variáveis (A16)	Anexo A – Fichas de Variáveis (A1)
Água não facturada (perdas comerciais)	Guia Técnico nº 3, IRAR 2005	Capítulo 2

Figura 29: Definições e respectivas referências bibliográficas para os conceitos afectos ao cálculo das perdas de água

Num sistema de abastecimento de água urge a redução das perdas reais, as mais importantes a corrigir, pois são as que percentualmente têm maior peso na

fracção das perdas de água. Sendo estas, um tipo de perdas físicas, sujeitas a um controlo bastante apurado, contínuo podem ser Detectadas, Controladas Reparadas e assim Reduzidas. ^[14]

Um segundo passo a executar passa pela detecção de fugas. Existem várias formas de detecção de fugas de água, e de seguida passarei a descrever algumas das mais usadas.

As fugas podem ser detectadas por análise de dados fornecidos por um **sistema de telemetria**, efectuando-se uma observação das pressões, caudais e volumes existentes em seccionamentos da rede. O recurso a simulações corridas no programa **EPANET** permitem (re)criar cenários que eventualmente possam ocorrer na rede de abastecimento.

- **Método volumétrico:** Diferença entre volume que entra com o que sai.

- **Método dos caudais nocturnos:** Medição de caudais nocturnos disponíveis e gastos (na análise dos caudais mínimos nocturnos, recorre-se frequentemente a um índice para avaliar e comparar as perdas entre redes de distribuição; o Índice Nocturno de Perdas (INP), que representa a quantidade de água consumida (*quase na totalidade perdida*) durante o período nocturno, por unidade de comprimento de rede e por unidade de tempo (L/km/h).

- **A criação das Zonas de Medição e Controlo (ZMC):** Zonas específicas da rede de abastecimento que se considerem mais problemáticas e susceptíveis de padecer de perdas de água. Merecem uma atenção redobrada devendo ser aplicado sobre estas uma medição e controlo mais finos de dados, como caudal e pressão.

- **Medição contínua dos caudais mínimos nocturnos:** Manter uma leitura contínua de caudais nocturno possibilita uma análise dos consumos mais pormenorizada. Uma vez que no período nocturno os consumos de água são diminutos, caso se observe um consumo excessivo de água, em princípio, poderá ser indicador de água não facturada.

- **Medição contínua de pressões através de registadores:** De forma análoga à medição contínua do caudal, fortes variações da pressão poderão ser indicadoras de uma fuga de água.

- **Sub-Zonamento e Step Testing:** Detecção o mais próximo possível da zona de fuga, possibilitando a intervenção no local exacto por parte das equipas de reparação. O Sub-Zonamento consiste na divisão temporária da ZMC em zonas mais restritas com a ajuda de válvulas de seccionamento e medidores de caudal. O Step Testing consiste no fecho progressivo das válvulas de seccionamento, caminhando no

sentido de um medidor de caudal existente no limite da ZMC, efectuando o respectivo registo de caudais em cada uma das fases do ensaio. (fortes variações de caudal poderão ser indicadores da secção onde se encontra a fuga). (Procedimento adoptado pela INDAQUA Santo Tirso/Trofa no anexo 5).

- **Técnicas acústicas:** Baseiam-se no facto da água, ao sair pelo orifício da fuga, originar vibrações na conduta. A estas associa-se um ruído específico definido por uma determinada gama de frequências dominantes. A frequência e a intensidade da onda sonora permitem prever a localização do ponto emissor, e dessa forma, por expressões matemáticas, consegue-se deslindar a localização da fuga.

- **Sondagem acústica directa:** Esta técnica consiste em sondar directamente pontos de fácil acesso da tubagem (acessórios metálicos, bocas de incêndio e bocas de rega) através de registadores acústicos (p. ex. Phocus2), que podem ser dotado de um amplificador e de um filtro de ruído. Existem ainda tecnologias mais avançadas como os correladores acústicos (p.ex. ZetaCorr) que através de uma correlação entre os diferentes ruídos observados em cada registador indicam ao local exacto da fuga.

- **Sondagem acústica indirecta:** A escuta é efectuada à superfície do solo, por cima da conduta, com a utilização de geófonos, quando as características do terreno o permitam (esta técnica é limitada no sentido de por vezes se desconhecer a localização das condutas, ou pelo facto de existirem outras condutas na proximidade).

- **Métodos tradicionais de auscultação:** Técnica mais eficaz na detecção de fugas por análise de ruído. Utilizada preferencialmente em tubos de metal, onde nos pontos de acesso à rede um funcionário introduz um ferro no seu interior, colocando-o em contacto com a canalização, e depois por audição (colocando o ouvido próximo do ferro) consegue detectar, com a sua experiencia onde se encontra a fuga. Apesar de constatada como uma das mais eficazes das técnicas de detecção das fugas, padece de alguns inconvenientes, pois só pessoas mais velhas logo mais experientes conseguem efectuar esta análise de audição, e o inconveniente da sua experiencia é a sua idade que também lhe vai retirando capacidades auditivas com o decorrer do tempo. ^[14]

A avaliação das perdas deve ser analisada em termos percentuais (empresa que consegue recuperar muita água não significa que não perca muita, tudo depende da grandeza dessa empresa comparativamente às que movimentam menos água).

Para evitar e diminuir as quantidades de perdas de água é fundamental actuar em pelo menos em 1 dos 4 campos que se apresentam de seguida. É evidente que conseguindo agir sobre os 4 campos em simultâneo obter-se-á uma mais rápida e maior redução das perdas de água conseguindo recuperar os níveis de água facturada até aos limites máximos atingíveis. ^[14]

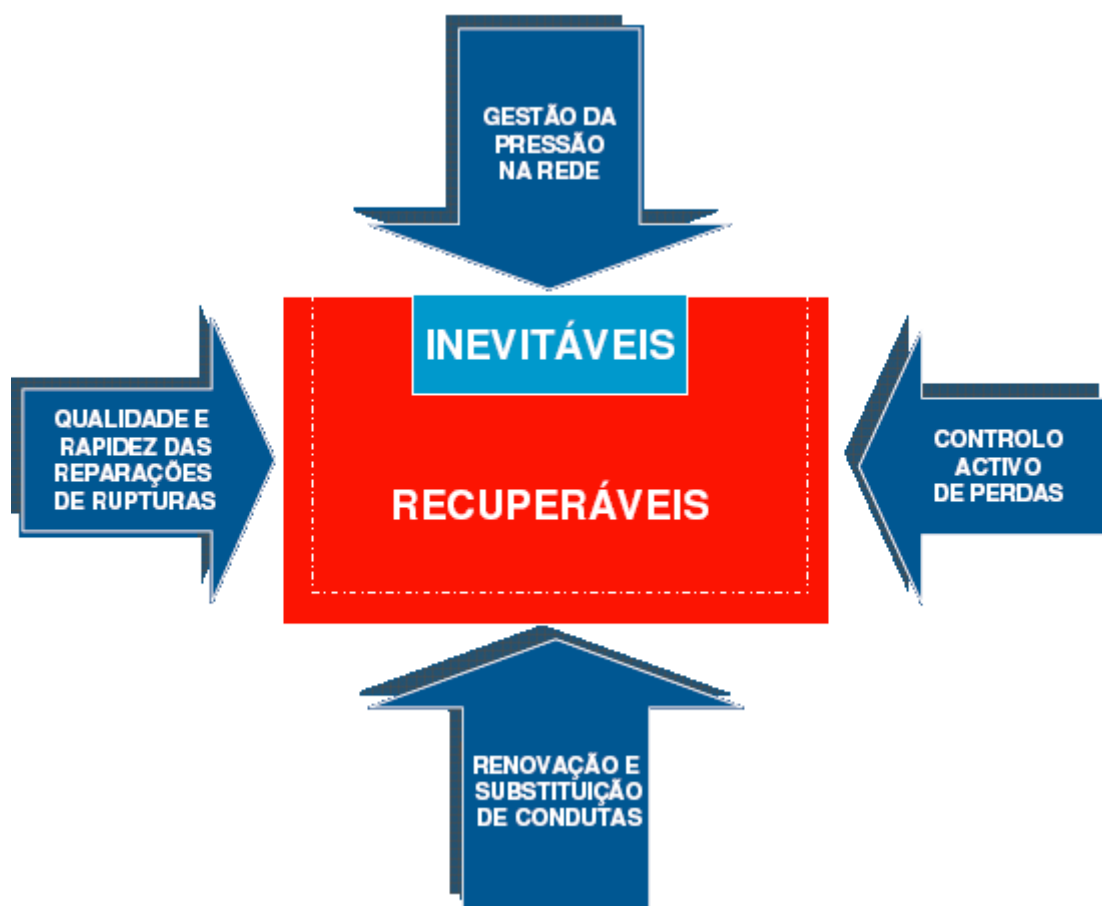


Figura 30: Campos de intervenção para reduzir perdas de água.

Como já referido anteriormente, as perdas reais são aquelas onde se poderá intervir de forma a recuperar maiores quantidades volumétricas de água perdida. Um factor relevante na redução das perdas reais, é o tempo de resposta à incidência de fugas. Detectar com rapidez e efectuar em simultâneo uma reparação da conduta com qualidade para que esta não volte a perder água. ^[14]

O aumento progressivo do caudal de fuga ao longo do tempo exige uma detecção rápida e uma resposta eficiente. Neste contexto, torna-se essencial optar por uma política activa e continua de controlo de fugas. O controlo activo de fugas, contrariamente a uma atitude passiva que se limita à reparação das fugas visíveis, baseia-se numa monitorização constante das fugas, utilizando todas as metodologias e técnicas disponíveis para a sua prevenção, detecção, localização e rápida

reparação, diminuindo os custos associados e aumentando a eficiência do serviço. As fugas de água que sejam visíveis, quer tenham origem em roturas de condutas, nas transições entre materiais ou nos acessórios, nas descargas de fundo ou de superfície de reservatórios, ou câmaras de perda de carga, entre outras, devem ser alvo de uma análise cuidada, caso a caso, atendendo ao tipo e dimensão das mesmas e os custos associados ao tempo de reparação, especialmente em horários de trabalho extraordinário. A actuação deve visar a reposição da normalidade tão cedo quanto possível. Existem ainda as fugas de água não visíveis por não acorrerem e se revelarem à superfície, estas devem ser identificadas através da análise dos caudais mínimos nocturnos. A identificação de um consumo anormal de água ao longo da noite deve conduzir à patrulha da rede em análise com o objectivo de identificar a fuga. ^[14]

A renovação e substituição das condutas poderão contribuir para um abaixamento significativo nas perdas de água, pois existem tipos de materiais de condutas (Fibrocimento) que favorecem a perda de grandes quantidades de água. Sistemas de abastecimento de água antigos caracterizam-se por possuírem percentagens superiores de perdas quando comparados a instalações mais recentes, onde são aplicados novos materiais de condutas (materiais mais elásticos e mais resistentes), novas técnicas de soldadura e emenda de condutas, acessórios provocadores de menores perdas de carga localizada permitindo um escoamento menos acidentado, mais linear e menos causador de desgaste e agressividade à instalação. ^[14]

A criação de Zonas de Gestão de Pressão (ZGP) na rede é de maior importância para uma gestão sustentável das perdas de água. Será sobre este ponto que recairá, mais à frente neste trabalho, a minha análise sobre o sistema de abastecimento R12 da INDAQUA. Um abaixamento dos níveis de pressão para os limites aceitáveis e impostos pela legislação (mantendo os clientes com um abastecimento de água de qualidade) contribuirá fortemente para uma redução nas perdas de água. Quando se verifica a existência de uma fuga, os volumes de água a perder serão menores, pois durante todo o tempo de procura da fuga (que se pretender ser um tempo curto) as quantidades de água perdidas serão reduzidas, pois a pressão e consequentemente a energia que a água possui é menor, logo a massa de água a transpor a fuga/rotura da conduta será menor. O Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de Agosto, estabelece os limites de pressão na rede de distribuição da água. É estipulado que, em qualquer ponto de utilização, a pressão máxima não deverá ultrapassar os 600 kPa, não sendo aceitável grande flutuação de pressão em

cada nó e impondo-se uma variação máxima ao longo do dia de 300 kPa. A pressão de serviço em qualquer dispositivo de utilização predial não deverá ser inferior a 100 kPa, o que na rede pública e ao nível do arruamento corresponde a: $H=100 + 40n$ onde H é a pressão mínima e 'n' o número de pisos acima do solo, incluindo o piso térreo. ^{[14] [44]}

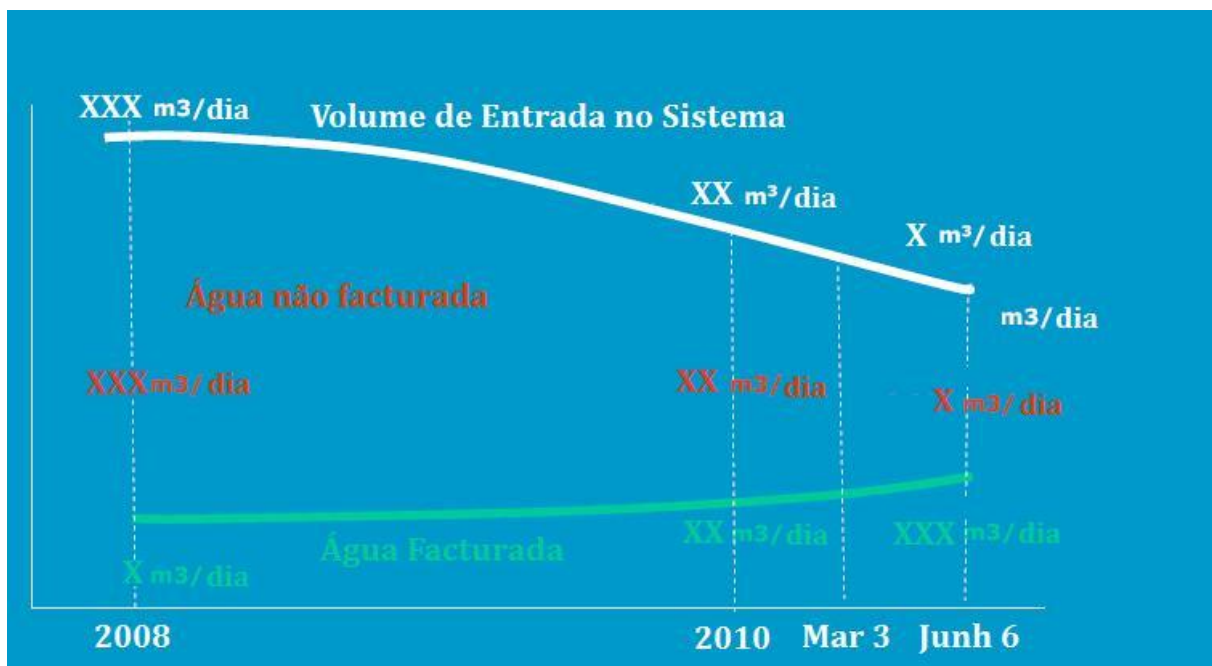


Figura 31: Consequência da aplicação de políticas de redução de perdas de água. ^[14]

De referir que perdas reais de água poderão ser referidas como sendo água perdida por uma fuga ou por uma rotura de uma conduta ou ramal. Sendo as roturas caracterizadas por acidentes súbitos em condutas ou em acessórios, provocados por sobrepressões ou subpressões, sobrecargas excessivas, defeitos estruturais, assentamentos diferenciais, por situações extremas de funcionamento não previstas em projecto, ou no decurso de acções externas provocadas. Manifestam-se imediatamente após a acção do agente provocador, sendo a sua localização normalmente detectada quer por inspecção visual, quer pelas alterações que podem provocar no funcionamento dos Sistemas onde se inserem. ^[14]

As fugas de água referem-se a toda a água que sai inadvertidamente da rede de distribuição, desde o reservatório até ao consumidor, devido à falta de estanquicidade das tubagens, juntas, válvulas e de todos os acessórios da rede de distribuição. As fugas têm a particularidade de se agravarem no tempo, embora possam não se fazer notar facilmente na fase inicial da ocorrência, atendendo aos pequenos caudais que normalmente as caracterizam. ^[14]

6.4. Zonas de Medição e Controlo (ZMC)

A complexidade da exploração de sistemas de distribuição de água pode ser reduzida quando estes se encontram sectorizados (divididos em Zonas de Medição e Controlo – ZMC), medida amplamente adoptada por inúmeras entidades gestoras. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

Sendo na distribuição em baixa que existem mais ineficiências, torna-se imprescindível identificar as suas causas, estabelecer objectivos, definir as medidas a implementar e avaliar os resultados. As perdas de água são, sem dúvida, uma das principais causas de ineficiência para a maior parte das entidades gestoras, pelo que é imperativo reduzi-las, princípio consagrado no PEAASAR 2007-2013, que fixa a necessidade de as reduzir para valores inferiores a 20%. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

Quando as perdas de água não se fazem sentir com a sua exposição á superfície, será necessário escolher técnicas e metodologias de medição e controlo das pressões de forma a chegar à fuga. A estratégia a desenvolver para o controlo activo de perdas deve sempre assentar numa lógica de modulação, iniciando-se pela separação entre a componente adutora e distribuidora, e criando posteriormente estruturas modulares que permitam um controlo mais fácil e eficaz dos caudais e pressões da rede de abastecimento. Muitas vezes esta sectorização da rede é coincidente com os patamares de pressão em que a rede foi projectada ou nos quais é operada. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

A medição e controlo destas porções de rede permitem avaliar a percentagem de volume de água perdida em cada uma delas, conduzindo à hierarquização de actuação. Podendo também ser efectuada uma estimativa dos custos/benefícios relacionados com a concepção das zonas de medição e controlo nos sistemas de distribuição de água. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

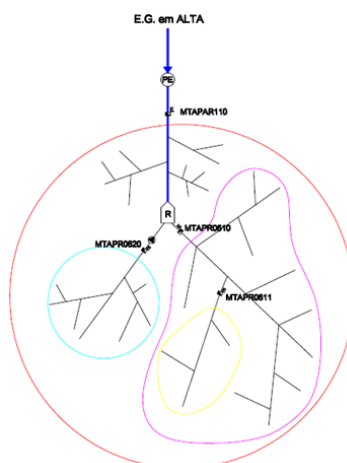


Figura 32: Esquema da delimitação de ZMC na rede de distribuição (com controlo da rede adutora).

Dados empíricos obtidos pela experiência das entidades gestoras de distribuição de água, têm demonstrado que em áreas urbanas a dimensão média para as ZMC deve estar compreendida entre 500 e 3000 ramais, podendo vir a ser reduzida para valores da ordem dos 500 a 1000 ramais em sistemas mais antigos. Porém, não se recomendam valores acima dos 5000 ramais, pelo facto de se tornar mais difícil a localização de fugas. Em alternativa, em zonas com baixa densidade de ramais, pode-se optar por definir a ZMC com base na extensão da rede, pelo facto do custo de localização de fugas estar mais relacionado com o comprimento da rede do que propriamente com o número de ramais. Neste contexto, os valores recomendados variam entre 5 a 10 km, podendo vir a ser adoptados valores superiores em sistemas de maior dimensão. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

Tipicamente as recomendações bibliográficas apontam para a sectorização de áreas de rede com cerca de 1200 clientes, o que corresponderá a cerca de 3000 habitantes. Estes valores são indicativos e devem sempre ser ajustados à realidade de cada sistema de abastecimento, devendo ser encarados como ponto de partida. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

Para além das medições de pressão para detecção de fugas, será necessário um constante controlo das instalações e equipamentos, deve ser avaliado o estado de conservação dos reservatórios (interior e exterior), deve ser substituído e reparados contadores, equipamentos como bombas e motores, bem como condutas que se apresentem em condições desfavoráveis para o abastecimento com qualidade da água. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

Embora a dimensão das ZMC possa estar relacionada com o número de ramais e/ou a extensão da rede, a sua topologia depende fundamentalmente do traçado da rede, do desnível topográfico e do comportamento hidráulico do sistema. Por outro lado, apesar do custo associada às pequenas ZMC ser mais elevado (reduzido número de clientes por ponto de monitorização), à medida que a dimensão das ZMC tende a aumentar existe maior dificuldade em controlar as perdas e de as manter a níveis considerados satisfatórios. [27] [28] [29] [30] [32] [33]

A estas, acresce-se ainda o facto da disponibilidade financeira da entidade gestora poder condicionar, quer o número, quer a dimensão das ZMC, já que a sua implementação terá custos associados (sobretudo se as opções tomadas não forem as mais correctas). [27] [28] [29] [30] [32] [33]

A implementação de um Programa de Controlo de Perdas de Água deve consistir essencialmente na adopção de procedimentos de controlo e redução de perdas de água, nomeadamente:

- Monitorização dos Pontos de Entrega (PE) da água em alta, com a colocação de contadores em todos os PE para contabilização da água distribuída;
- Criação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) nas redes de abastecimento ligadas ao sistema de água em alta;
- Instalação de data-loggers de caudal em todos os medidores associados a PE;
- Controlo e monitorização dos caudais das ZMC's pelo estudo dos caudais mínimos nocturnos (CmN);
- Monitorização de alguns clientes especiais com a instalação de data-loggers de caudal;
- Monitorização e análise das pressões nos pontos mais desfavoráveis das ZMC e em válvulas redutoras de pressão (VRP's) com a instalação de data-logger de pressão.
- Indexação de todos os clientes às ZMC no Sistema de Gestão de Clientes;
- Concluir a actualização do cadastro da rede de distribuição de todo o concelho;
- Executar renovação do parque de contadores, de forma a possibilitar a redução das perdas de água por subcontagem.

6.5. Indicadores de desempenho

Indicadores de desempenho são dados ou informações que representam um determinado fenómeno e que são utilizados para medir um processo ou seus resultados. Os indicadores servem para compreender e controlar um determinado processo, bem como contribuir para a definição de metas e desempenhos. É relevante efectuar uma análise sobre este tema, porque a partir de uma análise cuidada destes indicadores poderão ser tomadas decisões importantes para melhor gerir o abastecimento de água. ^{[14] [b]}

Elencarei de seguida alguns indicadores de desempenho que me parecem ser importantes para entidades gestoras de água. Saliento que em anexo (Anexo 2) apresenta-se algumas figuras relativas a um indicador de desempenho (Qualidade de Serviços). ^{[14] [b]}

Indicadores de desempenho infra-estruturas: ^[14]

- Tratamento
- Armazenamento
- Bombeamento
- Adução e distribuição
- Válvulas
- Medidor de caudais
- Automação e controlo (EPANET, Telemetria, AutomaticMeterReading)

Indicadores de desempenho operacionais: ^[14]

- Inspecção e manutenção
- Calibração de instrumentos
- Reabilitação de condutas e equipamentos
- Reparação e substituição de contadores

Indicadores de desempenho e da qualidade de serviços: ^[14]

- Cobertura
- Pressão e continuidade de serviço
- Qualidade da água
- Reclamações
- Proximidade ao utilizador
- Informação em tempo real

Indicadores de Recursos Hídricos (WR) – É um indicador Ambiental, não apropriado para avaliar a eficiência da gestão técnica dos sistemas de distribuição. São dados referentes a eficiência na utilização dos recursos hídricos, possibilita transparecer a disponibilidade de recursos hídricos. Poderá abordar perspectivas de Água reutilizada no sistema. ^[14] [b]

Indicadores de Recursos Humanos (Pe) – Estes indicadores referem-se a dados organizados do número de colaboradores disponíveis por ramal, colaboradores por água produzida, pessoal afecto à gestão dos diversos departamentos, pessoal afecto ao planeamento, pessoal afecto à operação e à manutenção. A partir da análise deste tipo de indicador teremos acesso à quantidade de pessoal e sua distribuição, bem como à qualificação do pessoal. Daí poder-se-á depreender a necessidade de formação do pessoal. Possibilita também aceder a características de Saúde e segurança do pessoal individual. ^[14] [b]

Indicadores de Infra-estruturas (Ph) – Revelam o tipo e o número de infra-estruturas que a empresa dispõe, bem como dá indicação das suas funções. De referir infra-estruturas de tratamento, armazenamento, bombeamento, adução e distribuição. São referidos também dados informativos do número e tipo de válvulas e hidrantes, densidade de medidores de caudal distribuídos pela rede, bem como sensores de pressão. Faz parte integrante das infra-estruturas toda a automação e controlo, uma das ferramentas que mais contribuirá como indicador de infra-estrutura. ^[14] [b]

Indicadores Operacionais (Op) – são indicadores de boa qualidade de operacionalidade as inspecções e manutenções de infra-estruturas e equipamentos com alguma regularidade, calibração de instrumentos, inspecção de equipamento eléctrico e de transmissão de sinal, veículos, reabilitação de condutas, de válvulas e de ramais, reabilitação de grupos electrobombas, perdas de água, avarias, medição de caudal, monitorização da qualidade da água tratada. ^[14] [b]

Indicadores de Qualidade de Serviços (Qs) – Estes indicadores são positivos quando revelam uma boa cobertura do serviço, fontanários ou outros pontos de consumo público. Quando a água é distribuída dentro dos valores mínimos aceitáveis de pressão e com continuidade do serviço. Estes indicadores são também dados referentes à qualidade da água fornecida, ao baixo número de reclamações (devendo existir sempre a política de responder às reclamações, em especial resposta a reclamações escritas). Como este indicador é importante para um entidade gestora da água, apresentam-se no Anexo 2 algumas figuras elucidativas dos diversos Indicadores de Avaliação da Qualidade de Serviço no Abastecimento em Alta (Águas do Cavado) e em Baixa (INDAQUA – Santo Tirso/Trofa), retiradas da página da ERSAR, apresentando sempre a evolução dos anos de 2008 e 2009. ^[14] [b]

Indicadores Económico-financeiros (Fi) – Estes indicadores exprimem dados relativos a proveitos, custos, composição dos custos correntes por tipo de custo, por tipo de função de entidade gestora e por tipo de actividade. Revela a composição dos custos de capital, o preço médio de venda da água, indicadores de eficiência, alavancagem, liquidez, rendibilidade.

Efectuando um cruzamento de todos estes dados, os directores/gestores das entidades gestoras de águas conseguirão tomar decisões mais assertivas. ^[14] [b]

6.6. *Reparação de condutas sem abertura de vala*

Muitas vezes aquando da detecção de uma anomalia numa conduta surge o paradigma de Reabilitar ou de a Substituir. Esta dúvida surge porque ambas resolvem o problema, embora de formas diferentes, o que leva a gastos monetários diferentes.

O uso de técnicas tradicionais que recorrem a abertura de vala para efectuar a reparação ou substituição da conduta são por vezes intervenções não coordenadas com outras entidades que poderiam partilhar da mesma vala aberta. Por vezes num curto intervalo de tempo uma vala aberta no mesmo sítio surge intervencionada por diferentes entidades. Se houvesse alguma coordenação mais cruzada, os custos das despesas poderiam ser da mesma forma cruzados pelas diferentes entidades.

Procurando agir desta forma não haveria tanta deterioração da estrutura do pavimento, descaracterização da camada de desgaste/imagem dos pavimentos, não havia tanta desresponsabilização das entidades envolvidas, não se faria sentir tanto o desrespeito pela população e pelas actividades económicas afectadas, haveria menor geração de resíduos, menos estradas seriam cortadas ao trânsito, menor número de pessoas seriam afectadas pelo serviço de manutenção e/ou reparação. ^[14]

Empresas que efectuam este tipo de serviços, deverão criar algumas regras de execução de obras, tais como:

- Deixar sempre acesso a entradas e garagens.
- Abrir, fechar e rematar a obra em frente a cada casa em não mais de uma semana.
- Cada troço de rua não deve “estar em obras” mais de duas semanas.
- As obras têm de ficar escrupulosamente limpas no fim do dia.
- Não deixar frentes de obra sem actividade durante mais de umas horas, no mesmo dia; se demorar, fechar e voltar a abrir.
- Não fazer pó nem lama: varrer cuidadosamente (ou aspirar), sempre que necessário. (carros e camiões sempre que saiam de obras com terra devem lavar os pneus em local próprio à saída do local).
- Deixar sempre corredor protegido para passagem de peões.
- Minimizar o impacto sobre o trânsito.
- Sinalizar, delimitar e proteger as obras.
- Informar o público e os moradores.
- Procurar articular acção com entidades como fornecedores de gás, TV por cabo, SMAS, edp, entre outros para minimizar o número de vezes de abertura de vala.

[14]

Imagine-se que após implementação de um sistema de distribuição de água, é construído sobre este algo que não possa ser mexida, movido ou destruído. Imagine-se agora que uma das condutas desse sistema teve uma grande rotura e necessita de

ser reparada. Como não se poderá efectuar abertura de vala, pois as construções à superfície não o permitem, será necessário fechar a fuga de água e proceder á reparação ou substituição. Para isso poder-se-á aplicar técnicas de reparação de conduta sem abertura de vala. ^[14]

Em situações em que não haja entraves em abrir uma vala, não impede a aplicação destas técnicas de reparação e/ou substituição de conduta sem abertura de vala caso os custos de intervenção sejam inferiores aos custos inerentes às técnicas tradicionais.

As principais vantagens destas técnicas comparativamente às tradicionais é que não existem todos os inconvenientes inerentes à abertura de uma vala (geração de resíduos, obstrução à circulação, entre outros), os funcionários ir-se-ão sentir mais valorizados e especializados ao efectuar uma reparação sem abertura de vala (usando equipamento mais sofisticado) do que usando pás e picas para abrir um buraco contribuindo dessa forma com mais qualidade e produtividade nos serviços prestados pela empresa. ^[14]

Contudo existem as suas desvantagens, uma das principais é a problemática dos ramais de ligação, estas ligações não são passíveis de se efectuar sem abertura de vala por nenhuma das técnicas até hoje desenvolvidas. Abrir pequenos buracos em cada uma das ligações para criar um ramal, poderá ficar mais dispendioso do que abrir uma vala única. Contudo se existirem poucos ramais de ligação poderá ser sustentável este tipo de técnica. Um outro facto que poderá ser encarado como uma desvantagem, é o facto de algumas técnicas depois de aplicadas, alterarem o funcionamento hidráulico do sistema (por exemplo quando é efectuado um re-entubamento com diâmetro inferior ao já existente). ^[14]

Nos países desenvolvidos, a maior parte dos sistemas de abastecimento de água foram projectados e implementados há dezenas e mesmo há centenas de anos e, actualmente, as entidades gestoras encontram problemas de ordem técnica e operacional, para manter o nível de qualidade e de quantidade, da água que chega ao utilizador.

O inevitável envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água (muitos deles tendo já ultrapassado o tempo de vida útil para o qual foram dimensionados) é traduzido num aumento das fugas, rupturas e interrupções do abastecimento para resolução de problemas. Os custos de manutenção aumentam assim significativamente.

Como já foi referido anteriormente, um dos processos de reduzir as perdas reais (perdas devido a fugas e/ou rupturas) num sistema de abastecimento de água consiste em substituir ou reabilitar as condutas existentes.

Actualmente têm sido estudadas técnicas de renovar condutas sem abrir vala, as quais apresentam importantes vantagens. Este tipo de técnicas reduzem o impacto para o tráfego pedonal e de veículos, uma vez que a escavação é praticamente inexistente, evitam escavações dispendiosas, minimizam as destabilizações estruturais que possam ocorrer em edificações e outras obras públicas, são mais seguras para os operários e as obras são de execução mais rápida. Estas técnicas apresentam ainda um melhor Custo-eficácia. ^[14]

As tubagens dos sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais são constituídas por diversos tipos de materiais como: fibrocimento (FIB), aço carbono, ferro fundido ductil (FFD), policloreto de vinilo (PVC), polietileno de alta densidade (PEAD) e poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV). ^{[15] [16] [k]}

Entre os materiais mais usados para sistemas de abastecimento de água encontram-se o PEAD, o PVC e o FFD, sendo este último de maior custo. ^{[15] [16] [k]}

O aço carbono e o FFD são de entre todos os materiais, os que aguentam maiores pressões (superiores a 600 e até um máximo de 640 m.c.a), são os mais adequados para sistemas hidráulicos de grandes diâmetros e, são os que apresentam custos mais elevados. ^{[15] [16]}

O PEAD, o PRFV e o PVC, permitem pressões até 200, 160 e 160 m.c.a., respectivamente. Para esta última classe de pressão o PVC é o que apresenta menores custos de aquisição. ^{[15] [16]}

Teoricamente, o PEAD é o material que apresenta menores perdas de água, uma vez que a sua união é feita através de um processo de soldadura por electrofusão e, é garantida a estanquidade através de anéis de borracha. ^{[15] [16]}

Técnica / Material	PEAD	PRFV	PVC	FFD	Betão	Fibrocimento	Aço Carbono
Revestimento com argamassa de cimento				x	x		x
Revestimento com resinas Epoxy				x	x	x	x
Re-entubamento simples	x	x	x	x	x	x	
Re-entubamento por destruição da tubagem existente			x	x		x	x
Re-entubamento com tubo com diminuição diametral temporária				x	x	x	x
Re-entubamento com tubo de parede dobrada				x	x	x	x

Figura 33: Aplicabilidade das diferentes técnicas aos diferentes materiais constituintes das condutas.

Revestimento com argamassa de cimento (Cement Mortar Relining)

Esta técnica consiste no polimento (raspagem de incrustações com raspadores de aço e limpeza com escovas de borracha) e revestimento com argamassa de cimento (argamassa colocada com dispositivo de spray) da conduta a reabilitar, aumentando a resistência e a durabilidade da mesma. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

A argamassa é composta por cimento Portland e por areia de Quartzo em partes iguais. A aplicação da técnica é viável em condutas metálicas (aço ou ferro fundido), com uma gama de diâmetros compreendida entre 80 e 2000 mm.

Como vantagens: A técnica não utiliza materiais tóxicos na limpeza nem no revestimento e apresenta baixos custos comparativamente com todas as outras.

Como desvantagens: A técnica é morosa, de solução provisória e, não aumenta a capacidade hidráulica do sistema. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]



Figura 34: Técnica de revestimento com argamassa de cimento; (a) raspadores de aço; (b) dispositivo de spray para aplicação de argamassa.

Revestimento com spray de resinas epoxy (Epoxy Resin Spray Lining)

Esta técnica consiste no revestimento da parede interna das tubagens com resina líquida, aplicada através de um espigão de spray, que solidifica posteriormente. As resinas utilizadas são do tipo epoxy ELC 173/90 (primeira geração de resinas) e epoxy ELC 257/91 (segunda geração de resinas mais resistente e de maior durabilidade). Depois de solidificada a resina promove uma camada durável e resistente à corrosão. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

Como vantagens: A resina apresenta maior durabilidade que o cimento, resolve problemas de corrosão interna e não obriga à interrupção dos ramais prediais.

Como desvantagens: A técnica não é aconselhável para trechos com mais de 500 metros nem para diâmetros superiores a 1 metro, não resolve problemas de fuga nem de esmagamento de conduta e não permite aumentar diâmetros de condutas. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]



Figura 35: Técnica de Spray Relining (espigão de aplicação de resina).

Re-entubamento simples (Sliplining/Relining)

Esta técnica consiste na introdução de um tubo de menor diâmetro no interior da conduta que se pretende reabilitar. O tubo é inserido ligado a um cabo (sob tensão por um macaco hidráulico), que o vai arrastar dentro da conduta antiga, até esta estar totalmente preenchida pelo novo tubo. Os tubos inseridos são normalmente em PEAD ou PVC. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

Como vantagens: Esta técnica pode ser instalada em longos trechos, é de fácil inserção em curvas e pendentes elevadas, é aplicada a uma gama de diâmetros entre 20 e 1600 mm e a conduta danificada serve de protecção ao novo tubo.

Como desvantagens: Técnica não recomendada para condutas adutoras, visto que se perde capacidade de transporte e é necessária abertura de vala nas ligações. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]



Figura 36: Técnica de re-entubamento simples.

Re-entubamento por destruição da tubagem existente (Pipe Bursting/Burst Lining)

Esta técnica é semelhante à referida anteriormente, contudo neste processo, a nova conduta apresenta um diâmetro igual ou superior à antiga. O avanço do cone hidráulico-pneumático, que transporta a nova conduta, vai provocar o rebentamento da já lá existente. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

O processo interventivo desta técnica é feito a partir das caixas de visita ou dos poços de acesso especificamente abertos. Nestes últimos é também feita a ligação dos ramais à nova conduta.

Como vantagens: Esta técnica pode ser instalada em longos trechos, é ideal quando há necessidade de aumentar o diâmetro da conduta ou substituir por material mais resistente e, é economicamente vantajosa quando as tubagens se encontram a uma maior profundidade ou se o solo é relativamente instável.

Como desvantagens: Provoca vibrações e ruídos que não são aconselháveis em áreas protegidas ou em áreas muito urbanizadas e provoca perturbações em tubagens adjacentes. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

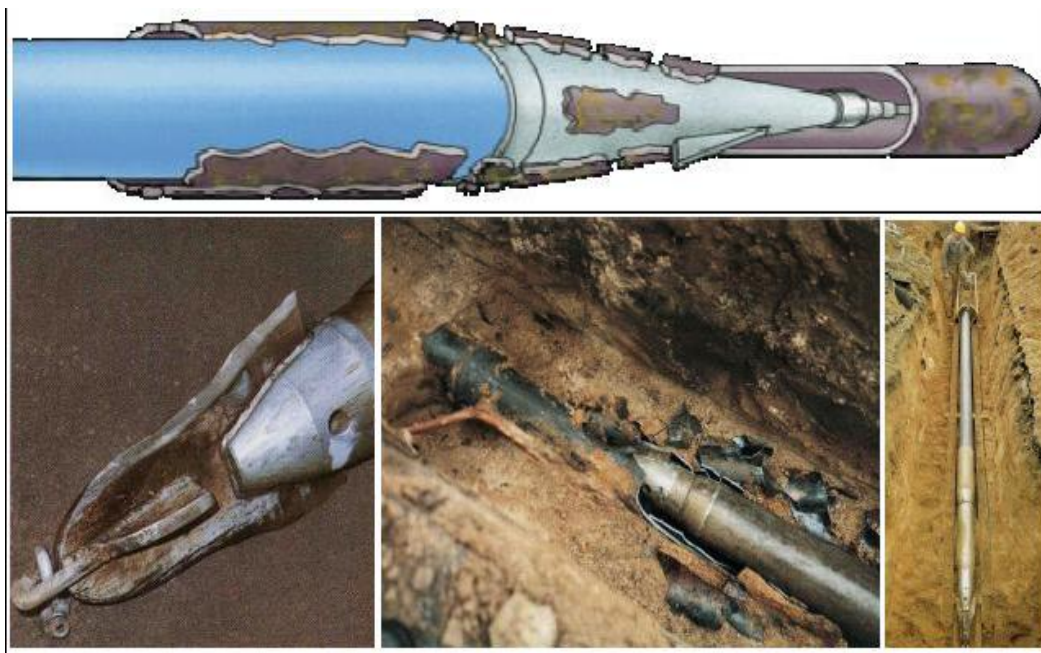


Figura 37: Técnica de re-entubamento por destruição da tubagem existente.

Re-entubamento por redução diametral (Rolldown)

Esta técnica consiste em introduzir tubagens de polietileno diametralmente comprimidas por dois rolamentos concêntricos, no interior de condutas já existentes. Após a inserção, a tubagem de polietileno recupera o diâmetro inicial, com a introdução de água. Para ser possível a aplicação da técnica, as condutas devem ter uma gama de diâmetros compreendida entre 100 e 500 mm e um ângulo de curvatura até aproximadamente 11 °. ^{[ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]}

Como vantagens: A técnica é de rápida instalação, cada inserção pode ter uma extensão superior a 1500 m e o retorno da tubagem de polietileno ao diâmetro original é controlável.

Como desvantagens: As condutas aplicadas com esta técnica (polietileno), são menos resistentes do que as aplicadas em qualquer uma das outras cinco técnicas. ^{[ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]}



Figura 38: Técnica de re-entubamento por redução diametral.

Re-entubamento com tubo de parede dobrada (Subline/Compact Pipe)

Esta técnica consiste em introduzir tubos de PEAD anteriormente dobrados em fábrica (reduzindo o seu diâmetro em cerca de 30 %), no interior de condutas que se pretendem reabilitar. Na fábrica os tubos são dobrados em forma de coração e mantidos nesta forma, presos com tiras bastante resistentes. Após a instalação do tubo é introduzida água sob pressão, as tiras soltam-se e este adquire o seu diâmetro original, ficando o mais justo possível à conduta a reabilitar, evitando-se ao máximo perder neste processo a capacidade de transporte inicial da tubagem.

Para ser possível a aplicação da técnica, os tubos de PEAD devem ter uma gama de diâmetros compreendida entre 75 e 1600 mm e um ângulo de curvatura até aproximadamente 45 °. [ee] [ff] [gg] [ii] [kk] [ll]

Como vantagens: A técnica pode ser instalada em trechos longos (> 1000 m), é de rápida instalação e tem um tempo de vida útil superior a 50 anos.

Como desvantagens: Pode provocar danos na tubagem aquando da expansão do polietileno e é a técnica da qual resulta menor resistência diametral. [ee] [ff] [gg] [ii] [kk] [ll]



Figura 39: Técnica de re-entubamento com tubo de parede dobrada.

Todas estas técnicas devem ser sujeitas a uma inspeção com CCTV (dispositivo de vídeo para inspeção de condutas) antes da sua aplicação. [ee] [ff] [gg] [ii] [kk] [ll]



Figura 40: CCTV (dispositivo de vídeo para inspeção de condutas).

Exemplos de filmagens a condutas para reparação, as motivações para a reparação desta conduta prendem-se com a perda de capacidade hidráulica, o elevado número de rupturas, a rugosidade e redução de diâmetro da parede interna devido às incrustações. [ee] [ff] [gg] [ii] [kk] [ll]

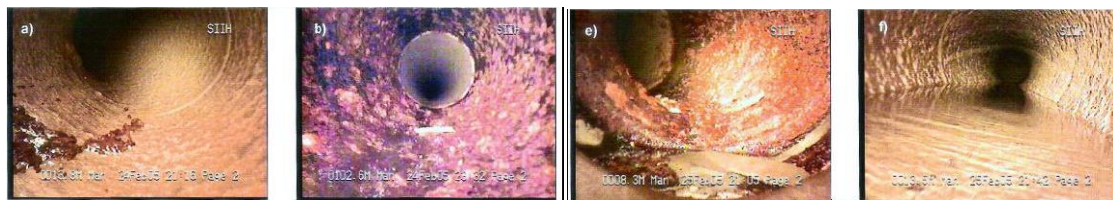


Figura 41: Filmagens a condutas para reparação

Para se concluir se estas técnicas possuem ou não aplicabilidade em situações de substituição às técnicas tradicionais, deve-se ter em conta o tipo de material da conduta a recuperar, o seu diâmetro, a extensão do trecho que se pretende recuperar, pelo número de curvas existentes no percurso e também pelo maior ou menor grau de curvatura das mesmas.

O facto de uma zona ser rural ou urbana é também um importante condicionante. Em zonas com grande intensidade de tráfego, com grande número de edifícios, com património histórico e cultural, técnicas como o re-entubamento simples ou de parede dobrada e revestimento com mangas impregnadas com resina epóxica, são as mais indicadas. Em zonas com intensidade de tráfego reduzido e com edificações em pequeno número, a técnica de re-entubamento com destruição da tubagem existente pode ser aplicada, ainda que, se neste tipo de zonas se fizer a renovação da conduta com vala aberta, o processo pode ser tecnicamente mais fácil e economicamente mais vantajoso.

Por último é ainda de referir que se a conduta a recuperar tiver um elevado número de ramais de ligação, qualquer técnica de reabilitação torna-se pouco viável técnica e economicamente.

6.7. Contadores – Subcontagem / Roubos / Leituras

Para manter uma gestão o mais eficiente possível é necessário controlar o rendimento de todos os sistemas, no entanto existem factores que influenciam este indicador, sendo possível destacar ^[17]:

- Perda de água através de fugas nos reservatórios, nas condutas, nas ligações e nos dispositivos de proveito público;
- Perda de água em limpezas e descargas nos reservatórios e nas condutas;
- Uso das bocas-de-incêndio e de rega;
- **Ligações clandestinas (manobras ilícitas);**
- **Perdas na medição, nomeadamente perdas por subcontagem.**

Gerir de forma eficiente a facturação da água é o objectivo de qualquer empresa de água. Como já referido anteriormente, as perdas de águas podem ocorrer de diversas formas. Uma delas e nada desprezável são as perdas em contadores domésticos, salientando-se as perdas por subcontagem.

Para além das perdas por subcontagem, pode uma empresa gestora de água enfrentar problemas adicionais como fraudes nos contadores, ligações clandestinas, contadores parados e ainda a problemas associados à leitura dos contadores, quando estes estão no interior da propriedade privada do cliente.

Uma das principais formas de combate sugerida, para além da substituição de contadores mais velhos, é a utilização de um sistema de telemetria domiciliária que deve ser adoptada pelas empresas gestoras de abastecimento de água. Este sistema apesar das vantagens que promete trazer na gestão das perdas em contadores, por si só não resolve totalmente os problemas.

Com intuito de melhorar a eficiência da gestão, e ainda permitir ao consumidor ter uma maior consciência do seu consumo, tem sido desenvolvida uma nova tecnologia de medição inteligente, que engloba smart meter e automatic meter reading (AMR) que traz novas vantagens ao sistema mais tradicional de telemetria. Apesar de actualmente este novo sistema não se apresentar economicamente viável, isso acabará por acontecer e ser possível de ser implementado por qualquer empresa gestora de abastecimento de água.

Contadores Volumétricos

Para melhor se entender como se contabiliza a água, e antes de exprimir algumas formas de tentar combater as perdas em contadores, passa-se a fazer uma abordagem a contadores volumétricos. Actualmente os mais usuais em sistemas de abastecimento de água na rede doméstica.

Segundo a Portaria nº21 de 2007 (Anexo 3), um contador de água é um “Instrumento concebido para medir, totalizar e indicar o volume, nas condições da medição, da água que passa através do transdutor de medição”.

No caso da rede de abastecimento doméstica da INDAQUA Santo Tirso/Trofa estão instalados contadores volumétricos, tipicamente de classe C, sendo os diâmetros nominais mais usuais os seguintes: DN 15,20,30,40, sendo maioritariamente, presentemente instalados os DN20.

Contrariamente ao que acontece com outro tipo de instrumentos de medida, os contadores volumétricos evidenciam uma boa precisão e não estão sujeitos a alterações de fluxo de passagem, pois conseguem fazer a medição seja qual for o caudal que o percorra. O princípio de funcionamento de um contador volumétrico baseia-se na contagem do volume de água que percorre a câmara móvel do contador, sendo esta de volume conhecido e apresentando um mecanismo que é posto em movimento pelo escoamento da água, como se pode observar na figura seguinte. [mm]

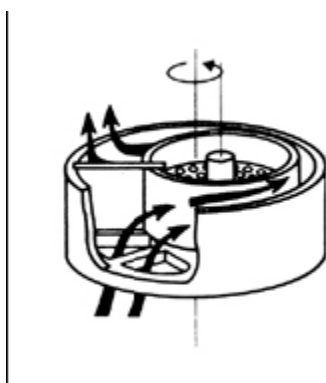


Figura 42: Princípio de funcionamento de um contador volumétrico [mm]

Ao contabilizar os volumes de água, o dispositivo indicador do contador fornece o volume total de água medido. [mm]

O facto de, ao preencher a câmara o escoamento da água fazer girar o êmbolo, faz com que não ocorra o problema relativamente aos fluxos demasiado baixos pois é tudo contabilizado. Quando o volume de água enche totalmente a câmara, ou seja, quando se dá uma oscilação completa do embola obtém-se um volume cíclico. Como já foi referido, devido ao seu princípio de funcionamento este instrumento apresenta

uma elevada precisão, podendo no entanto haver pequenas fugas de água devido a folgas, necessárias para garantir o movimento dos dispositivos mecânicos. [mm]

Apesar da elevada segurança que um contador volumétrico transmite para uma empresa, em termos de fiabilidade da facturação da água, este instrumento também sofre desgaste com o tempo, principalmente com as inúmeras paragens e arranques efectuadas. Este é um factor muito importante que permite avaliar a eficiência do contador a longo prazo. Assim, os contadores são submetidos a testes de envelhecimento, cujo funcionamento consiste em submete-lo a 100 mil paragens e arranques para observar o seu desempenho.

Desta forma, é possível dizer-se que para melhorarmos a facturação da água e reduzirmos as perdas, é importante desenvolver contadores com maior capacidade de resistir aos arranques e paragens a que são diariamente submetidos.

Actualmente, a idade média para os contadores usados numa rede de abastecimento é cerca de 8 anos, após esta idade, a probabilidade de haver mau funcionamento do contador é mais elevada.

Nos contadores domésticos, o erro pode ocorrer de duas formas, ou o contador dá um valor acima do real, ou abaixo, sendo este último o problema que origina as perdas por subcontagem. Como já foi mencionado a idade do contador (número de arranques e paragens) é principal influência nos erros de medição, daí este erro poder ser minimizado com campanhas de substituição que devem visar substituir contadores com idades iguais ou superiores aos 8 anos já referidos.

Assim como todos os instrumentos de medida, os contadores vão perdendo precisão ao longo dos anos. Este conceito é visível nas curvas características de erros dos contadores.

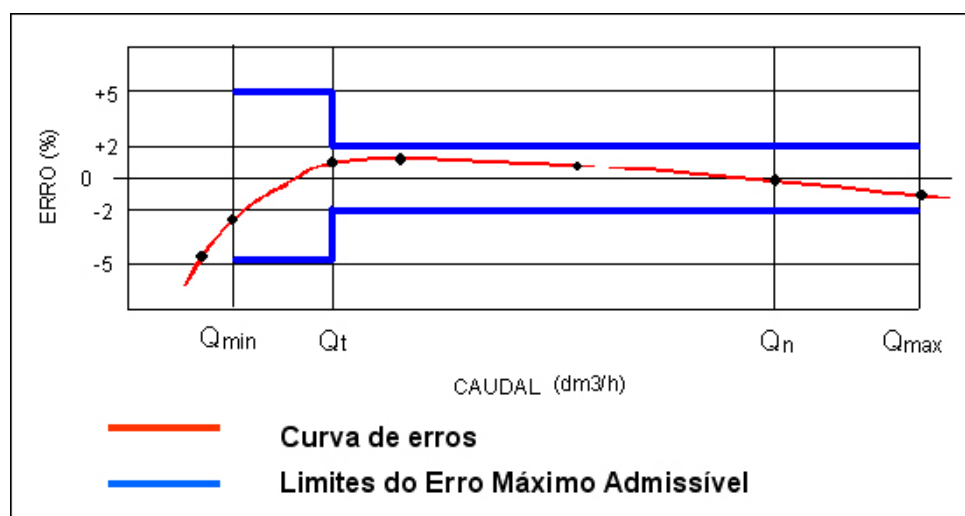


Figura 43: Curva de erros e limites máximos admissíveis.

Segundo a nova abordagem, a figura a cima representada não apresentaria Q_{min} , Q_t , Q_n e Q_{max} , mas sim Q_1 , Q_2 , Q_3 e Q_4 (**Anexo 4**).

A curva de erros é muito importante para comparar a eficiência entre contadores, é fácil através da sua visualização perceber quais os contadores mais eficientes. Embora com a nova abordagem, o conceito de classes seja substituído pelo factor R (**Anexo 4**), o papel da curva de erros mantém-se o mesmo. Deste modo, quanto menor for o caudal mínimo detectado (Q_1), a responder aos critérios dos erros máximos admissíveis, e quanto mais elevado for o valor do caudal permanente (Q_3) maior será a eficiência do contador.

Recorrendo ainda ao conceito de classes de contadores (**Anexo 4**), é visível na figura abaixo que quanto mais próximo os valores de Q_{min} , Q_t , mais eficiente é o contador. [mm]

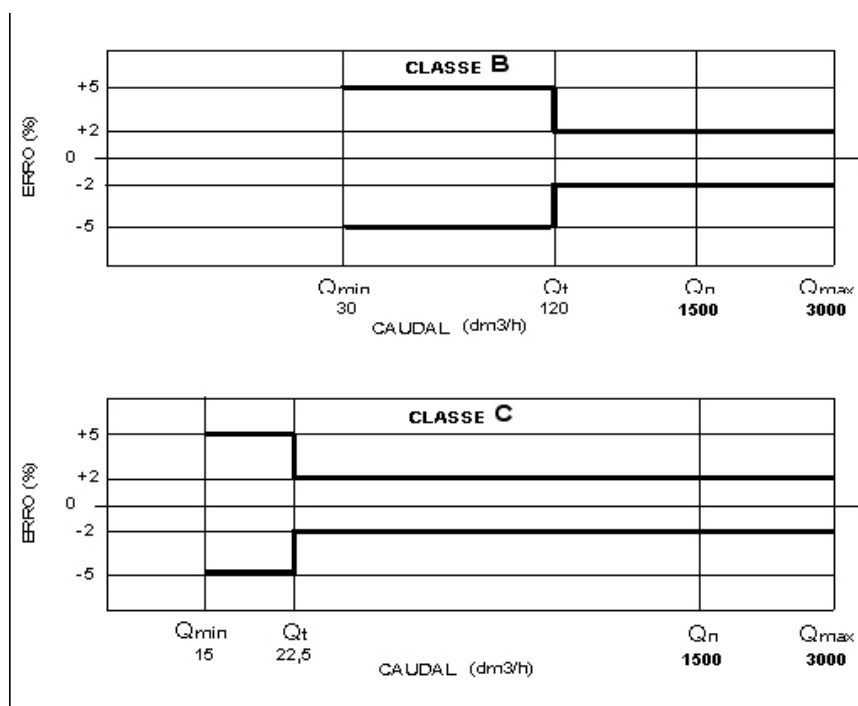


Figura 44: Comparação da curva de erros de contadores da classe B e C [mm].

Segundo a nova abordagem, a figura a cima representada não apresentaria Q_{min} , Q_t , Q_n e Q_{max} , mas sim Q_1 , Q_2 , Q_3 e Q_4 .

Os principais problemas no combate às perdas de água em contadores encontram-se com a sua elevada idade, as leituras dos contadores, (quando estes se encontram dentro da propriedade privada do cliente, que em muitos casos impede o acesso ao contador não sendo possível efectuar a leitura), a existência de contadores parados, a existência de fraudes nos contadores para que a água não seja

contabilizada no contador (ex.: paragens dos números do mostrados com artimanhas, violar contador voltando-os no sentido contrário ao escoamento levando este a contabilizar no sentido descendente, entre outros), a existência de ligações directas, onde o utilizador não possui contrato para usufruir da água da rede.

As formas de combater estas fugas passa por:

- Substituição de contadores por novos e mais eficientes
- Vigilância mais apertada sobre os contadores
- Aumentar as áreas abrangidas pela substituição dos contadores
- Medidas para melhorar a facturação, aumentando o número e a frequência de leituras efectuadas (as leituras por estimativa devem ser substituídas por leituras baseadas em dados reais)
- Selar as ligações dos contadores e suas válvulas, mantendo uma vistoriar dos mesmos.
- Implementação de um sistema sofisticado de Telemetria domiciliária

A medição efectuada pelos contadores vai depender ainda de factores tais como ^[17]:

- Tipo, calibre e classe metrológica do contador;
- Condições de instalação e de utilização;
- Tipo e frequência de anomalias na rede de distribuição;
- Manutenção
- Características da água distribuída;

Em situações de falta de água, as condutas poderão ficar sem água em determinados troços do sistema de abastecimento caso não possuam válvulas de retenção. Nessas situações, quando entrar novamente a água no contador irá empurrar o ar acumulado nas condutas que fará o contador girar mais rápido (devido à densidade do ar), levando o consumidor a pagar um consumo que na realidade não existiu. Este fenómeno provoca grande rotação no êmbolo do contador provocando o seu desgaste e envelhecimento prematuro.

Para além da iniciativa de promover campanhas de substituição de contadores, a implementação de um sistema de telemetria domiciliária traz novos benefícios para entidades fornecedoras de água em termos de facilidade de leitura e permite melhorar a actuação da empresa pois inclui sistemas de alarmes contra fraude, contadores parados e fugas.

Actualmente, o principal entrave à aplicação deste sistema é o preço do dispositivo colocado no contador, que é tipicamente maior que o preço do contador por

si só. No entanto, a tendência será que este venha a diminuir significativamente tornando a tecnologia ainda mais competitiva.

Um sistema de Telemetria domiciliária permite fazer a recolha automática dos dados dos consumos. Depois de recolhidos, os dados são transferidos para uma base de dados central, a qual está ligada ao órgão que faz a facturação e gestão dos clientes. Esta tecnologia permite assim fazer a facturação com base em leituras reais do consumo do cliente. ^[22]

Este sistema tem vindo a ser desenvolvido ao longo dos anos, o que o tornou economicamente mais vantajoso para as empresas, pois actualmente é mais fiável no que respeita à tecnologia envolvida, isto é, a comunicação dos dados está mais segura, e os contadores instalados na rede são mais eficientes. Estes dois factores reduzirão o custo de implementação do sistema de telemetria domiciliária, no entanto ainda não é fácil quantificar a relação custo-benefício de um sistema deste tipo. ^[22]

Um sistema de telemetria domiciliária é constituído por uma unidade local, um concentrador, um sistema de comunicação e uma unidade remota para recolha e processamento dos dados.

A unidade local destina-se a fazer a leitura, registo e transmissão dos dados, e é constituída pelo contador-totalizador, emissor de impulsos e por um módulo de comunicação remota. O concentrador destina-se a receber as leituras, guardá-las e transmiti-las. O sistema de comunicação serve para fazer a comunicação entre a unidade local e o concentrador e depois entre o concentrador e a unidade remota destinada à recolha e processamento dos dados. A unidade remota serve, então, para recolha e processamento dos dados. ^[22]

Uma das principais vantagens de um sistema de telemetria domiciliário é terminar com a necessidade de entrar na propriedade privada do cliente para efectuar a leitura do contador, aceder a locais de mais difícil acesso, fornecer à população os seus consumos de forma a sensibiliza-las a diminuir os gastos de água e leva-las a controlar as suas próprias perdas. ^[22]

Apesar das vantagens apresentadas, este sistema ainda não consegue resolver o problema da leitura em tempo real, isto é, mesmo instalando um sistema de telemetria domiciliário, os dados só são transmitidos em períodos específicos, e por isso mesmo, apesar da leitura estar baseada em dados reais, estes não são obtidas em tempo real. Existe ainda o problema de, se ocorrer alguma avaria no concentrador de dados esta só será detectada no momento da próxima leitura.

A telemetria recorrendo à comunicação por wireless (WMM - Wireless Metering Management) é uma solução mais recente, e apresenta-se como uma tecnologia com forte potencial vinculativo e muito segura, além de que permite acabar totalmente com a intervenção do homem, relativamente à aquisição dos dados. ^[23]

Smart water metering

Com os elevados custos de energia e as grandes pressões exercidas sobre o meio ambiente, sendo as alterações climáticas uma enorme prova disso, é urgente mudar de atitude e levar a gestão a níveis de maior eficiência, ou mesmo de excelência. Deste modo é importante apostar em tecnologias que permitam reduzir substancialmente as perdas e reduzir também os gastos de energia. ^[oo]

Entre as tecnologias de medição de água têm sido destacados o uso de 'smart meter' e ainda dos 'Automatic Meter Reading'. Um 'smart meter' é um contador de água normal ligado a um dispositivo que permite uma leitura electrónica contínua e que demonstra o consumo dos clientes (idêntico ao sistema de telemetria domiciliário). ^{[24] [vv]}

A recolha de dados e a leitura automática de contadores (Automatic Meter Reading – AMR) são ferramentas mais recentes e eficientes de gestão de águas. ^[nn]

O sistema de leitura automática do contador (AMR) é um sistema remoto, assim como a telemetria. Este permite através de tecnologias avançadas, fazer a leitura de contadores electrónicos, em tempo real e a longas distâncias. ^{[24] [pp] [uu] [vv]}

Esta nova forma de medição apresenta todas as vantagens de um sistema normal de telemetria, mas permite ainda que a empresa de abastecimento possa ter todas as habitações directamente ligadas a si e faça a leitura dos contadores em tempo real. ^[uu]

Na figura a baixo podemos ver um esquema ilustrativo deste novo sistema de leitura automática de contadores. ^[pp]

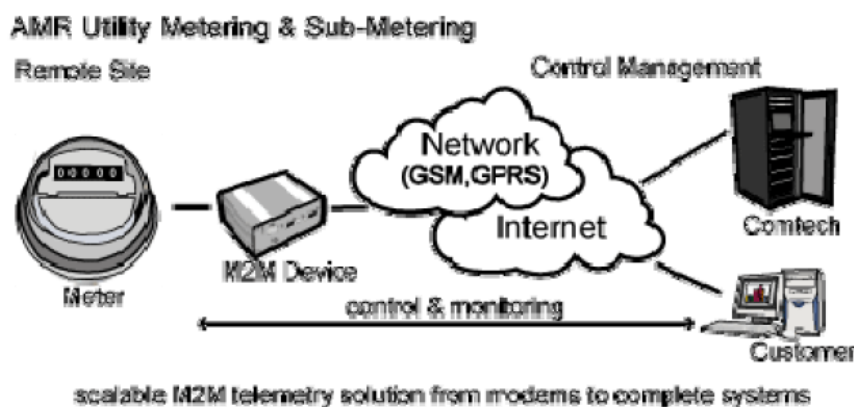
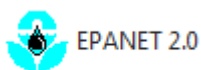


Figura 45: Esquema de um sistema de leitura automática de contadores ^[pp]

Como se pode ver na figura, com este sistema os consumidores também poderão observar, em tempo real, os seus consumos. Esta medida traz grandes benefícios na gestão da água e promove uma maior consciência relativamente ao uso excessivo deste bem tão precioso.

Pensa-se que a introdução desta tecnologia trará ainda a necessidade de criar novas tarifas de água, mais ajustadas à necessidade dos consumidores, uma vez que estes terão uma maior consciência do seu próprio consumo e da necessidade e possibilidade de o diminuir. ^[22]

6.8. EPANET



O EPANET modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de troços ligados a nós, que constituem os componentes físicos do sistema. Os troços representam bombas, tubagens e válvulas de controlo, enquanto que os nós representam junções, aspersores de água, reservatórios de nível fixo e reservatórios de nível variável. Os nós são pontos da rede onde os troços se ligam entre si e onde há entrada e saída de água. As bombas transferem energia para o escoamento, aumentando a sua carga hidráulica. As tubagens transportam a água para os vários pontos, ocorrendo o escoamento dos locais com carga hidráulica mais elevada para os locais com menor carga hidráulica. As válvulas limitam a pressão ou o caudal num dado ponto da rede. Os reservatórios de nível fixo (RNF) representam um volume de armazenamento de água de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante, enquanto que os reservatórios de nível variável (RNV) possuem uma capacidade de armazenamento limitada e o volume de água pode variar ao longo da simulação. ^{[r] [5] [6] [ss] [tt]}

Para além dos componentes físicos existem os componentes não físicos tais como curvas padrão, padrões e controlos, que descrevem o comportamento e os aspectos operacionais de um sistema de distribuição de água. As curvas são objectos que contêm pares de dados, representando uma relação entre duas grandezas. (Exemplos de curvas: curva de bomba, curva de rendimento). Um padrão temporal é constituído por um conjunto de factores multiplicativos que podem ser aplicados ao valor de uma determinada grandeza, de forma a traduzir a sua variação no tempo. A carga hidráulica num reservatório de nível fixo e a entrada de um parâmetro de qualidade da água na rede podem estar associados a um padrão temporal. Os

controles são um conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede opera ao longo do tempo. Especificam o estado dos troços em função do tempo, as alturas de água num reservatório de nível variável e os valores de pressão em pontos específicos. ^[1] ^[5] ^[6] ^[ss] ^[tt]

Os modelos de simulação de sistemas de transporte e distribuição de água constituem os instrumentos computacionais mais utilizados e consagrados no campo do planeamento, do projecto e do diagnóstico de funcionamento, sendo um complemento ao discernimento e experiência dos técnicos envolvidos. ^[6]

O EPANET será útil para criar modelos de simulação para sistemas de abastecimento de água a componentes hidráulicos bem como para a qualidade da água. O EPANET é uma ferramenta útil para profissionais da indústria da água, projectistas e engenheiros. ^[6]

Este modelo foi desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e tem como características mais relevantes ^[6]:

- Dimensão (número de componentes) da rede a analisar ilimitada;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, entre outros;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombagem e do respectivo custo;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição, ou em controles com condições múltiplas;
- Modelação do transporte de um constituinte não reactivo através da rede ao longo do tempo;
- Modelação do transporte, mistura e transformação de um constituinte reactivo à medida que este sofre decaimento ou crescimento com o tempo;
- Cálculo da percentagem de caudal que, com origem em determinado nó, atinge qualquer outro nó ao longo do tempo;

- Definições de limite para a transferência de massa na modelação de reacções na parede;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Modelação de reacções de decaimento do cloro no seio do escoamento em tubagens e reservatórios;
- Definição da variação temporal da concentração ou da entrada de massa em qualquer ponto da rede;

A complementar estas inúmeras capacidades de modelação, existem ainda outras potencialidades que levaram este programa ser escolhido em detrimento de outros, a saber: [r] [5] [6] [ss] [tt]

- Software gratuito e de utilização universal;
- Garantia de fiabilidade e adequação ao estudo a realizar;
- Boa integração com ferramentas de informação geográfica (AutoCAD, entre outros) e ferramentas de cálculo, como é o Excel e o Matlab, entre outros.

Esta aplicação contribui para aplicação de técnicas e metodologias de gestão que permitam reduzir riscos para a saúde humana e o ambiente. Os seus principais objectivos são: o desenvolvimento de metodologias de prevenção e de controlo, a projecção de qualidade da água em sistemas públicos de abastecimento, no apoio à decisão no âmbito de regulamentos e de políticas, fornecer suporte técnico e proporcionar a transferência de informação que assegure a implementação eficaz de decisões e regulamentações ambientais. Ajuda ainda as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água a compreender melhor os movimentos e transformações a que a água destinada ao consumo humano está sujeita através dos sistemas de distribuição. O EPANET é um modelo de simulação em computador que ajuda a atingir estes objectivos. Permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água de um sistema de distribuição sujeito a diversas condições operacionais durante um determinado período de funcionamento. [r] [5] [6] [ss] [tt]

Para que as simulações produzidas surtam um efeito positivo, os sistemas devem ser bem calibrados e representados de forma realista. Dessa forma, pensa-se que o uso e criação de modelos deste tipo se torna, hoje em dia, uma ferramenta de grande relevância para qualquer empresa do sector que pretenda atingir um estado de excelência na prestação dos seus serviços, sendo possível entre outros aspectos prever qual o comportamento do sistema a alterações futuras tal como é o caso da expansão de uma rede de abastecimento já existente, o estudo da qualidade da água,

a calibração de modelos hidráulicos, ou até fornecer aos decisores informações que possam revelar-se importantes em termos do combate activo às perdas de água. ^{[7] [5] [6]}

[ss] [tt]

Para além do EPANET 2.0, existem outros modelos computacionais que nos permitem obter um nível nos resultados de acordo com o pretendido, tais como o WATERCAD, o WATNET ou outras versões do EPANET (como o EPANET Z). Como processo de escolha do modelo a utilizar devem-se ter em conta vários aspectos: ^{[7] [5] [6]}

[ss] [tt]

- O custo;
- A facilidade de utilização;
- A operacionalidade e flexibilidade do programa;
- A robustez do modelo;
- A velocidade de processamento;
- As componentes representadas;
- A interface com o utilizador;
- As características do modelo de qualidade;
- A integração com bases de dados de CAD, SIG e SCADA;
- O apoio técnico e a documentação;
- Entre outros.

7. Conclusões bibliográficas

Portugal regista valores elevados de perdas de água que nomeadamente condicionam a implementação de regimes económicos e financeiros adequados nos serviços de águas, sendo o potencial de acção, na maioria dos sistemas, ainda muito grande. Para além da valia ambiental, social e de saúde pública, o controlo de perdas permite significativos ganhos económicos, o que deve ser um incentivo para a actuação das entidades gestoras nesta matéria. Pode assim concluir-se que a definição e a implementação de uma estratégia activa de controlo de perdas é um aspecto essencial para o desenvolvimento do sector.

O uso de ferramentas como o EPANET, poderá contribuir para uma tomada de decisão com prontidão e certeza na gestão de sistemas de abastecimento de água, em especial na gestão de pressão e caudal adequados à realidade, no que respeita ao combate das perdas de água.

Antes de executar alguma acção deverá existir uma prévia análise, uma prospecção sobre a tomada de decisão, devendo haver sempre que necessário a intervenção de políticas de mudança. Para que se consigam atingir estados de excelência deverá haver um forte emparelhamento entre todos os departamentos e directores/gestores da empresa.

A INDAQUA é uma entidade Privada que entre várias concessões, possui uma em Santo Tirso/Trofa, onde efectua a gestão do abastecimento de água potável segundo uma parceria com as Câmaras Municipais de Santo Tirso e Trofa. A INDAQUA compra água às Águas do Noroeste para posteriormente efectuar o seu controlo, monitorização e distribuição em baixa até esta chegar à rede predial dos utilizadores/consumidores.

É de maior importância definir e criar correctamente Zonas de Medição e Controlo (ZMC) e Zonas de Gestão de Pressão (ZGP) para procurar reduzir perdas de água, melhorar a qualidade de serviço na distribuição de água ao cliente e consequentemente aumentar a receita gerada pela empresa gestora de água, permitindo a esta evoluir e ter maior capacidade de investimento nas melhores técnicas disponíveis (MTD).

A INDAQUA Santo Tirso/Trofa possui já uma forte política de gestão (controlo e reparação) de fugas/perdas de água. Possui sistemas informáticos de informação actualizados e muito bem organizados. O “SAP”, actual Sistema de Gestão de Clientes, onde possuem toda a informação cadastrada (número de clientes, número de ramais associados às ruas, controlo de facturação associado ao consumo efectuada por ramal, tipo de contadores, características do material das condutas, entre outros), podendo esta informação ser cruzada a qualquer momento com outro qualquer tipo de informação. Possui também um sistema de “Telemetria” onde conseguem visualizar à distância todos parâmetros e variações temporais como pressão, caudal, qualidade da água, estado de bombas, entre outros, de todos os seus sistemas. Esta ferramenta permite obter sinais de alarme, gráficos, tabelas, isolinhas que possibilitam efectuar uma análise melhor e mais correcta dos dados. Para além de possuírem informação cadastrada em plantas (formato papel) possuem informação de coordenadas de nós, condutas, respectivas cotas, diâmetros, entre outros em AutoCad, do qual facilmente se extrai informação para outras ferramentas como por exemplo o simulador EPANET.

Pode-se concluir que uma empresa gestora de água deverá procurar sempre um estado de excelência de forma a produzir o maior valor de receita possível e para isso deverá ter políticas de gestão orientadas pelos valores e aspectos até aqui referidos, dando especial atenção aos seus colaboradores, clientes, deverá ter especial atenção na procura da melhor aplicação de taxação, servindo água com qualidade e sem reclamações.

Uma entidade gestora de distribuição de água deverá procurar possuir sempre que possível as MTD, como por exemplo os sistemas de leitura dos contadores (AMR), equipamentos para efectuar reparações sem abertura de vala, entre outros.

Para concluir é bom referir que a INDAQUA, sendo uma das poucas empresas privadas a efectuar a gestão de sistemas públicos de abastecimento de água no nosso país tendo assim pouca concorrência privada, prima-se por prestar um serviço de excelente qualidade.

8. Âmbito e objectivos

- ❖ Simulação hidráulica em EPANET do sistema de abastecimento de água R12 da INDAQUA,
- ❖ Elaboração de uma ferramenta que permita auxiliar na tomada de decisão na gestão da rede de abastecimento de água da INDAQUA,
- ❖ Estudar e definir Zonas de Gestão de Pressão (ZGP),
- ❖ Combate às perdas de água por abaixamento da pressão global da rede,
- ❖ Contribuir para a diminuição global da pressão presente no sistema de distribuição de água,
- ❖ Criar alterações e simular em EPANET diferentes hipóteses de cenário que propiciem a diminuição de pressão e consequente diminuição de perdas reais.
- ❖ Contribuir para a melhor gestão de perdas de água da INDAQUA,
- ❖ Contribuir para uma procura na diminuição dos caudais mínimos nocturnos,
- ❖ Detectar, com recurso ao simulador EPANET, o local mais exacto das perdas de água,
- ❖ Baixar custos de exploração,
- ❖ Optimizar Zonas de Medição e Controlo (ZMC) de pressão e caudal do R12, de forma a diminuir a pressão de abastecimento ao limite razoável,
- ❖ Controlo mais eficaz sobre roubo de contadores de água melhorando o controlo de perdas de água,
- ❖ Baixar custos de manutenção,
- ❖ Aplicação de novas técnicas de reparação de condutas,
- ❖ Maior e melhor gestão sobre água facturada com aplicação das MTD no controlo do registo da água nos contadores,
- ❖ Adoptar postura de sensibilização da população utente.

9. Descrição do trabalho

Com este trabalho pretende-se criar mais uma ferramenta de tomada de decisão ao combate às perdas de água através do Simulador EPANET criando cenários de simulação hidráulica no caso concreto do sistema de abastecimento de água R12 da INDAQUA Santo Tirso/Trofa. Manter e estabelecer um **Controlo Activo de Perdas**, estudar e definir Zonas de Gestão de Pressão (ZGP) e Zonas de Medição e Controlo (ZMC) com o intuito de simular a distribuição de água no R12 com uma pressão mínima em altura de caudais mínimos (menor consumo – 05:00h), sempre respeitando os limites legais presentes em legislação, de forma a diminuir as perdas de água, garantindo que em alturas de maior consumo (consumo diurno – 20:00h) a pressão mínima não seja inferior às pressões mínimas limites estabelecidas em legislação. (Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 Agosto)

Procurar criar desta forma uma ferramenta, que cruzando os seus dados com o Sistema de Telemetria, já implementado na INDAQUA Santo Tirso/Trofa, seja possível encontrar de forma mais exacta a existência de possíveis roturas e consequentes fugas de água. Criar uma ferramenta que permita simular possíveis situações reais ou inovar e criar situações novas e futuras.

Depois de descoberta a perda de água nos sistemas de informação, será necessário deslindar onde esta se encontra no terreno, e para isso deverão ser usadas também técnicas acústicas, técnicas de observação, leituras de pressão em pontos estratégicos e ensaiar a estanqueidade dos ramais de ligação, entre outros.

Quando detectadas roturas em grandes extensões de conduta, para diminuir custos de manutenção e reparação desses grandes trechos, sugere-se a aplicação de novas técnicas de reparação e substituição de condutas sem abertura de vala. A implementação de um sistema mais sofisticado de leitura e controlo de contadores ajudará a combater também perdas de água, como as aparentes, que não se observam nas roturas.

Para conseguir executar e cumprir os objectivos propostos, passa-se a descrever os passos principais a executar:

- Desenhar a rede de distribuição do R12 em EPANET.
- Adquirir, trabalhar, organizar, rectificar, dados relativos à caracterização das condutas, nós e equipamentos inerentes ao Sistema R12.

- Rectificar e actualizar o cadastro existente com as últimas alterações efectuadas no terreno.
- Relacionar e distribuir dados de facturação do sistema de gestão de clientes (SAP) (consumos nos ramais) pelas ruas (condutas e nós). Percorrer o terreno no sentido de recolher número de contadores para confirmar se os consumos da rua estão a ser atribuídos correctamente.
- Determinar in-sito as cotas de pontos estratégicos e cruciais para a melhor ajuste do sistema cadastrado à realidade instalada, recolhendo dados de cotas tais como reservatório, VRP, extremidades do sistema R12, entre outros.
- Determinar in-sito os pontos críticos, locais de maior e menor pressão (registar leituras de variação de pressão num período contínuo de 6 dias) recorrendo à instalação e leitura de data-loggers, bem como pela observação de manómetros de pressão.
- Reconhecimento do local percebendo o tipo de habitação e respectivos consumos e consequentes necessidades de pressão e caudal.
- Identificação de locais de elevação ou depressão acentuada entre nós (indicadores de pressão) projectados no cadastro e EPANET.
- Aquisição e tratamento de outros dados referentes ao sistema de distribuição de água que sejam entendidos como relevantes para calibrar/ajustar o simulador (consumos nos nós, cpc, pressões, caudais, cotas, cpp, caudal de perdas, padrão consumo, padrão de variação do nível de água no reservatório, entre outros).
- Analisar o Sistema R12 no sentido de criar ZMC e ZGP de forma a baixar as perdas de água e consequentes despesas que daí advêm.
- Obter o padrão de consumo da população de forma a calibrar o EPANET.
- Distribuir as perdas existentes por toda a rede em função do comprimento das condutas e do número de contadores existentes por conduta.
- Criar cenários e executar o simulador, podendo obter uma imagem do que se passará na realidade, podendo assim provocar as alterações necessárias no sistema R12 de forma a o poder melhorar. Simular duas situações actuais (consumo médio – $25\text{m}^3/\text{h} \rightarrow 6,99\text{ L/s}$; consumo máximo – $110\text{m}^3/\text{h} \rightarrow 30,56\text{ L/s}$) e uma situação futura de cenário de expansão da rede e/ou aumento de clientes (consumo médio – $140\text{m}^3/\text{h} \rightarrow 38,89\text{ L/s}$). Criar vários Cenários (3 cenários) com propostas de alteração/intervenção na rede de distribuição, na procura da diminuição global da pressão garantindo as condições aceitáveis de pressão que mantenham o conforto ao cliente.

Apresentam-se seguidamente tópicos onde se abordam estratégias que se entendem como contribuidoras para a gestão e diminuição de perdas de água nos sistemas de distribuição da INDAQUA Santo Tirso/Trofa.

10. Políticas a adoptar no que respeita ao controlo de contadores

Seguindo a informação anteriormente mencionada relativamente ao tipo de contadores, propõem-se que a INDAQUA deixe de substituir contadores de 9 em 9 anos, e o passe a fazer de 8 em 8 anos, pois começa a fazer sentir exponencialmente a sua perda de eficácia/eficiência por volta de 8 anos de vida.

Sempre que houver manutenção na rede de abastecimento, independentemente de esta manutenção envolver ou não serviços sobre os contadores, estes devem ser inspeccionados, efectuando-se uma inspecção visual das posições dos contadores (procurar combater contadores virados ao contrário a descontar a contagem), devem ser visualizados e inspeccionados mostradores (relógio contador de impulsos) no sentido de encontrar alguma irregularidade (manobra ilícita), devem ser visualizados os selos anti-violação e deve ser efectuada uma leitura do número correspondente ao consumo. Sempre que surja uma reclamação de avaria do contador, este deve ser examinado e revisto com especial atenção no sentido de detectar possíveis violações do contador, anteriores à danificação (acidental ou intencional) do contador.

Mesmo sendo ainda um sistema bastante caro para ser adquirido e implementado ^{[xx][www]}, sugere-se ainda que seja criado um fundo nas receitas direccionado à aquisição gradual de um sistema de recolha de dados e a leitura automática de contadores (Automatic Meter Reading – AMR) (implica substituição de contadores, aquisição de equipamento de leitura e equipamento de armazenamento de dados, bem como formação dos colaboradores).

Como referido anteriormente, o sistema de leitura automática do contador (AMR) é um sistema remoto, assim como a telemetria. Este permite através de tecnologias avançadas, fazer a leitura de contadores electrónicos, em tempo real e a longas distâncias. ^{[24] [pp]}

Esta nova forma de medição apresenta todas as vantagens de um sistema normal de telemetria, mas permite ainda que a empresa de abastecimento de água possa ter todas as habitações directamente ligadas a si e faça a leitura dos contadores em tempo real. Desta forma consegue efectuar um controlo mais apertado sobre os consumos e consequentemente violações de contadores, diminuindo assim roubos de água através dos contadores.

11. Melhor técnica disponível para efectuar reparação de rotura de tubagem sem abertura de vala

A INDAQUA neste momento usa técnicas convencionais para reparação de conduta. A meu ver o seu uso para pequenas reparações, com pequenas aberturas de valas (pequenas caixas de acesso a condutas ou acessórios) deve continuar a ser política e prática corrente e prioritária, contudo, quando se justificar uma reparação ou substituição de um troço mais longo numa conduta e com baixo número de ligações de ramais, ou mesmo para alterar as características iniciais da rede (diminuição de diâmetro), o uso de técnicas sem abertura de vala deverão ser políticas preferenciais.

Pelo exposto já neste trabalho, parece-me que as técnicas que melhor se adequam à realidade dos sistemas de abastecimento da INDAQUA poderão ser as duas seguintes:

- Re-entubamento simples (Sliplining/Relining)

Esta técnica consiste na introdução de um tubo de menor diâmetro no interior da conduta que se pretende reabilitar. O tubo é inserido ligado a um cabo (sob tensão por um macaco hidráulico), que o vai arrastar dentro da conduta antiga, até esta estar totalmente preenchida pelo novo tubo. Os tubos inseridos são normalmente em PEAD ou PVC. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

Como vantagens: Esta técnica pode ser instalada em longos trechos, é de fácil inserção em curvas e pendentes elevadas, é aplicada a uma gama de diâmetros entre 20 e 1600 mm e a conduta danificada serve de protecção ao novo tubo.

Como desvantagens: Técnica não recomendada para condutas adutoras, visto que se perde capacidade de transporte e é necessária abertura de vala nas ligações.

- Re-entubamento por destruição da tubagem existente (Pipe Bursting/Burst Lining)

Esta técnica é semelhante à referida anteriormente, contudo neste processo, a nova conduta apresenta um diâmetro igual ou superior à antiga. O avanço do cone hidráulico-pneumático, que transporta a nova conduta, vai provocar o rebentamento da já lá existente.

O processo interventivo desta técnica é feito a partir das caixas de visita ou dos poços de acesso especificamente abertos. Nestes últimos é também feita a ligação dos ramais à nova conduta. [ee] [ff] [gg] [ii] [jj] [kk] [ll]

Como vantagens: Esta técnica pode ser instalada em longos trechos, é ideal quando há necessidade de aumentar o diâmetro da conduta ou substituir por material mais resistente e, é economicamente vantajosa quando as tubagens se encontram a uma maior profundidade ou se o solo é relativamente instável.

Como desvantagens: Provoca vibrações e ruídos que não são aconselháveis em áreas protegidas ou em áreas muito urbanizadas e provoca perturbações em tubagens adjacentes.

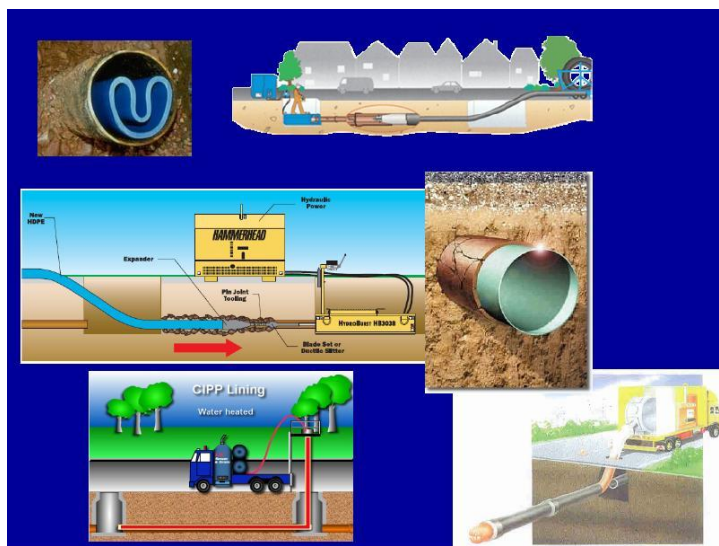


Figura 46: Técnicas de reparação de conduta sem abertura de vala. ^[14]

12. Formas mais eficazes de detecção de fugas de água

As fugas de água visíveis, quer tenham origem em roturas de condutas, nas transições entre materiais ou nos acessórios, nas descargas de fundo ou de superfície de reservatórios, ou câmaras de perda de carga, entre outras, devem ser alvo de uma análise cuidada, caso a caso, atendendo ao tipo e dimensão das mesmas e os custos associados ao tempo de reparação, especialmente em horários de trabalho extraordinário. A actuação deve visar a reposição da normalidade tão cedo quanto possível. ^[14] [K]

Existem ainda as fugas de água não visíveis por não acorrerem à superfície, estas devem ser identificadas através de simulações no EPANET, da análise dos caudais mínimos nocturnos, análise dos dados da telemetria, sondagens acústicas. A identificação de um consumo anormal de água ao longo da noite deve conduzir à patrulha da rede em análise com o objectivo de identificar a fuga. Estas fugas não visíveis (em que a água não se repercute à superfície) podem estar a enviar a água

para o interior da rede pluvial bem como para a rede de saneamento básico, ou ainda poderá estar a ser absorvida pela porosidade e permeabilidade do solo. ^[14] [k]

Para detectar as fugas cuja água que não surge à superfície será necessário recorrer a Step-Testing, que incluem procedimentos e técnicas que revelam eficácia na detecção de fugas. Consiste em analisar o aumento de pressão, ou a diminuição do caudal mínimo nocturno a quando do fecho sequencial de válvulas de pequenos troços de conduta de um sistema de abastecimento em estudo. O facto de haver uma variação abrupta nos caudais e/ou pressão poderão ser indicadores de um consumo (perda de água) excessivo no troço que foi fechado (logo a fuga/rotura encontrar-se-á entre a válvula fechada e a anteriormente fechada).

Deve-se recorrer ao Step-Testing caso a fuga não seja detectada por nenhuma outra forma, pois o Step-Testing para além de ficar dispendioso, (pois acarreta pagamento de horas extraordinárias em período nocturno) provoca também elevado desgaste nas condutas e acessórios devido ao quase inevitável choque hidráulico que ocorre com o seccionamento das válvulas, podendo vir a gerar novos problemas e provocar novas roturas. Os Step-Testing apesar de todas estas contra-indicações/desvantagens, e apesar de também poderem criar algum incómodo no uso normal da água por parte dos clientes (cortes temporários do abastecimento de água), têm a grande vantagem de serem bastante eficazes e rápidos a indicar/identificar em que secção da rede de abastecimento se encontra a fuga de água. Estes ensaios só se conseguem executar com garantia de resultados fidedignos quando existe um bom cadastro da rede.

Quando não existe um cadastro que permita efectuar uma prévia análise das condutas e suas válvulas, quando não existe um cadastro que permite saber e conhecer o verdadeiro traçado da rede, é mais complicado saber quais as válvulas que controlam quais condutas, é mais complicado decifrar por onde anda a conduta e por isso mais difícil detectar as fugas por Step-Testing. A execução do Step-Testing fica facilitada quando ao sistema está ligado um sistema de telemetria, que forneça em tempo real as variações de Caudais e/ou Pressões, se não existir um sistema de telemetria, é necessária a presença de um operador junto ao medidor de caudal que se encontra à entrada dessa ZMC, para que sejam transmitidas as variações de caudal aos técnicos que operam as manobras de fecho das válvulas de seccionamento da rede.

As tecnologias de detecção acústica de fugas de água podem ser utilizadas de forma complementar ao Step-testing ou quando não é possível usar o Step-Testing. Usar vários registadores acústicos (instalados em válvulas de seccionamento, válvulas de ramal; marcos de incêndio) e ir percorrendo a rede até se conseguir aproximar dos locais onde o ruído é mais intenso e indicador de fuga. Esta técnica não causa impacto na rede como o que acontece com os Step-Testing, mas é uma forma de tentativa erro que pode convergir mais ou menos rapidamente para o local de fuga, logo é uma forma mais demorada que o Step-Testing de detectar a zona da fuga, e envolve uma equipa permanente de trabalho a efectuar constantemente este tipo de análise. Contudo em explorações onde não haja disponível um cadastro, ou o conhecimento da localização e distribuição das condutas, esta será uma forma eficaz de detectar as zonas da fuga.

Há casos em que as fugas não são na conduta principal, mas sim nos ramais de ligação às redes prediais. Nesses casos será necessário efectuar posteriormente um teste ao ramal colocando este sobre pressão durante alguns minutos. Caso haja decaimento da pressão, será sinal da existência fuga. Esta é uma forma de despistar as fugas de água em ramais domiciliários (fugas muito frequentes).



Figura 47: Detecção de fugas em ramal. Fecho de Válvula (Cabeça Móvel); Tirar contador/Colocar Manómetro de Pressão; Leitura da Variação da Pressão durante 5 a 10 min.

De ter em conta que para efectuar estes procedimentos, antes e depois do Step-Testing, previamente à partida para o trabalho de campo deve procurar-se avaliar os consumos dos clientes especiais afectos à rede em causa, para despistar falsos alarmes, deve ser efectuada uma análise em cadastro da sequência de fecho de válvulas, e dividido o sistema em partes (tornar uma rede malhada em pequenas partes ramificadas). Caso a zona não possa ser identificada desta forma, devem realizar-se manobras na rede que permitam isolar a área geográfica onde se localiza a perda. Sempre que existam equipamentos para detecção rigorosa de fugas, como sejam equipamentos acústicos, devem ser utilizados para diminuir o grau de incerteza quanto à localização. Por último, procede-se à reparação, após a qual se deve garantir que foi reposta a normalidade com qualidade. ^[14] [k]

Apresenta-se de seguida imagens do método usado para reparação de uma fuga na conduta. Após a sua detecção pelo Step-Testing, faz-se uma sondagem ao terreno à procura de indícios do local exacto da fuga, procurando existência de água à superfície, presença de água na rede de saneamento e/ou águas pluviais. Havendo a presença dessa água efectua-se uma rápida análise de Cloro, pH e Condutividade da água presente, no sentido de confirmar se possui características e propriedades idênticas à da água do sistema de abastecimento. Em alternativa e caso a água não esteja visível deve-se recorrer à análise da queda de pressão em ligações de ramais (anteriormente já referido) ou então recorrer a sondagens acústicas.

Após a localização exacta da fuga há que abrir um pequeno buraco, confirmar a presença de água, fechar a válvula a montante e jusante, proceder ao corte do tubo e substituir por um novo, ou substituir o eventual acessório danificado, rectificando o erro. De referir o pormenor que para se conseguir efectuar uma correcta soldadura (eletrofusão) do tubo em PEAD, este não deve conter nenhuma quantidade de água vestígal que seja, e, caso necessário, para isso é colocado no interior do tubo um balão com ar que vai estancar a água, e que depois de reparada a fuga e reposta a normal circulação de água, este balão será desfeito com a energia do escoamento saindo na primeira descarga que se efectua.



Figura 48: Reparação de uma conduta com abertura de vala e com eletrofusão (soldadura) da conduta.

Para as fugas de menor dimensão, utilizam-se as técnicas acústicas, consideradas de maior eficácia. Baseiam-se no facto da água, ao sair pelo orifício da

fuga, originar vibrações na conduta, a que está associado um som específico definido por uma determinada gama de frequências dominantes. As frequências emitidas dependem das características da fuga, do material da conduta, da pressão de funcionamento e do tipo e grau de saturação do solo envolvente. A frequência e a intensidade da onda sonora permitem prever a localização do ponto emissor – a fuga que se pretende localizar. ^{[14] [K]}

Apesar de ser possível localizar uma fuga através do som, existem outras fontes de ruído, muitas geradas na própria rede de abastecimento, que podem dificultar esta operação e induzir a operação em erro, tais como o consumo de água por clientes, as perdas de carga provocadas por válvulas redutoras de pressão, obstruções parciais da conduta, reduções de diâmetro, válvulas parcialmente fechadas, curvas ou mesmo interferência eléctrica. ^{[14] [K]}

Um dos métodos mais utilizados para a localização de fugas é a sondagem acústica directa, quer por razões económicas, quer por facilidade de aplicação. Esta técnica consiste em sondar directamente pontos de fácil acesso da tubagem – acessórios metálicos, bocas ou marcos de incêndio e bocas de rega – através da vareta de auscultação, que pode ser dotada de um amplificador e de um filtro de ruído. A posição da fuga corresponde, geralmente, ao ponto onde o som é captado com maior intensidade, sendo a eficácia deste método fortemente dependente da agudeza acústica e da experiência do operador. ^{[14] [K]}

Pode, também, efectuar-se a *sondagem acústica indirecta*, análoga à anterior mas em que a escuta é efectuada à superfície do solo, por cima da conduta, com a utilização de geófonos, quando as características do terreno o permitam. Esta técnica é mais limitada que a anterior uma vez que, muitas vezes, se desconhece a localização da conduta, ou existem outras condutas na proximidade. ^{[14] [K]}



Figura 49: Utilização de um geófono para localização de uma fuga de água

Estes métodos são os mais utilizados, atendendo ao baixo custo do equipamento e à rapidez e flexibilidade de aplicação. Todavia, nem sempre existe um ponto de escuta próximo da fuga e, por vezes, é difícil distinguir o ponto com maior intensidade de ruído. A existência de ruídos de fundo, ou os casos em que a fuga emite um som pouco intenso, dificultam a obtenção de resultados satisfatórios. [k]

Com a evolução das tecnologias, surgiram novos equipamentos para detecção e localização de fugas de água com base na análise acústica, designados por registadores acústicos. [k] Por vezes é necessário recorrer a instrumentos detectores de metais para localizar as cabeças móveis (onde são inseridos os registadores acústicos), pois estas encontram-se cobertas pelo asfalto que muitas vezes é originado pela repavimentação das vias.

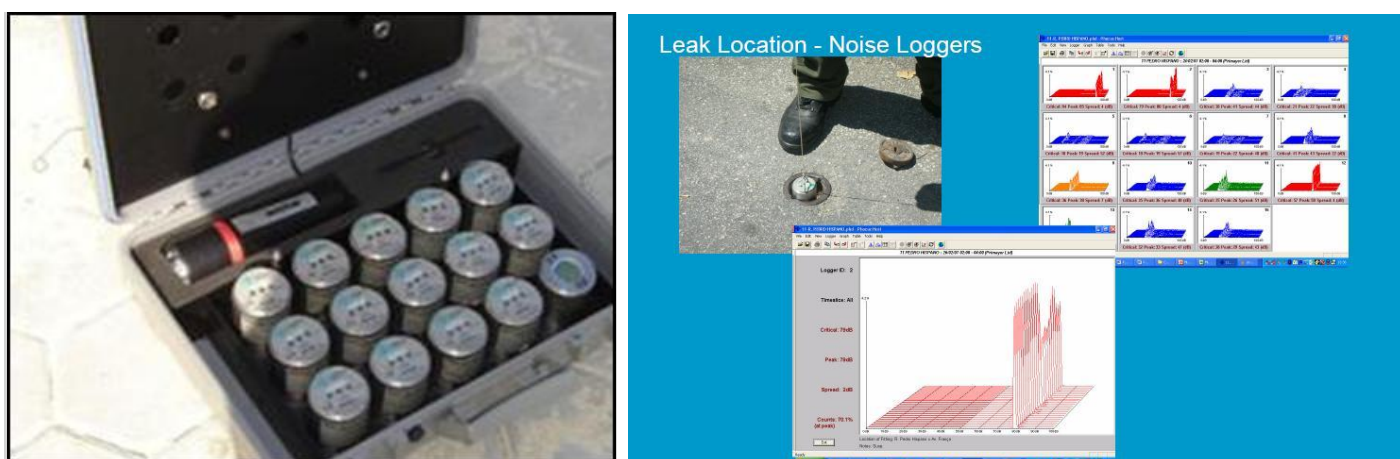


Figura 50: Registadores acústicos

Os Phocus2, registadores acústicos existentes na INDAQUA Santo Tirso/Trofa, são colocados em marcos de incêndio, válvulas de seccionamento ou de ramal e identificam a existência ou não de fuga. Em tubagens plásticas, é aconselhável não se ultrapassar os 50 metros de distância entre registadores. Uma luz no display de cada registador indica se há ou não fuga na proximidade do mesmo. [k]

As tecnologias de sondagem acústica têm evoluído de tal forma que a localização da fuga é já conseguida com bastante exactidão. A mais utilizada é o correlador acústico que após a captação do sinal sonoro provocado pela fuga, em dois ou mais pontos diferentes da conduta, calcula a posição relativa da fuga por correlação, cruzada da diferença de tempo na chegada de duas frequências iguais. A posição de uma fuga, X , é dada pela seguinte relação:

$$X = \frac{L - a \times \Delta t}{2} \quad (1)$$

sendo L a distância entre os dois pontos de medição definida à partida pelo operador; Δt a diferença de tempo de chegada de sinais sonoros idênticos; e “a” a velocidade de propagação do som no meio. ^[k]



Figura 51: Correlador acústico

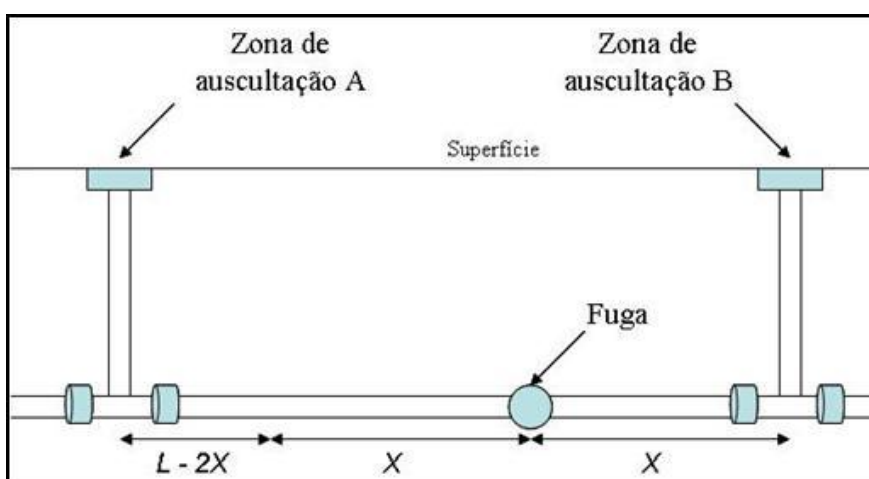


Figura 52: Princípio da correlação acústica

A velocidade de propagação do som no meio, depende das características do fluido e da conduta, podendo ser determinada directamente pelo correlador acústico através da análise do ruído, ou constituir um dado de entrada resultante da consulta de Quadros previamente preparados ou existentes. A INDAQUA possui dois equipamentos de correlação acústica, *ZetaCorr*, um deles tem 3 e o outro tem 8 registadores, o software do equipamento faz a correlação entre as combinações possíveis dos 3 ou dos 8 pontos, respectivamente. Para tubagens metálicas a eficácia e exactidão na localização da fuga é excelente, mesmo para distâncias entre registadores da ordem dos 200 metros, para tubagens plásticas a eficácia do equipamento é menor e as distâncias entre registadores não deverão ultrapassar os 50 metros. ^[k]

13. Balanço Hídrico / Nível Económico de Perdas

O cálculo do balanço hídrico de cada um dos sistemas (preferencialmente em todas as ZMC) é uma acção que deverá ser efectuada pela empresa com alguma regularidade (em redes problemáticas deverá cumprir uma periodicidade mensal pois só existe facturação mensalmente). Os seus resultados fornecem, de uma forma global, com baixa taxa de erro as percentagens de água que estão ser perdidas. Apresenta-se no 'Anexo 6' o Balanço Hídrico calculado em folha Excel para o R12. ^[14]

Componentes de balanço hídrico

- Água de Entrada no Sistema

- *Consumo Autorizado*

- Consumo Autorizado Facturado

- Consumo facturado medido (**Melhorar**)

(leitura de contadores de clientes)

- Consumo facturado não medido (**Medir/Melhorar**)

(obtido por estimativa, por incapacidade de leitura dos contadores)

- Consumo Autorizado Não Facturado (**Facturar**)

- Consumo não facturado medido (**Banir/Baixar**)

(consumo efectuado por entidades públicas e algumas associações)

- Consumo não facturado não medido (**Banir/Baixar**)

(consumo efectuado nos marcos dos bombeiros, sistemas de rega de jardins camarários)

- *Perdas de Água*

- Perdas Aparentes (comerciais) (**Reduzir**)

- Uso não autorizado (**Tratar/Travar**)

(Roubos em contadores, ligações ilícitas)

- Erros de medição (**Reduzir / Reparar**)

(sub-contagem de contadores)

- Perdas Reais (físicas) (**Reduzir**)

- Fugas nas condutas (**Reduzir**)

(roturas em condutas em operações de manutenção, arrebentamento por cavitação, elevado desgaste das condutas, uso de elevadas pressões, materiais e condutas antigas)

- Fugas e extravasamentos nos reservatórios (**Reduzir**)

(perdas de água pelo topo de reservatórios, perdas de água por fissuras existentes no reservatório, perdas por má qualidade e incorrecta aplicabilidade da impermeabilização dos reservatórios)

- Fugas nos ramais (**Reduzir / Reparar**)

(ligações feitas de forma deficiente, defeito dos acessórios de ligação)

- Água Facturada (**Aumentar**)

- Água não Facturada (**Reduzir**)

Conceitos:

Designação		Expressão de cálculo	Definição	Comentários
A3	Água entrada no sistema	-	Volume introduzido no sistema de abastecimento de água durante o período de referência.	
A8	Consumo facturado medido	-	Consumo total autorizado que é medido e facturado durante o período de referência.	Resulta da soma dos consumos registados nos contadores dos clientes. Como, em geral, as datas das leituras não coincidem com o período exacto da avaliação, serão necessárias interpolações para obter a melhor estimativa possível do valor verdadeiro.
A9	Consumo facturado não medido	-	Consumo total autorizado que não é medido e que é facturado durante o período de referência.	Este dado de entrada é a melhor estimativa disponível, baseada em inquéritos ou em quaisquer outras formas de avaliação a que a se possa recorrer.
A10	Consumo autorizado facturado	A8+A9	Consumo total autorizado que foi facturado durante o período de referência.	Note-se que o consumo autorizado facturado pode incluir consumos para combate a incêndios e formação de bombeiros, lavagem de condutas e de colectores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação e fontanários públicos, protecção contra baixas temperaturas, obras de construção civil, etc., caso sejam facturados.
A11	Consumo não facturado medido	-	Consumo total autorizado que foi medido mas não facturado durante o período de referência.	Note-se que o consumo autorizado não facturado pode incluir consumos para combate a incêndios e formação de bombeiros, lavagem de condutas e de colectores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação e fontanários públicos, protecção contra baixas temperaturas, obras de construção civil, etc., caso sejam não facturados.
A12	Consumo não facturado não medido	-	Consumo total autorizado não medido e não autorizado durante o período de referência.	Este dado de entrada é a melhor estimativa disponível, baseada em inquéritos ou em quaisquer outras formas de avaliação a que a se possa recorrer. Note-se que o consumo autorizado não facturado não medido pode incluir consumos para combate a incêndios e formação de bombeiros, lavagem de ruas, lavagem de condutas e de colectores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação e fontanários públicos, protecção contra baixas temperaturas, obras de construção civil, etc., caso não sejam facturados nem medidos.
A13	Consumo autorizado não facturado	A11+A12	Consumo total autorizado e não facturado durante o período de referência.	Note-se que o consumo autorizado não facturado pode incluir consumos para combate a incêndios e formação de bombeiros, lavagem de condutas e de colectores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação e fontanários públicos, protecção contra baixas temperaturas, obras de construção civil, etc., caso não sejam facturados. Estes consumos podem ser medidos ou não medidos, de acordo com a prática local.

A14	Consumo autorizado	A10+A13	Consumo total autorizado durante período de referência, medido e/ou não medido, de clientes registados, para usos domésticos, comerciais, industriais ou públicos.	Note-se que o consumo autorizado pode incluir consumos para combate a incêndios e formação de bombeiros, lavagem de condutas e de colectores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação e fontanários públicos, protecção contra baixas temperaturas, obras de construção civil, etc. Estes consumos podem facturados ou não facturados, medidos ou não medidos, de acordo com a prática local.
A15	Perdas de água	A3-A14	Diferença entre água entrada no sistema e consumo autorizado.	As perdas de água podem ser consideradas como um volume total para todo o sistema. As perdas de água consistem em perdas reais e perdas aparentes.
A16	Consumo não autorizado	-	Consumo total não autorizado durante o período de referência, incluindo furto.	Este dado de entrada é a melhor estimativa disponível, baseada em inquéritos ou em quaisquer outras formas de avaliação a que a se possa recorrer.
A17	Perdas de água por erro de medição	-	Consumo total de água não contabilizada durante o período de referência devido a erros de medição.	Este dado de entrada é a melhor estimativa possível, baseada principalmente em dados resultantes da calibração dos contadores existentes e/ou de inspecções realizadas para esse objectivo.
A18	Perdas aparentes	A16+A17	Consumo total de água não contabilizada durante o período de referência devido ao consumo não autorizado e a erros de medição.	-
A19	Perdas reais	A15-A18	Volume total de perdas físicas de água do sistema em pressão, até ao contador do cliente, durante o período em referência.	O volume das perdas durante o período de referência através de todos os tipos de fugas de água, roturas e extravasamentos depende das frequências, dos caudais e da duração das fugas.
A20	Água facturada	A8+A9	Consumo total autorizado facturado durante o período de referência.	Tem o mesmo valor de A10.
A21	Água não facturada	A3-A20	Diferença entre os volumes de água entrada no sistema e do consumo autorizado facturado durante o período de referência.	A água não facturada inclui não só as perdas reais e aparentes mas também o consumo autorizado não facturado.

Dados importantes para o BH (09 Janeiro a 09 Dezembro de 2009 – R12):

1. Água comprada à Águas do Cavado	250 296 (m³)
2. Perdas no reservatório	62 (m³/dia)
3. Consumos próprios não facturados medidos da INDAQUA	0 (m³/dia)
4. Volume facturado com base em leituras reais	174 919 (m³)
5. Volume facturado com base em leituras estimadas	21 206 (m³)
6. Estimativas de erros nos contadores	
contadores com mais de 15 anos - 15%	25 (m ³)
contadores com mais de 10 anos - 8%	15 (m ³)
contadores com mais de 5 anos - 5%	5 (m ³)
Restantes	4 (m ³)
7. Água furtada (estimativa)	
contadores violados (nº; e volume diário (L/dia))	44; 150 (L/dia)
ligações ilegais (nº; e volume diário (L/dia))	22; 200 (L/dia)
furto em bocas de incêndio/by-pass rede de incêndio	1 (m ³)
8. Estimativa utilização pelos bombeiros	0,2 (m³/dia)
9. Percentagem estimada das perdas reais nas condutas de adução e distribuição	19,5%
10. Percentagem estimada de reais perdas nos ramais domiciliários	78,0%

Consumo autorizado: 196 198 (78,39%)

Perdas de água: 54 098 (21,61%)

Consumo autorizado facturado: 196 125 (78,36%)

Consumo autorizado não facturado: 73 (0,03%)

Perdas aparentes: 4065 (1,62%)

Perdas reais: 50 033 (19,99%)

Água Facturada: 196 125 (78,36%)

Água Não Facturada (Perdas Comerciais): 54 171 (21,64%)

Uma outra forma de cálculo recomendada, para o cálculo das perdas reais, a metodologia utilizada também pela *Severn Trent Water*, que se baseia na análise dos caudais mínimos nocturnos (CmN) da ZMC e dos clientes especiais da mesma (referente à média mensal). ^{[14] [k]} (Forma de calculo apresentada de seguida, embora não seja usada esta abordagem nesta dissertação).

Esta metodologia considera um consumo legitimo nocturno de 2 litros, por cliente doméstico, por hora e 0,8% do consumo mensal facturado a clientes comerciais e industriais. ^{[14] [k]}

A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$Perdas\ reais = [(CmN_{zmc} - CmN_{ConsEsp.}) f] - (0,002 \times N \times 24 \times d) - 0,008 \times (F_{(Ind.+Com.)})$$

Sendo que:

CmN_{zmc} – caudais mínimos nocturnos médios mensais

$CmN_{ConsEsp.}$ – caudais mínimos nocturnos médios mensais de clientes especiais

f – factor de correcção da pressão

N – número total de clientes domésticos da ZMC

d – número de dias do mês em análise

$F_{(Ind.+Com.)}$ – volume facturado mensal dos clientes industriais e comerciais

Entende-se por cliente especial, aquele que apresenta um perfil de consumo irregular e totalmente atípico ao longo de todo o dia e de todos os dias da semana. Apresenta-se um exemplo, em que o perfil de consumo flutua a todas as horas ao longo de todos os dias da semana: ^{[14] [k]}

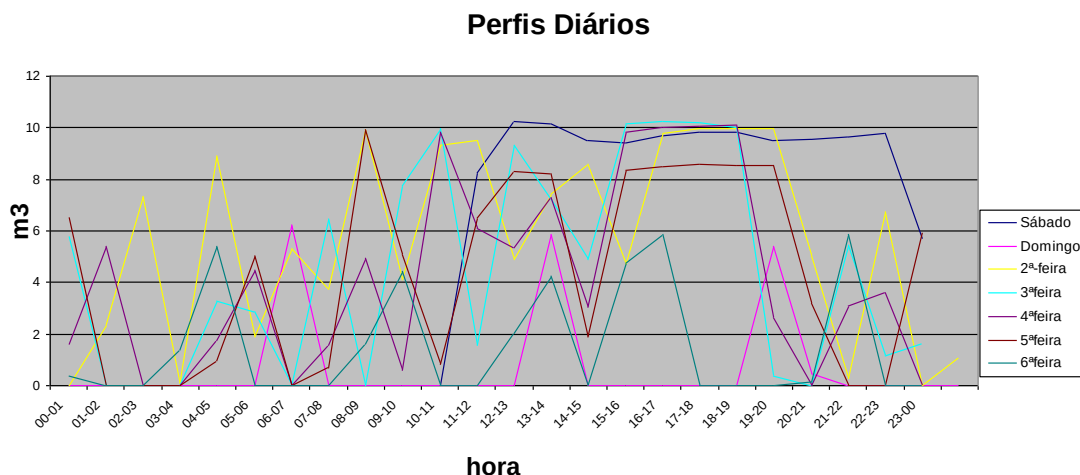


Figura 53: Gráfico referente ao consumo de um cliente especial ao longo de uma semana.

O factor de correcção de pressão utilizado na fórmula acima irá variar de ZMC para ZMC (em função da densidade de ramais por quilómetro de conduta, da estrutura social da área, entre outros) e pretende afectar os caudais mínimos nocturnos da flutuação de pressão que existe entre o dia e a noite. ^{[14] [k]}

O facto de se medirem estes caudais à noite, quando os consumos na rede são menores, faz com que a pressão na rede aumente de forma inversamente proporcional, conforme a seguinte relação matemática:

$$Q_{diurno} = Q_{nocturno} \times \left(\frac{P_{diurna}}{P_{nocturna}} \right)^n \quad (2)$$

Assim, há necessidade de corrigir o caudal de perdas diário (24h) com o factor de pressão que, de forma simplista, resulta da variação entre a pressão mínima (diurna) e a pressão máxima (nocturna) verificada na ZMC em análise. ^{[14] [k]}

Em suma, o factor $f = \left(\frac{P_{diurna}}{P_{nocturna}} \right)^n$ representa a flutuação entre as pressões ao

longo de todo o dia. Caso não se realize esta correcção, está a admitir-se que o volume de água perdido ao longo do dia, com pressões mais baixas, é igual ao volume perdido, e medido, ao longo da noite, quando as pressões são mais elevadas. ^{[14] [k]}

Apesar da equação acima ser apresentada de forma simplista, experimentalmente verifica-se que a relação entre o caudal e a pressão nas redes de distribuição têm esta relação, variando o valor do expoente de caso para caso. ^{[14] [k]}

O expoente n pode ser obtido experimentalmente ou consultando tabelas em literatura da especialidade. Sempre que se desconhece o material ou o nível de perdas este coeficiente tem valor unitário. ^{[14] [k]}

Naturalmente, cada entidade gestora de sistemas de distribuição de água deverá ajustar o método para o cálculo das perdas reais e aparentes à sua realidade, apoiando-se, sempre que possível, em dados experimentais obtidos no decorrer da sua actividade. ^{[14] [k]}

Pode optar-se por estimar as perdas aparentes e determinar as reais por diferença entre a água não facturada e o consumo autorizado, menos as perdas aparentes:

$$\text{Perdas reais} = \text{Água não facturada} - \text{Consumo autorizado} - \text{Perdas aparentes}$$

Pode ainda optar-se por avaliar as perdas reais em cada uma das suas partes, através da análise de caudais nocturnos, do cálculo da frequência, caudal e duração de roturas, e da modelação matemática, entre outros, somando-as e comparando-as com os resultados anteriores, calculando posteriormente as perdas aparentes por diferença entre as perdas de água e as perdas reais:

$$\text{Perdas Aparentes} = \text{Perdas de água} - \text{Perdas reais}$$

As entidades gestoras da distribuição da água devem dar prioridade à metodologia que recorre ao cálculo das perdas reais, uma vez que se apoia num menor número de estimativas. Neste contexto, devem criar-se ZMC para a realização dos cálculos com base em dados reais.^{[14] [K]}

Note-se que a análise dos CmN nunca deverá ocorrer sem atender às características de consumo dos clientes especiais.^{[14] [K]}

A abordagem ao controlo activo de perdas poder-se-á fazer de duas formas distintas: numa abordagem *top-down* ou numa abordagem *bottom-up*.^{[14] [K]}

A abordagem *top-down* define-se como partindo do todo, segundo os passos enunciados de seguida, para chegar ao valor percentual de perdas de água:

- Realização do balanço hídrico global;
- Definição de objectivos estratégicos globais;
- Realização de balanços hídricos em sub-sistemas;
- Definição de objectivos estratégicos por sub-sistema;
- Realização de balanços hídricos por ZMC;
- Definição de objectivos estratégicos por ZMC.

A abordagem *bottom-up* (complementar) selecciona as áreas da rede prioritárias a investigar, com base em critérios empíricos, dos quais se salientam:

- Frequência actual de roturas;
- Idade e materiais da rede;
- Tipo (permeabilidade) de solo;
- Nível freático;
- Tipo de ocupação socio-demográfica;
- Previsão de outras intervenções no subsolo.

Estas abordagens podem coexistir, devendo sempre encontrar-se um ponto com as características de um Ótimo de Pareto; no qual o custo associado ao controlo activo de perdas não seja superior ao benefício que a entidade gestora tem com essa redução do volume de água perdida. Este ponto representa o nível económico de perdas (NEPr), cuja determinação é representada esquematicamente na seguinte figura. ^{[14] [K]}

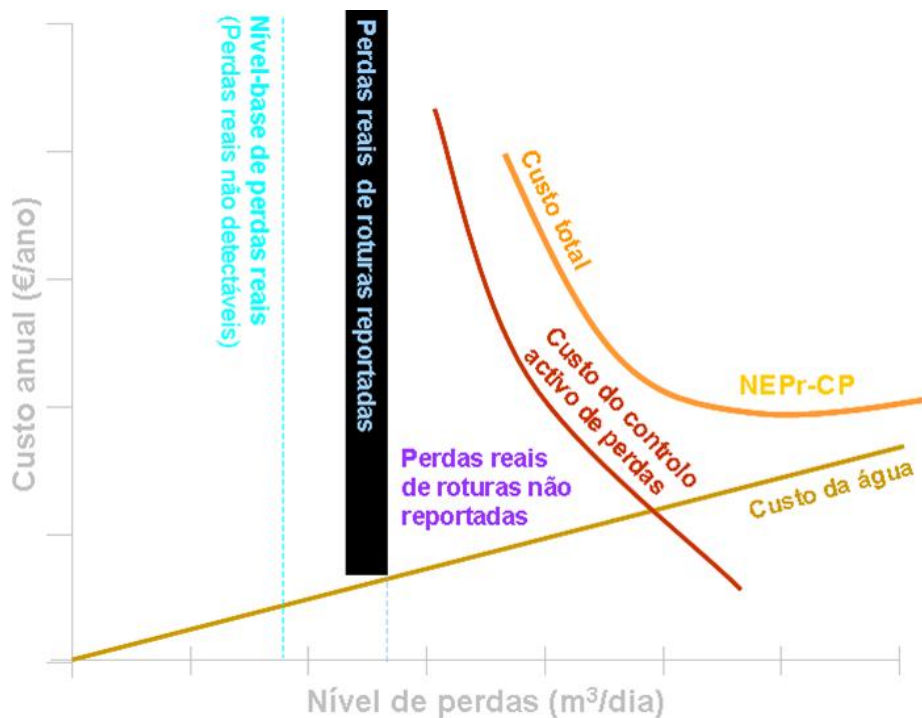


Figura 54: Gráfico esquemático da determinação do Ótimo de Pareto para o NEPr

A redução de perdas de água deve atender ao NEPr: nível de perdas reais a partir do qual não é economicamente vantajoso investir mais na sua redução (o NEPr corresponde na literatura anglo-saxónica a ELL – Economic Level of Leakage). ^{[14] [K]}

O NEPr a curto prazo não é mais do que uma análise dos custos marginais de detecção e localização de perdas reais versus os benefícios marginais (de curto prazo) da água que deixa de se perder em fugas e extravasamentos. ^{[14] [K]}

Esta Avaliação Custo benefício (ACB) terá que atender aos seguintes aspectos:

- Custo de mão-de-obra;
- Custo da água;
- Pressão de serviço;
- Idade e estado de conservação das tubagens;
- Tipologia das roturas;
- Método(s) utilizado(s) para controlo de fugas — quanto mais dispendioso, mais alto será o NEPr.

O valor do NEPr varia de rede para rede, ao longo do tempo, pode ser afectado por sazonalidade na frequência de roturas e quando calculado com base no controlo activo de perdas, é afectado por alterações de operação da rede (ex.: na pressão de serviço). Não deve ser esquecido que o NEPr depende do valor da água, que se altera ao longo do tempo e de novas técnicas de detecção e reparação de fugas. ^[14] [k]

A estimativa do NEPr requer dados de base só disponíveis depois de haver um considerável trabalho de base realizado, devendo ser calculado por iterações sucessivas e pode requerer alguns anos até que se disponha de valores fiáveis. ^[14] [k]

No entanto, o ponto a partir do qual o esforço é maior do que o benefício, pode não ser coincidente com a contabilização dos custos associados a outras externalidades, como o custo ambiental ou o custo de recurso associados ao desperdício de água. ^[14] [k]

14. Resultados – EPANET – gráficos – tabelas – mapas – imagens – análises – resultado de simulações – ZMC – ZGP – Fotos

14.1. Distribuição dos consumos (caudais) pelos Nós

Foi efectuado um arranjo dos dados do SAP com os do departamento de exploração da INDAQUA Santo Tirso/Trofa de forma a se conseguir uniformizar a informação. Desta forma conseguiu-se atribuir a todas as ruas o real e respectivo consumo (foi utilizado a função “PROCV” do Excel para confrontar ambos os dados). Em simultâneo foram recolhidos dados das cotas topográficas de pontos estratégicos, como por exemplo reservatório, das 2 VRPs, das extremidades do sistema, e zonas de máxima e mínima pressão para posteriormente introduzir esta informação no EPANET no sentido de complementar e actualizar a informação do modelo. Relevante referir o pormenor das cotas recolhidas, serem sempre acrescidas de cerca de 2m, pois a conduta está enterrada a cerca de 1m (mais 1m da distancia do GPS ao chão).

Foi criada então uma folha de cálculo Excel automatizada e interactiva (possível de ser aplicadas a outras realidades) onde se apresenta o código EPANET, respectivas identificações de condutas, faz-se a correspondência dos consumos (ramais de ligação à conduta) com as respectivas ruas (condutas), apresentam-se os Coeficientes de Ponderação de Consumo (cpc), consumo nos Nós, entre outros. (Excel em Anexo 7)

Foram obtidos os consumos por rua do último semestre (6 meses – Maio a Outubro 2010), optou-se por recorrer aos consumos não de um mês mas sim de um período mais alargado no tempo, para evitar erros inerentes às anomalias que cada mês poderá ter associado à sua sazonalidade (não se utilizaram dados de 1ano completo, que seria a situação mais favorável para minimizar erros, pois estes eram inexistentes para o sistema R12).

Estes dados foram fornecidos em m^3/h , mas alterados para L/s para poderem ser trabalhados por um código do programa MatLab (código preparado para ler L/s) e pelo EPANET, pois foram estas as unidades escolhidas de funcionamento dos programas. Com o total dos caudais por rua em m^3/h , cedidos pelo SAP, aplicando a seguinte expressão matemática (Esta expressão foi sempre usado quando se pretendia passar de m^3/h a L/s).

$$Q_{\text{médio}}_{\text{Rua}} = \frac{\text{Consumo Semestral}_{\text{Rua}} (m^3) \times 1000}{N^{\circ} \text{ de dias} \times 24h \times 3600s} (l/s) \quad (3)$$

conseguiu-se obter o caudal em L/s em cada rua. Mas como cada rua possui várias condutas, e é necessário conhecer o caudal por cada conduta para o conseguir distribuir para cada nó, foi necessário usar uma macro no Excel, a qual passa-se a transcrever o seu código:

```
Private Sub CommandButton3_Click()
i = 3
Do While Cells(i, 1) > 0
u = 2
Do While Worksheets("4").Cells(u, 1) > 0
If Worksheets("4").Cells(u, 1) = Cells(i, 1) Then
Cells(i, 4) = Worksheets("4").Cells(u, 3) * Cells(i, 3) / Worksheets("4").Cells(u, 6)
End If
u = u + 1
Loop
i = i + 1
Loop
End Sub
```

que executa a seguinte expressão matemática:

$$Q_{\text{Conduta}} = Q_{\text{médio}}_{\text{Rua}} \times \frac{L_{\text{Conduta}}}{L_{\text{Rua}}} \quad (4)$$

(o L_{Rua} foi obtido por intermédio de uma tabela dinâmica que, após acertados os nomes das ruas do SAP com os do Departamento de Exploração, soma de forma automática todos os Comprimentos (L_{Conduta}) das condutas presentes numa determinada rua).

A forma para fazer corresponder as várias condutas à respectiva rua foi conseguida pelo seguinte código:

```
Private Sub CommandButton1_Click()
a = 1000
Do While Cells(a, 1) = 0
a = a - 1
Loop
i = 3
Do While i < a + 1
b = 1000
Do While Worksheets("2").Cells(b, 1) = 0
b = b - 1
Loop
u = 3
Do While u < b + 1
If Cells(i, 2) = Worksheets("2").Cells(u, 1) Then
Cells(i, 3) = Worksheets("2").Cells(u, 2)
End If
u = u + 1
Loop
i = i + 1
Loop
End Sub
```

Chegados a este ponto, determinou-se o Caudal por cada nó. Inicialmente dividiu-se o caudal em 50%, atribuindo assim metade do caudal de cada conduta para cada um dos seus nós extremos (a literatura refere que deve ser considerado 60% a 1ª metade e 40% a 2ª metade da conduta, contudo, como o sentido do escoamento poderá variar nas simulações do EPANET, atribui-se o mesmo peso a cada uma das metades da conduta, fazendo corresponder 50% para cada lado). Posteriormente através de um pequeno código em Visual Basic acoplado novamente a um outro botão do Excel (macro), conseguiu-se fazer atribuir a cada Nó os vários 50% de caudal provenientes das várias condutas que a si eventualmente estejam ligadas.

(Código Basic no Botão 2-página 2; e Botão 3-página 5)

```
Private Sub CommandButton2_Click()
i = 1
Do While Cells(i, 1) > 0
u = 3
Do While Worksheets("2").Cells(u, 1) > 0
If Worksheets("2").Cells(u, 1) = Worksheets("5").Cells(i, 2) Then
Cells(u, 7) = Worksheets("5").Cells(i, 4) / 2
End If
u = u + 1
Loop
i = i + 1
Loop
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton4_Click()
i = 3
Do While Cells(i, 7) > 0
u = 3
Do While Worksheets("2").Cells(u, 3) > 0
If Cells(i, 7) = Worksheets("2").Cells(u, 3) Or Cells(i, 7) =
Worksheets("2").Cells(u, 4) Then
Cells(i, 8) = Cells(i, 8) + Worksheets("2").Cells(u, 7)
End If
u = u + 1
Loop
i = i + 1
Loop
End Sub
```

Este cálculo (determinação dos consumos por Nó) foi depois efectuado e confrontado com os resultados obtidos num programa em MATLAB. Para obter esta confirmação houve a necessidade de se obter e depois inserir no programa os valores de Coeficiente de Ponderação de Consumo – ‘cpc’. Este parâmetro, ‘cpc’, permite atribuir e distribuir de forma automática, diferentes caudais de distribuição (atribuídos à saída do reservatório) pelos nós, sendo possível assim obter os consumos nos nós.

Calculou-se então o 'cpc' de cada rua baseado na facturação existente (representativo do padrão de consumo da população em questão). Eis o raciocínio expresso pelas expressões matemáticas que permitiram chegar ao valor do 'cpc' por análise da facturação inerente ao consumo em cada um dos ramais ligados a cada conduta presentes nas ruas.

$$Q_{Rua} = q_{Rua} \times L_{Rua} \quad (5)$$

$$q_{Rua} = \frac{Q_{Rua}}{L_{Rua}} \quad (6)$$

$$Q_{medio_{total}} = \sum_{Rua=1}^{NT} Q_{medio_{Rua}} \quad (7)$$

$$cpc_{Rua} = \frac{q_{Rua}}{q_{rede}} = \frac{\frac{Q_{medio_{Rua}}}{L_{Rua}}}{\frac{Q_{medio_{Total}}}{\sum_{Conduto=1}^{NT} L_{Rua}}} \quad (8)$$

A expressão matemática (4) permitiu obter o caudal por conduta, o que possibilitou o cálculo 'cpc' também por conduta (aplicando a expressão matemática (8)). Confirmou-se que os resultados obtidos por rua são iguais aos obtidos em cada uma das condutas, e dessa forma pode-se validar os valores anteriormente obtidos de 'cpc' por rua. Desta feita recorreu-se ao seguinte código para distribuir os valores de 'cpc' de cada conduta pela ordem que o EPANET apresenta as suas condutas no seu código gerado (este passo realiza-se exclusivamente para não alterar a ordem em que é gerada a informação do código EPANET, com o objectivo de não gerar erros de programação – procedimento também adoptado mais à frente neste trabalho para atribuir o número de ramais ligados a cada conduta).

```
Private Sub CommandButton1_Click()
i = 2
Do While Cells(i, 1) > 0
u = 3
Do While Worksheets("5").Cells(u, 1) > 0
If Worksheets("5").Cells(u, 2) = Cells(i, 1) Then
Cells(i, 6) = Worksheets("5").Cells(u, 5)
End If
u = u + 1
Loop
i = i + 1
Loop
End Sub
```

Para melhor elucidar a localização das instruções presentes nos códigos anteriormente apresentados, que possibilitam a execução automática dos cálculos, apresentam-se as seguintes imagens.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ruas do Sistema R12 (SAP)	Consumos total por Rua (m³/meses de Maio a Outubro)	Consumo Médio por Rua (L/s)	Qual/Qtotat	Caudal ponderado por rua	Comprimento de cada Rua	cpc (coeficiente de ponderação de consumo) por Rua				Confirmação de Rua
1										
2	av estação	1207	0.07592	0.01209	0.10078	826	0.55			
3	av luis de camões	247	0.01954	0.00247	0.02062	331	0.28			
4	av sacadura cabral	4915	0.30917	0.04325	0.41040	230	8.03			
5	lg carreira	29	0.00182	0.00029	0.00242	32	0.34			
6	lg cruzeiro	55	0.00346	0.00055	0.00459	36	0.57			
7	lg espírito santo	33	0.00208	0.00033	0.00276	82	0.15			
8	lg padre joaquim sousa ferreira e silva	68	0.00428	0.00068	0.00568	146	0.18			
9	lg são bartolomeu	16	0.00101	0.00016	0.00134	141	0.04			
10	pc 25 de abril	222	0.01396	0.00222	0.01854	89	0.94			
11	pc infante sagres	2284	0.14367	0.02289	0.19071	106	8.07			
12	pc rancho folclórico	77	0.00494	0.00077	0.00643	40	0.73			
13	pot camilo castelo branco	122	0.00767	0.00122	0.01019	22	2.12			
14	pot s antonio	448	0.02818	0.00449	0.03741	110	1.54			
15	r 1ª de maio	0	0.00000	0.00000	0.00000	105	0.00			
16	r 25 de abril	446	0.02805	0.00447	0.03724	191	0.88			
17	r agostinho moreira assunção	4	0.00025	0.00004	0.00033	63	0.02			
18	r agua levada	180	0.01132	0.00180	0.01503	115	0.59			
19	r aldeia nova	1815	0.11417	0.01919	0.15155	568	1.20			
20	r alves redol	235	0.01856	0.00236	0.02463	421	0.26			
21	r ameal	2	0.00013	0.00002	0.00017	73	0.01			
22	r antônio aleixo	0	0.00000	0.00000	0.00000	183	0.00			
23	r antônio marques gomes	321	0.02019	0.00322	0.02680	237	0.51			
24	r antônio sérgio	1649	0.10373	0.01852	0.13769	437	1.42			
25	r barreira	285	0.01793	0.00286	0.02380	63	1.69			
26	r bartolomeu dias	465	0.02925	0.00466	0.03883	72	2.44			
27	r bela vista	780	0.04906	0.00782	0.06513	382	0.77			
28	r brêto	86	0.00541	0.00086	0.00718	246	0.13			
29	r cal	180	0.01132	0.00180	0.01503	44	1.54			
30	r camilo castelo branco	144	0.00906	0.00144	0.01202	68	0.79			
31	r cancela areias	821	0.05164	0.00823	0.06895	366	0.84			
32	r cancela vermelha	3911	0.24601	0.03919	0.32657	875	1.68			
33	r carvoeiras	1987	0.12499	0.01991	0.16592	393	1.90			
34	r catarina eufemia	528	0.03321	0.00529	0.04409	326	0.61			
35	r cegonha	8	0.00050	0.00008	0.00067	294	0.01			
36	r comendador José ferreira tedim	109	0.00696	0.00109	0.00910	406	0.10			
37	r conejo joaquim luis assunção	65	0.00409	0.00065	0.00543	213	0.11			
38	r corgas	346	0.02176	0.00347	0.02889	147	0.89			
39	r cortiços	183	0.01151	0.00183	0.01528	463	0.15			

Figura 55: Folha 4 do Excel - SAP_Consumos Reais vs Ruas vs cpc por Rua.

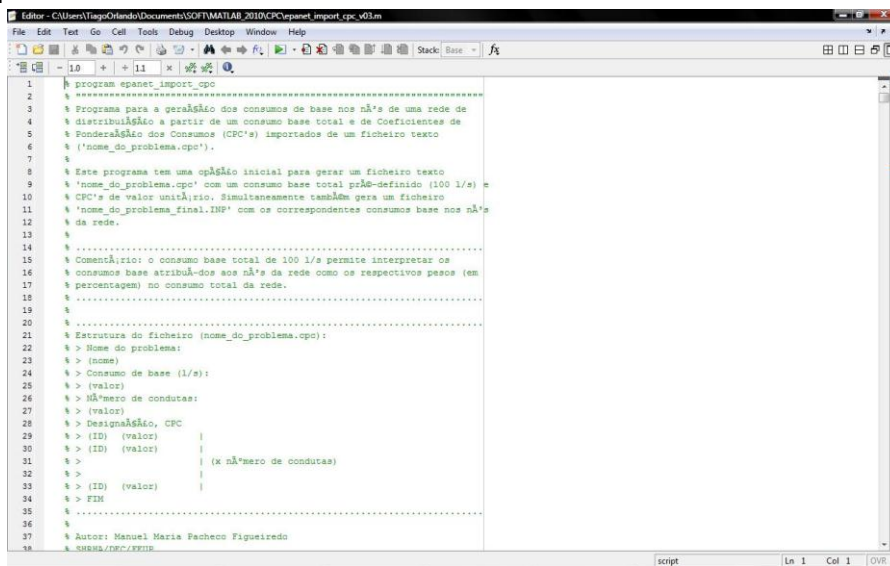
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Ruas vs Condutas		Código	L Conduta	Caudal Conduta (L/s)	cpc por Conduta	Nós	Consumo por Nó (L/s)	Gerar L por Conduta	Confirmação de Ruas do SAP	Rótulos de Linha	Soma de L Cond
2	Arrastamento	T273A	667.83	0.0614	0.55	1	0.0060	Caudal por Conduta	av estação	av estação	825.69
3		T273B	157.86	0.0145	0.55	2	0.0183	Consumo por cada Nó	av estação	av luis de camões	330.73
4		T191	40.24	0.0019	0.28	4	0.0093		av sacadura cabral	av sacadura cabral	229.93
5		T191B	21.26	0.0010	0.28	5	0.0106		av luis de camões	lg carreira	31.97
6		T188	94.25	0.0044	0.28	6	0.0061		av luis de camões	lg cruzeiro	36.28
7		T257	35.95	0.0017	0.28	21	0.0130		av luis de camões	lg espírito santo	82.3537
8		T258	139.03	0.0065	0.28	22	0.0040		av luis de camões	lg padre joaquim sousa ferreira e silva	145.59
9		T273	229.93	0.0392	8.02	23	0.0080		av sacadura cabral	lg são bartolomeu	140.82
10		T322	31.97	0.0018	0.34	24	0.0047		lg carreira	pc 25 de abril	89.17
11		T188A	36.28	0.0035	0.57	25	0.0387		lg cruzeiro	pc infante sagres	106.33
12		T85A	82.3537	0.0021	0.15	N80B	0.0049		lg espírito santo	pc rancho folclórico	39.85
13		T151A	60.63	0.0018	0.18	N80	0.0072		lg padre joaquim sousa ferreira e silva	pot camilo castelo branco	216.4
14		T151	84.96	0.0025	0.18	N154	0.0074		lg padre joaquim sousa ferreira e silva	pot s antonio	109.58
15		T210	110.01	0.0008	0.04	N152	0.0085		lg são bartolomeu	r 1ª de maio	104.78
16		T218	30.81	0.0002	0.04	30	0.0226		lg são bartolomeu	r 25 de abril	190.83
17		T55A	89.17	0.0140	0.93	N151	0.0060		pc 25 de abril	r agostinho moreira assunção	69.49
18		T269B	106.33	0.1437	8.06	32	0.0109		pc infante sagres	r agua levada	115.49
19		T284C	39.65	0.0049	0.73	33	0.0025		pc rancho folclórico	r aldeia nova	567.59
20		T233A	21.64	0.0077	2.12	34	0.0019		pot camilo castelo branco	r alves redol	421.47
21		T1581	30.67	0.0079	1.53	N186B	0.0006		pot s antonio	r ameal	73.32
22		T1582	51.89	0.0133	1.53	N186A	0.0027		pot s antonio	r antônio aleixo	183.08
23		T1584	27.02	0.0069	1.53	N186C	0.0164		pot s antonio	r antônio marques gomes	237.44
24		T286	104.78	0.0000	0.00	N186D	0.0095		r 1ª de maio	r antônio sérgio	436.81
25		T284A	190.89	0.0281	0.88	N264	0.1050		r 25 de abril	r barreira	63.24
26		T3A	69.49	0.0003	0.02	43	0.0244		r agostinho moreira assunção	r bartolomeu dias	71.69
27		T9	115.49	0.0113	0.59	44	0.0051		r agua levada	r bela vista	382.13
28		T3	150.47	0.0303	1.20	N262C	0.0189		r aldeia nova	r brêto	246.26
29		T309	143.13	0.0288	1.20	N262F	0.0057		r aldeia nova	r cal	43.9
30		T311	102.21	0.0206	1.20	N272	0.0235		r aldeia nova	r camilo castelo branco	68.34
31		T312	115.52	0.0232	1.20	N274	0.0009		r aldeia nova	r cancela areias	365.94
32		T313A	56.26	0.0113	1.20	N277	0.0089		r aldeia nova	r cancela vermelha	874.8527
33		T69	134.02	0.0059	0.26	N198	0.0153		r alves redol	r carvoeiras	392.58
34		T170	154.3	0.0068	0.26	N188	0.0073		r alves redol	r catarina eufemia	325.5
35		T192	44.87	0.0020	0.26	N196	0.0200		r alves redol	r cegonha	283.64
36		T186A	86.28	0.0039	0.26	N194	0.0336		r alves redol	r comendador José ferreira tedim	406.08
37		T141A	73.32	0.0001	0.01	N192	0.0581		r ameal	r conejo joaquim luis assunção	212.72
38		T123	183.08	0.0000	0.00	N195	0.0084		r antônio aleixo	r corgas	146.72
39		T216	237.44	0.0202	0.51	N193	0.0225		r antônio marques gomes	r cortiços	462.75
40		T230A	175.72	0.0417	1.42	N199	0.0044		r antônio sérgio	r coata	363.38

Figura 56: Folha 5 do Excel - Ruas vs Condutas vs Comprimento vs cpc por Conduta vs Consumo nos Nós.

Como havia sido referido, possuindo o ‘cpc’ por conduta foi possível, através de um programa estruturado em MATLAB conjuntamente com o EPANET, atribuir um peso, ‘cpc’, a cada uma das condutas do sistema de distribuição de água podendo assim distribuir ponderadamente o caudal real consumido pela população pelos diversos nós (representativos dos diferentes consumos existentes nos ramais de ligação a cada conduta). Este ‘cpc’ de certo modo é a maior ou menor capacidade que cada conduta tem de “chamar a si” diferentes quantidades de caudal. Esse peso depende do número de ramais ligados a cada conduta, da rugosidade da conduta, do seu diâmetro e seu comprimento e da quantidade de caudal que é escoada através de si. Desta forma obteve-se o consumo real por cada Nó.

Usou-se o programa MATLAB, onde atribuindo um peso do consumo de cada conduta (cpc) permite obter-se o consumo nos Nós. Passa-se a explicar o procedimento por meio de imagens.

Usou-se um código programado em MATLAB que se apresenta na figura seguinte.



```

1  % program epanet_import_cpc
2  % =====
3  % Programa para a geração dos consumos de base nos nós de uma rede de
4  % distribuição a partir de um consumo base total e de Coeficientes de
5  % Ponderação dos Consumos (CPC's) importados de um ficheiro texto
6  % ('nome_do_problema.cpc').
7  %
8  % Este programa tem uma opção inicial para gerar um ficheiro texto
9  % 'nome_do_problema.cpc' com um consumo base total pré-definido (100 l/s) e
10 % CPC's de valor unitário. Simultaneamente também gera um ficheiro
11 % 'nome_do_problema_final.INP' com os correspondentes consumos base nos nós
12 % da rede.
13 %
14 % .....
15 % Comentário: o consumo base total de 100 l/s permite interpretar os
16 % consumos base atribuídos aos nós da rede como os respectivos pesos (em
17 % percentagem) no consumo total da rede.
18 % .....
19 %
20 % Estrutura do ficheiro (nome_do_problema.cpc):
21 %
22 % > Nome do problema:
23 % > (nome)
24 % > Consumo de base (l/s):
25 % > (valor)
26 % > Número de condutas:
27 % > (valor)
28 % > Designação, CPC
29 % > (ID) (valor) |
30 % > (ID) (valor) |
31 % > | (x número de condutas)
32 % >
33 % > (ID) (valor) |
34 % > FIM
35 %
36 %
37 % Autor: Manuel Maria Pacheco Figueiredo
38 % SHRMA/CPC/FEUP
  
```

Figura 57: Algoritmo a correr em MATLAB que permite calcular Consumo nos Nós a utilizar no EPANET.

Este código é corrido em MATLAB e permite gerar uma série de ficheiros com extensões diversas que podem ser lidas e assumidas no EPANET, tal como mostra a figura seguinte.

Nome	Data modificação	Tipo	Tamanho
 97_110-EPANET	15-01-2010 21:05	Imagem de mapa ...	39.064 KB
 R12_100924.cpc	22-11-2010 15:25	Ficheiro CPC	13 KB
 R12_100924.inp	19-11-2010 11:27	Ficheiro INP	123 KB
 R12_100924	19-11-2010 11:27	Ficheiro NET	95 KB
 R12_100924.rep	19-11-2010 11:39	Ficheiro REP	1 KB
 R12_100924_final.inp	19-11-2010 11:39	Ficheiro INP	147 KB
 R12_100924_final.rep	22-11-2010 15:27	Ficheiro REP	1 KB
 R12_100924_final_inicial.inp	22-11-2010 15:27	Ficheiro INP	147 KB
 R12_100924_inicial.inp	19-11-2010 11:39	Ficheiro INP	147 KB
 R12_100924_v02	19-11-2010 12:55	Ficheiro NET	96 KB
 R12_100924_v02.scn	19-11-2010 12:15	Ficheiro SCN	15 KB
 R12_100924_v03	23-11-2010 17:16	Ficheiro NET	96 KB

Figura 58: Exemplo de ficheiros criados, após execução do programa MATLAB, passíveis de serem lidos pelo EPANET com informação calibrada referente ao consumo nos Nós.

Para gerar estes ficheiros deve ser corrido o programa e efectuar o ‘cálculo 1’ (gera resultado padronizado para caudal de 100 l/s). É então que se actualiza o ficheiro criado com extensão ‘cpc’ com os valores calculados anteriormente na tabela Excel, e corrigido o caudal de abastecimento para o caudal pretendido (escolheu-se 20L/s). Faz-se correr novamente o programa MATLAB, escolhendo a opção 2 de cálculo, desta forma obtêm-se um ficheiro em EPANET com informação referente ao consumo nos Nós ponderados pelo Coeficiente de Consumo. Pode-se assim abrir o Sistema R12 no EPANET um pouco mais calibrado e representativo da realidade, permitindo dessa forma obter simulações mais rigorosas e correctas.

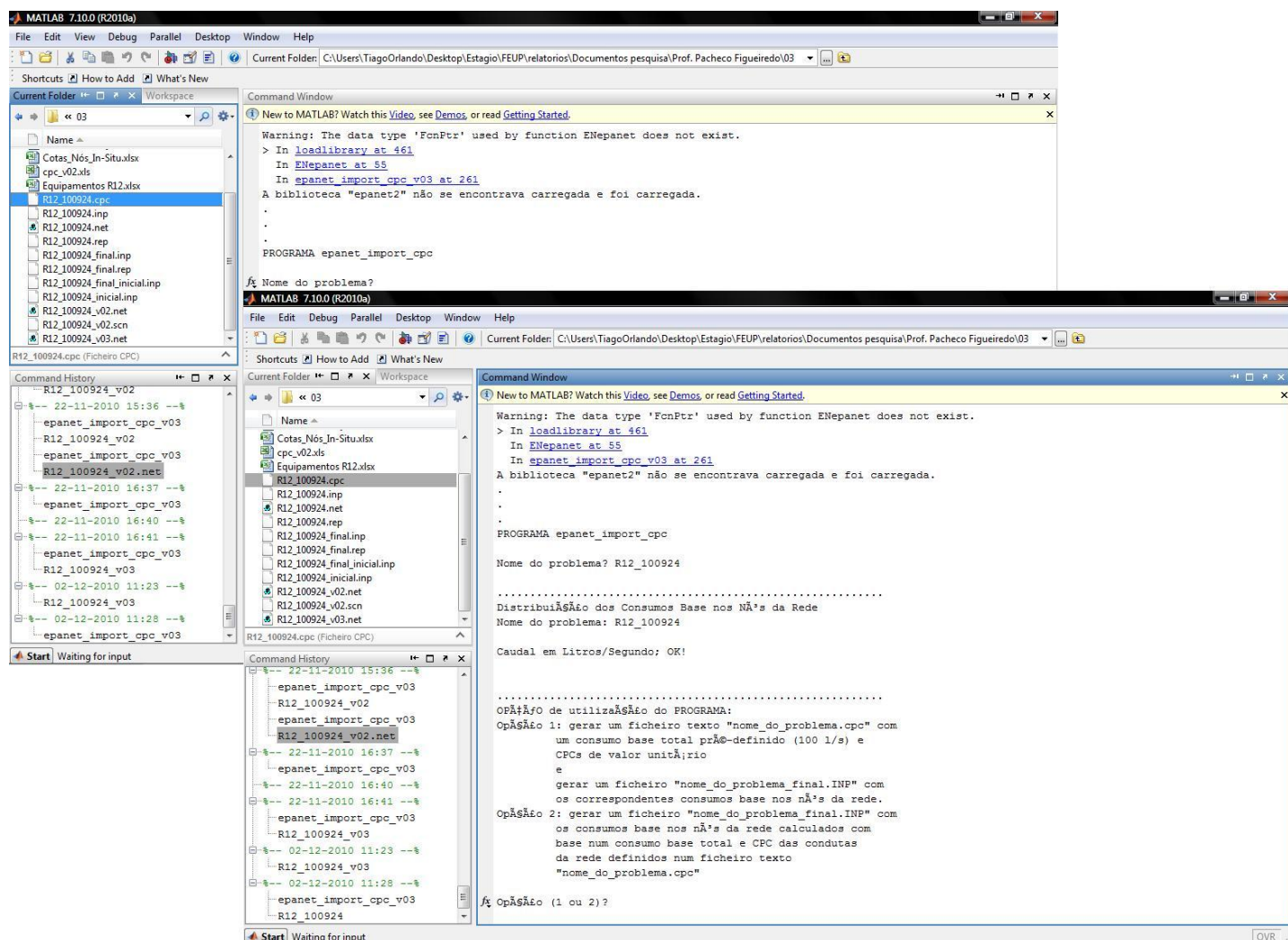


Figura 59: Imagem representativa do Layout apresentado ao utilizador na execução do programa (1ª etapa – buscar o programa; 2ª etapa – escolher o tipo de calculo a efectuar, ‘resolução 1 ou 2’).

Obteve-se então um novo código do EPANET já calibrado com dados de consumo real por cada Nó e ponderado em cada conduta pelo seu coeficiente de consumo. No EPANET foram efectuadas as escolhas de fórmulas de cálculo (D-W → Darcy Weisbach), unidades (LPS → Litros por Segundo), valores de rugosidades (0,3 → retirados da literatura para o PEAD) e acrescentados alguns nós estratégicos à

rede (para fazer transparecer de forma mais realista o que acontece entre dois nós principais de uma longa conduta, compreendendo o que se passa nas pequenas elevações ou depressões do terreno existentes entre esses 2 Nós extremos da conduta), corrigiram-se todas as cotas dos nós recorrendo à leitura GPS percorrendo todo o terreno. No comando de controlo, condições múltiplas, foram também calibradas as 2 VRP's com factores médios da pressão máxima e mínimos obtidos do final do mês de Novembro e início do mês de Dezembro (Anexo 9). Sentiu-se necessidade de calibrar as VRP's, pois estas na realidade não regulam de forma constante a pressão ao longo de 24h. Estas variam a sua regulação com o aumento ou diminuição de pressão inerente às horas de maior e menor consumo. Como o seu comportamento não corresponde ao que se esperava (regulação constante e igual ao seu 'setting'), fez-se por isso variar as características das VRP's em dois períodos do dia de forma a se adequarem o mais possível à realidade instalada.

Calibraram-se assim as VRP's de forma a estas nas horas nocturnas entre as 00h e as 8h (período de menor consumo (5h), com pressões mais elevadas presentes na rede – período nocturno) permitissem um ligeiro aumento da pressão a jusante relativamente ao seu 'setting' de funcionamento. Este facto é constatado devido à presença de pressões maiores neste período do dia que levam a alterar o correcto funcionamento da válvula.

Da mesma forma calibrou-se as VRP's de forma a provocarem um menor abaixamento da pressão entre as 8h e as 24h (período de maior consumo (21h) e consequente diminuição de pressão – período diurno).

Apresenta-se de seguida o código utilizado para a VRP da Igreja:

```
rule 10
if system clocktime >= 0:00
and system clocktime < 8:00
then valve T247E setting is 47.0
priority 10
```

```
rule 11
if system clocktime >= 8:00
and system clocktime < 24:00
then valve T247E setting is 44.0
priority 10
```

Apresenta-se de seguida o código utilizado para a VRP de Covelas:

```
rule 20
if system clocktime >= 0:00
and system clocktime < 8:00
then valve T318A6 setting is 56.0
priority 10
```

```

rule 21
if system clocktime >= 8:00
and system clocktime < 24:00
then valve T318A6 setting is 52.0
priority 10

```

14.2. Análise sobre a pressão e distribuição de caudal de perdas

Pode-se agora correr uma simulação um pouco mais calibrada e mais próxima da realidade, constatando como varia a pressão nos nós ao longo de um dia. Assim se conseguiu descortinar locais críticos com maiores variações de pressão e compreender o que se passa na rede. Consta-se que as VRP's e os seus extremos serão os locais mais indicados para recolher dados reais do sistema de forma a actualizar um pouco mais o simulador e confrontar a sua calibração. Desta forma e com estes dados poder-se-á obter um termo de comparação no sentido de confirmar o correcto funcionamento e calibração do simulador.

Foram então instalados logger's de pressão nas 2 VRP's, e em duas extremidades críticas do sistema R12, uma de altas pressões (com a presença de prédios – Rua Fernando Namora) e uma outra numa zona de baixas pressões (Rua Carvoeiras), bem como adquiridos os dados da pressão e caudal no reservatório registados pela telemetria. A imagem seguinte representa a localização desses pontos (escolhidos pela análise da pressão às 20h, hora de maior consumo e de pressões mais baixas na rede).

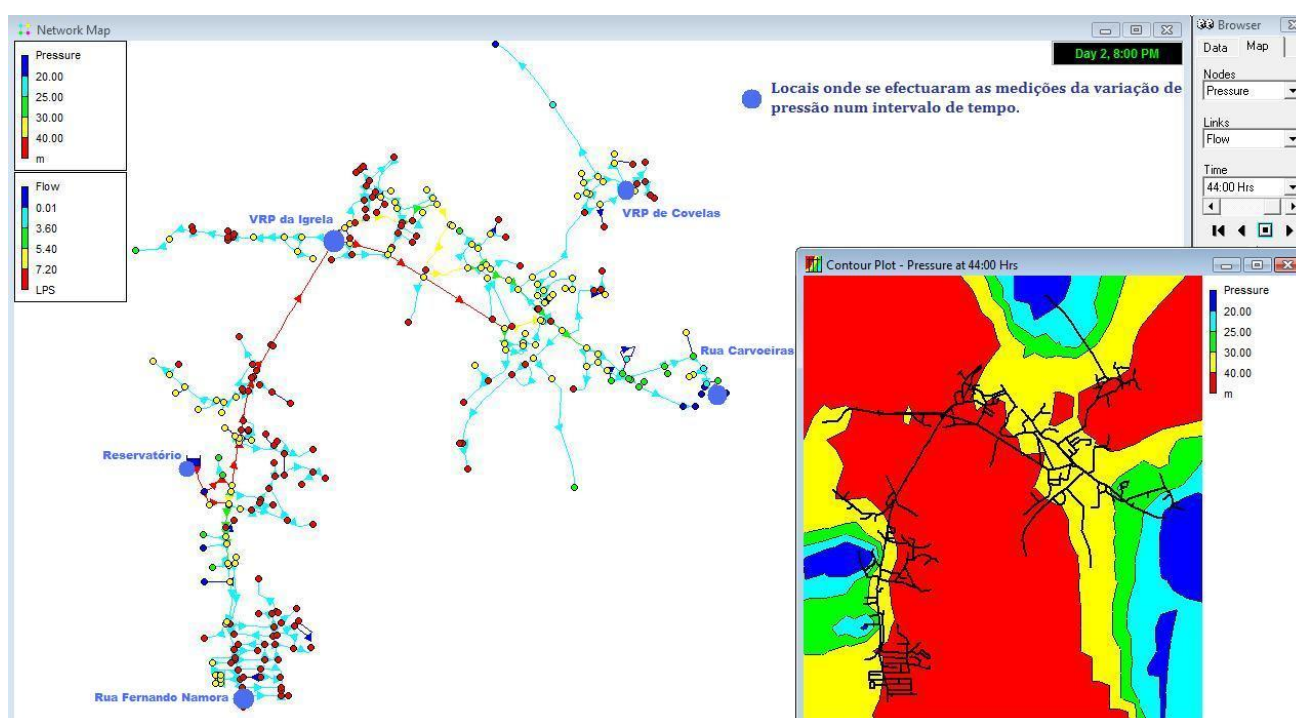


Figura 60: Locais onde se efectuaram as medições da variação de pressão num intervalo de tempo.

As recolhas pontuais do registo de pressão (nas situações onde se verificou a presença de pressões máximas e/ou mínimas mais acentuadas) nas ruas anteriormente referidas, foram cumpridas no sentido de virem a ser confrontar com os resultados gerados pelo simulador EPANET (procedimento adoptado para a aquisição de dados está representado nas 'figuras 47, 61, 62 e 63'). De referir que apesar de terem sido registados em todos os pontos a sua respectiva cotas topográficas, neste locais foi reconfirmado o valor da cota topográfica.

São apresentadas agora algumas imagens da instalação de loggers de pressão (datta-loggers) acoplados às VRPs existentes no Sistema R12.



Figura 61: Caixa de recepção da VRP em Covelas no R12. Data-loggers na VRP; VRP com Manómetro de pressão acoplado.



Figura 62: Caixa de recepção da VRP em S. Mamede do Coronado no R12. Data-loggers na VRP; VRP com filtro e sedimentador de partículas a montante para purga desses mesmos materiais.

Com referido anteriormente, foram tomados também em situações pontuais, procedimentos idênticos aos representados na 'Figura 47' e idênticos aos que se representa na seguinte figura, no sentido de recolher informação sobre a variação de pressão para posteriormente poder confrontar a pressão existente no terreno com as obtidas na simulação do EPANET.

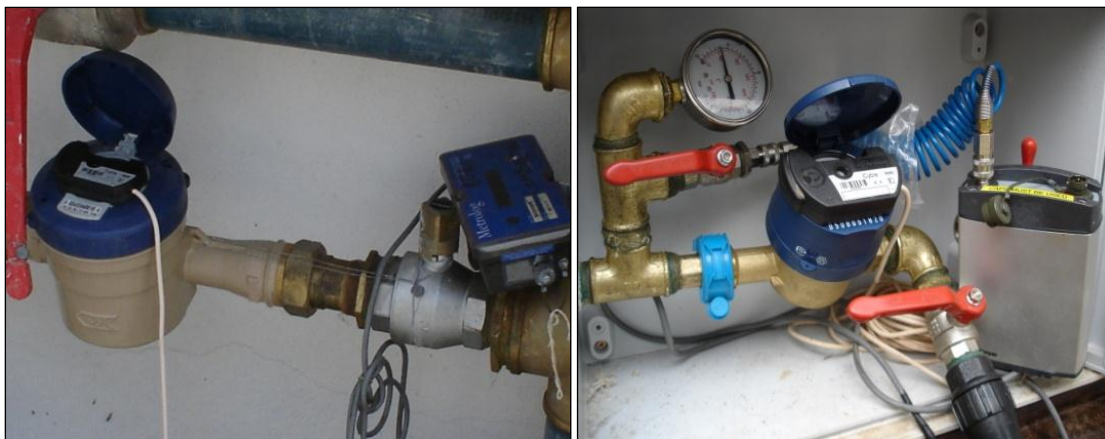


Figura 63: Registadores de volume e de pressão, associados a contador.

Apresenta-se de seguida os valores da variação de pressão recolhidos dos locais anteriormente assinalados, bem como as cotas topográficas de alguns Nós que serviram como dados de ajuste do sistema R12, representado em EPANET, à realidade instalada.

Uma vez mais salienta-se que estes dados reais da pressão, serão usados como termo de comparação com os valores obtidos no EPANET, de forma a constatar se o simulador representa a realidade após concluída a sua calibração.

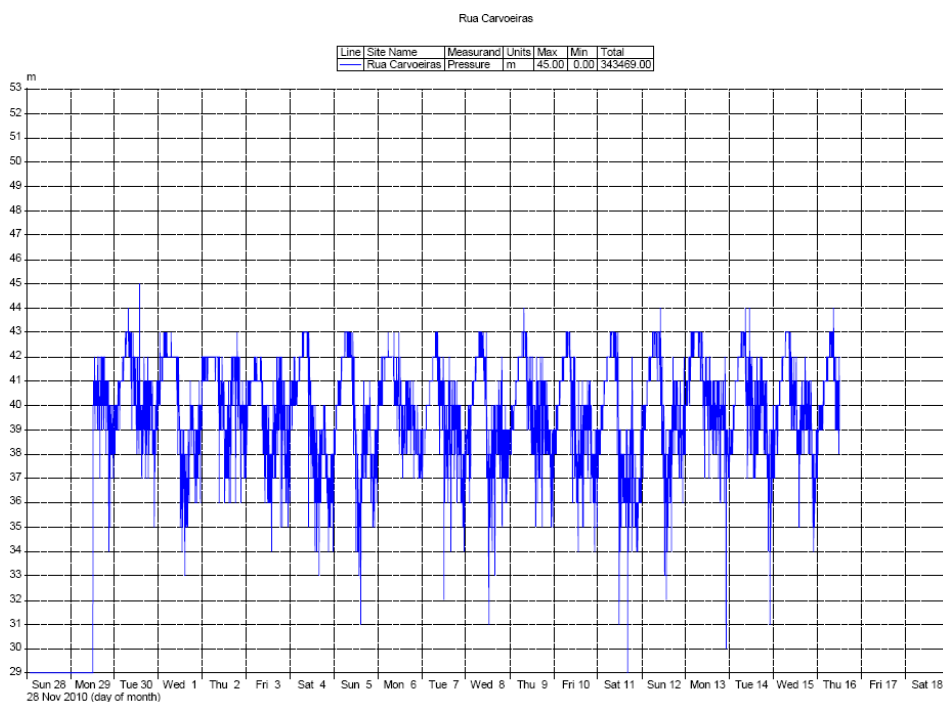


Figura 64: Registo da variação de pressão na Rua Carvoeira. In-Sito.

A figura 64 apresenta um valor médio de: 39,5m; um máximo médio de: 42m e um mínimo médio de: 37m.

Apresenta-se na seguinte figura uma média de todas as sequências de 48h registadas, apresentando-se assim um período de 48h de variação da pressão representativo do que acontece em termos médios na realidade, que posteriormente servirá de informação de calibração e comparação directa no comando “report Calibration” do EPANET.

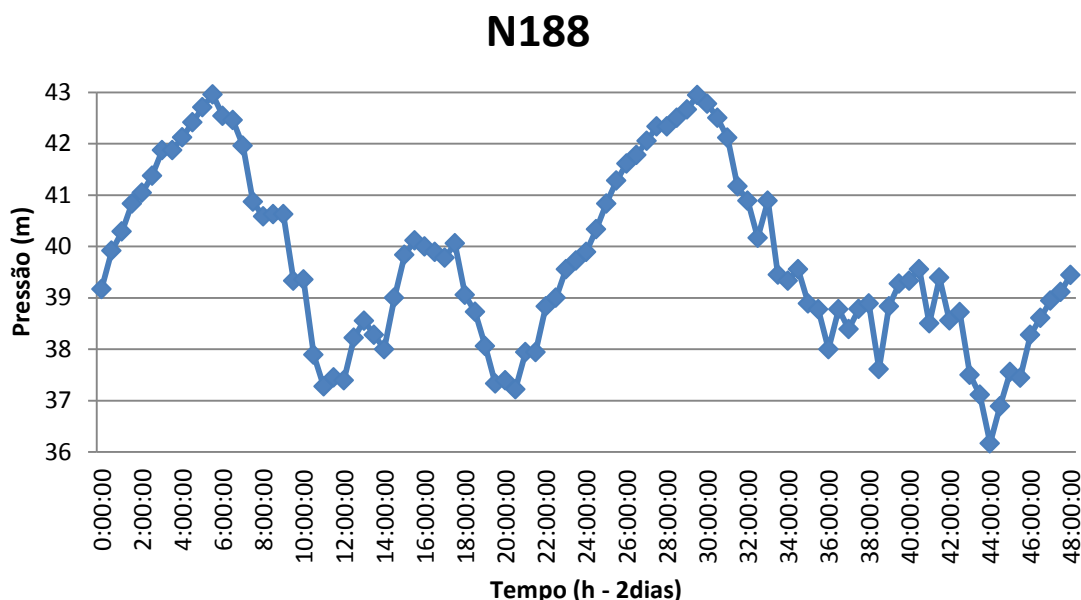


Figura 65: Registo da variação de pressão na Rua Carvoeira para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó - N188).

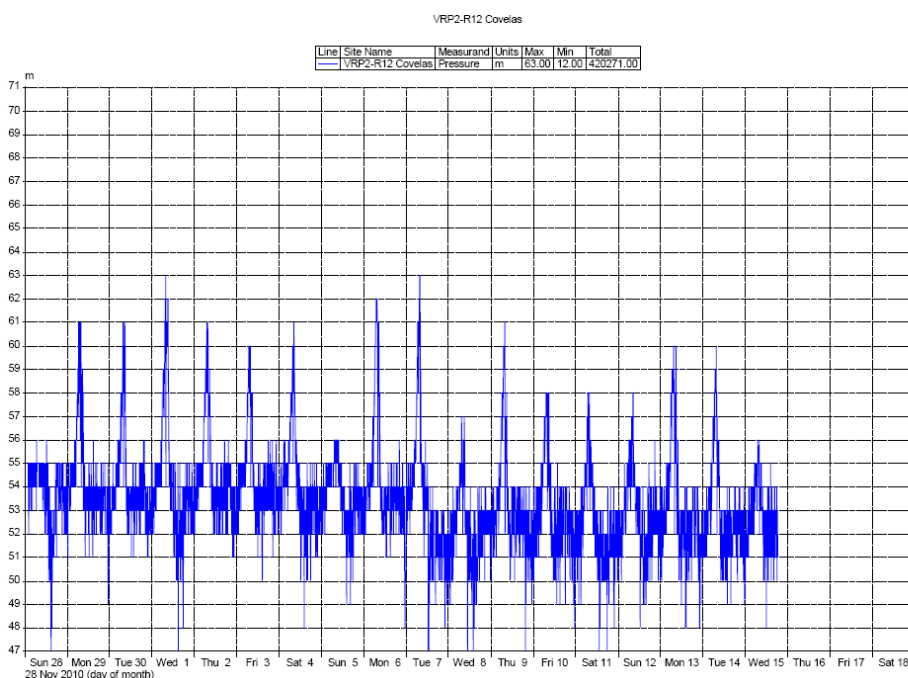


Figura 66: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP de Covelas. In-Sito.

A figura 66 apresenta um valor médio de: 53m; um máximo médio de: 56m e um mínimo médio de: 50m. (De notar que a partir do dia 7 existe um abaixamento de cerca

de 5m na pressão que são correspondentes a uma fuga que surgiu na altura da aquisição destes dados; fuga essa de cerca de $7\text{m}^3/\text{h}$ entretanto já reparada).

Apresenta-se na seguinte figura uma média de todas as sequências de 48h registadas, apresentando-se assim um período de 48h de variação da pressão representativo do que acontece em termos médios na realidade, que posteriormente servirá de informação de calibração e comparação directa no comando “report Calibration” do EPANET. (foi corrigido o período referente à fuga).

N6

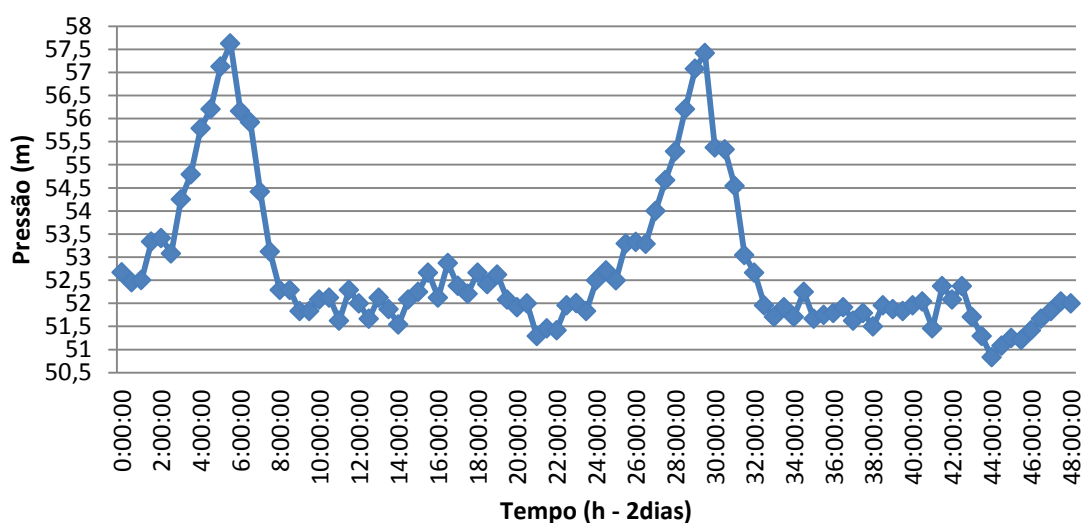


Figura 67: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP de Covelas para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó – N6).

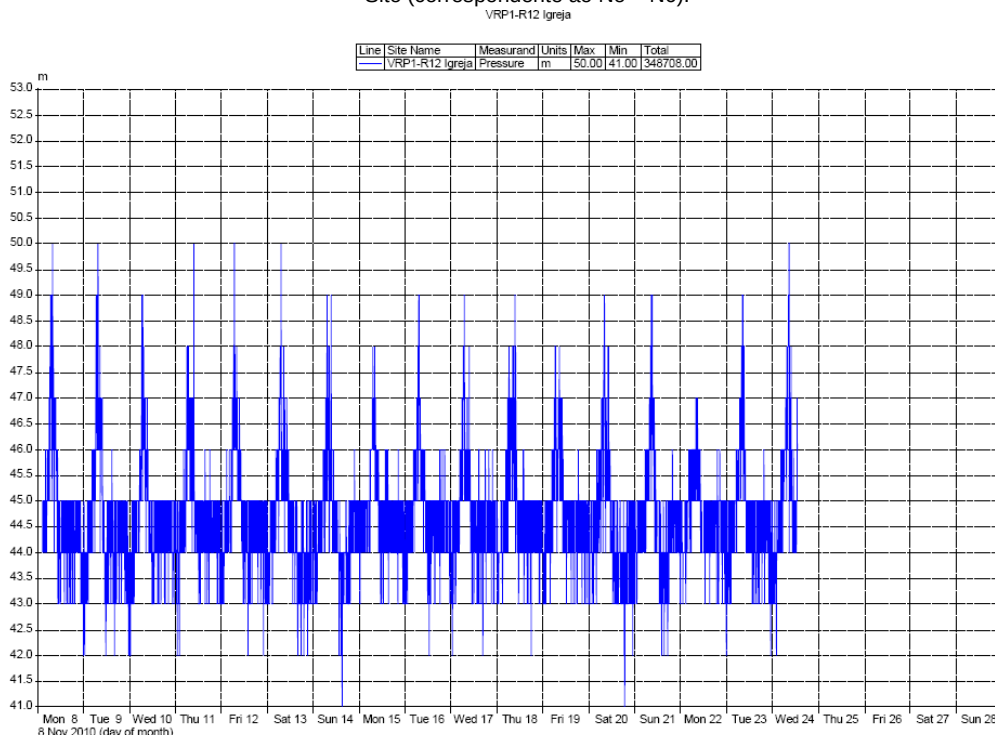


Figura 68: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado. In-Sito.

A figura 68 apresenta um valor médio de: 45,5m; um máximo médio de: 47m e um mínimo médio de: 44m.

Apresenta-se na seguinte figura uma média de todas as sequências de 48h registadas, apresentando-se assim um período de 48h de variação da pressão representativo do que acontece em termos médios na realidade, que posteriormente servirá de informação de calibração e comparação directa no comando “report Calibration” do EPANET.

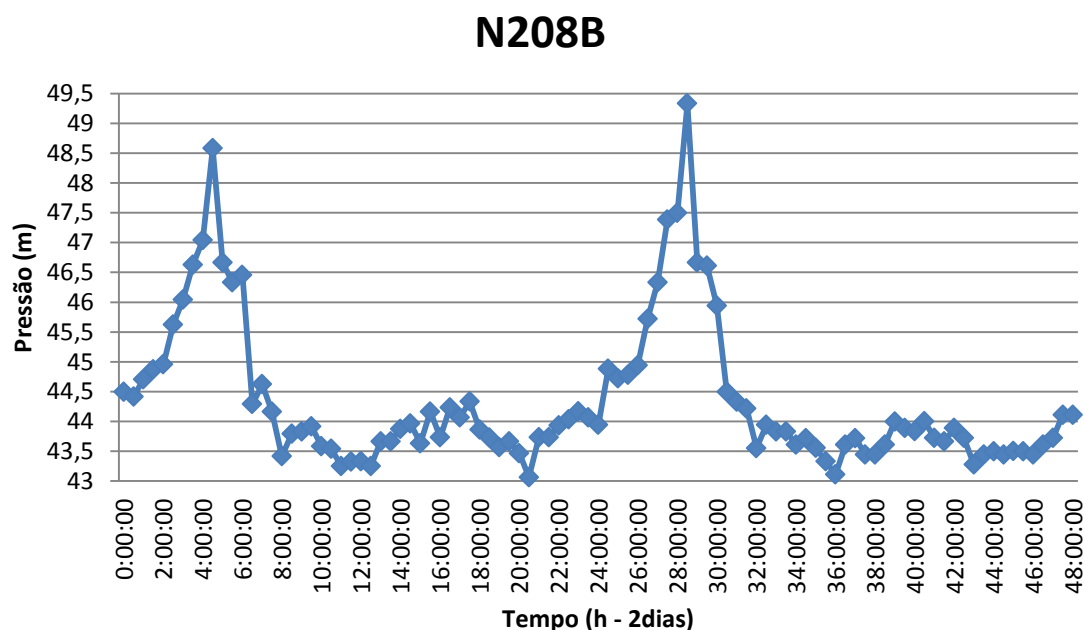


Figura 69: Registo da variação de pressão imediatamente a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó – N208B).

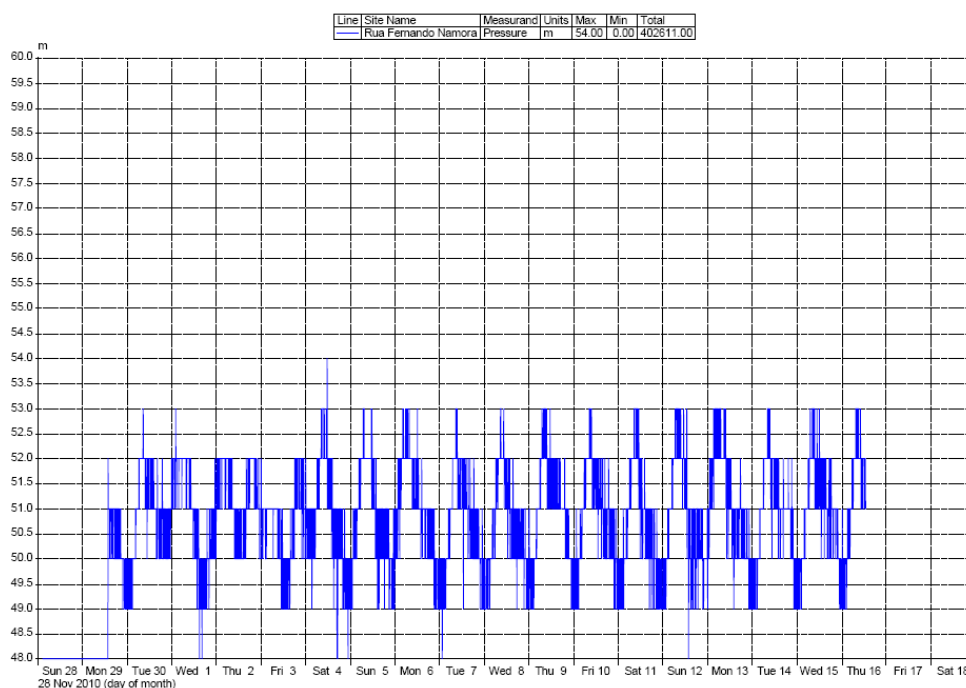


Figura 70: Registo da variação de pressão na Rua Fernando Namora. In-Sito.

A figura 70 apresenta um valor médio de: 50,5m; um máximo médio de: 52m e um mínimo médio de: 49m.

Apresenta-se na seguinte figura uma média de todas as sequências de 48h registadas, apresentando-se assim um período de 48h de variação da pressão representativo do que acontece em termos médios na realidade, que posteriormente servirá de informação de calibração e comparação directa no comando “report Calibration” do EPANET.

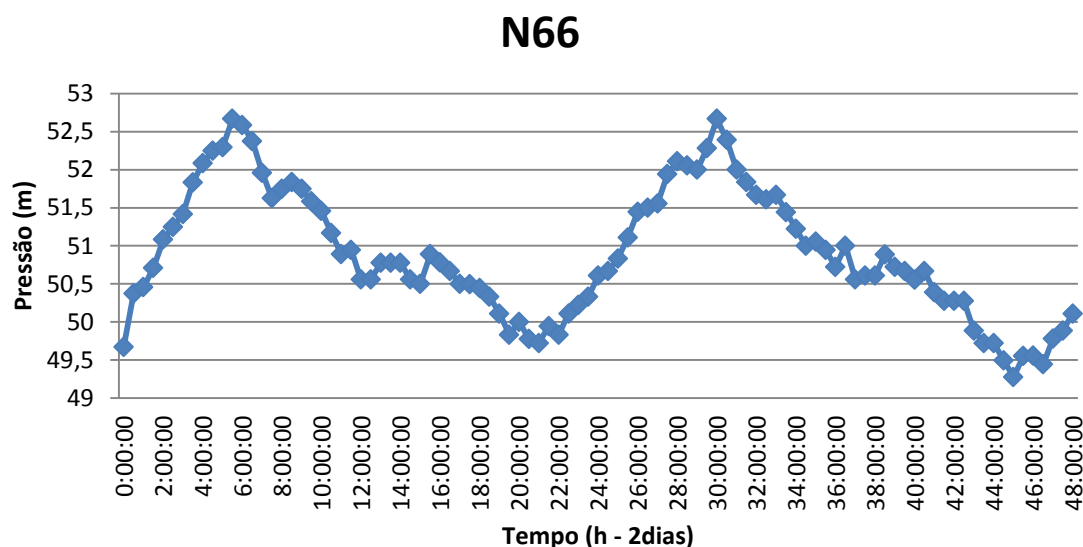


Figura 71: Registo da variação de pressão na Rua Fernando Namora, para uma média de 48h, In-Sito (correspondente ao Nó – N66).

Apresenta-se agora uma tabela com a cota de alguns dos Nós recolhidos pelo GPS in-sito que serviram para melhor ajustar o simulador à realidade. (apesar de ser apresentada esta amostra, de referir que se efectuou uma correcção da cota de todos os Nós presentes na rede do R12).

Nós	Cota (m)	Andares (habitações)	Nós EPANET
7	130	2	309
8	131	1	N67
9	122	2	307
10	123	1	N13
11	125	1	N60
12	126	1	
13	136	1	N57
14	144	1	N56
15	136	1	N53
16	138	1	N63
17	147	1	2
18	149	1	5
...	...	...	...

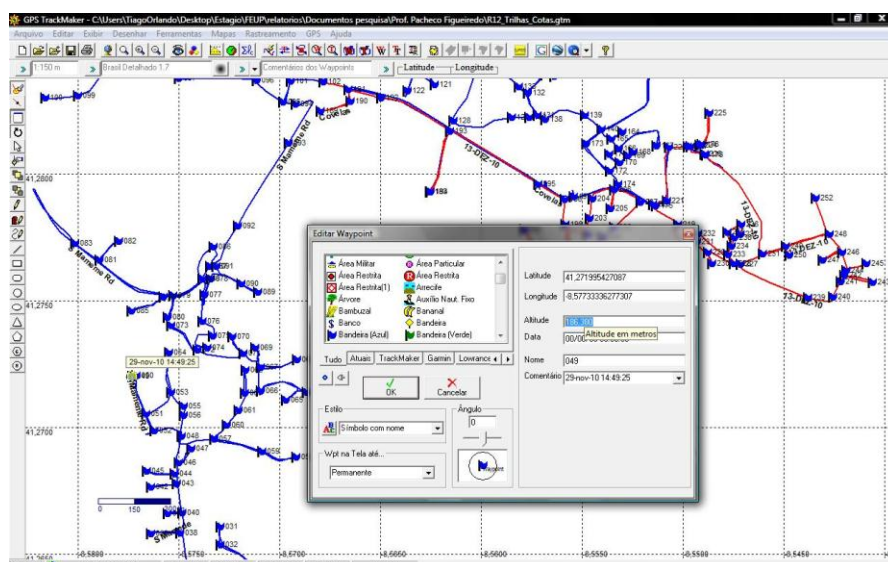


Figura 72: Registo das “trilhas” (ruas com condutas) e das cotas dos Nós recolhidos pelo GPS (Garmin-etrex,VISTA HCx), representados no programa TrackMaker.

Em simultâneo, foram também recolhidos dados do sistema de telemetria da INDAQUA referentes ao sistema de distribuição de água R12 (registo à saída do reservatório). O registo destes dados não coincide com o período temporal em que foram registadas as pressões nas VRP's e nos Nós N66 e N188. Estes novos dados (período mais alargado) remetem-se aos meses de Agosto, Setembro e Outubro 2010 e serviram para obtenção de valores médios de consumos de caudal mensal, semanal, diário e horário de forma a se efectuar uma análise destes comportamentos de consumo. É importante exibir uma análise da variação do consumo médio efectuado num fim-de-semana, pois estes têm comportamentos de consumo desiguais dos apresentados nos dias da semana.

Com esta informação pode-se obter uma média do consumo horário, podendo obter assim um padrão de consumo e calibrar o EPANET. (relevante mencionar que entretanto, em todas as análises anteriormente efectuadas, não foi utilizado o padrão de consumo desta população, mas sim um padrão de consumo representativo de uma população com comportamento expressivo da normalidade do nosso país).

Eis que se apresentam as tabelas exportadas da telemetria referentes aos meses de Agosto, Setembro e Outubro, com os respectivos dias, horas e caudais pontuais registado. Se possuísse dados de uma medição contínua no tempo (registo do somatório de volumes) poderia obter valores mais representativos, pois não mascaravam qualquer tipo de variação que possa ocorrer ao longo do tempo. Neste caso, o estudo será sobre registo de valores pontuais de caudal, com isto poder-se-á estar a eliminar variações consideráveis que possam existir entre os intervalos de registo.

Ainda assim, com estes dados consegue-se calcular valores médios e apresentar o padrão de consumo presente no R12, contudo a forma como foram registados os dados, períodos temporais aleatórios ('TIME'), não possibilita a calibração e ajuste do consumo padrão da população a inserir no simulador EPANET (dados esses recolhidos novamente em intervalos de tempo bem definidos e no mesmo período temporal do registo das pressões, apresentados mais a frente neste trabalho).

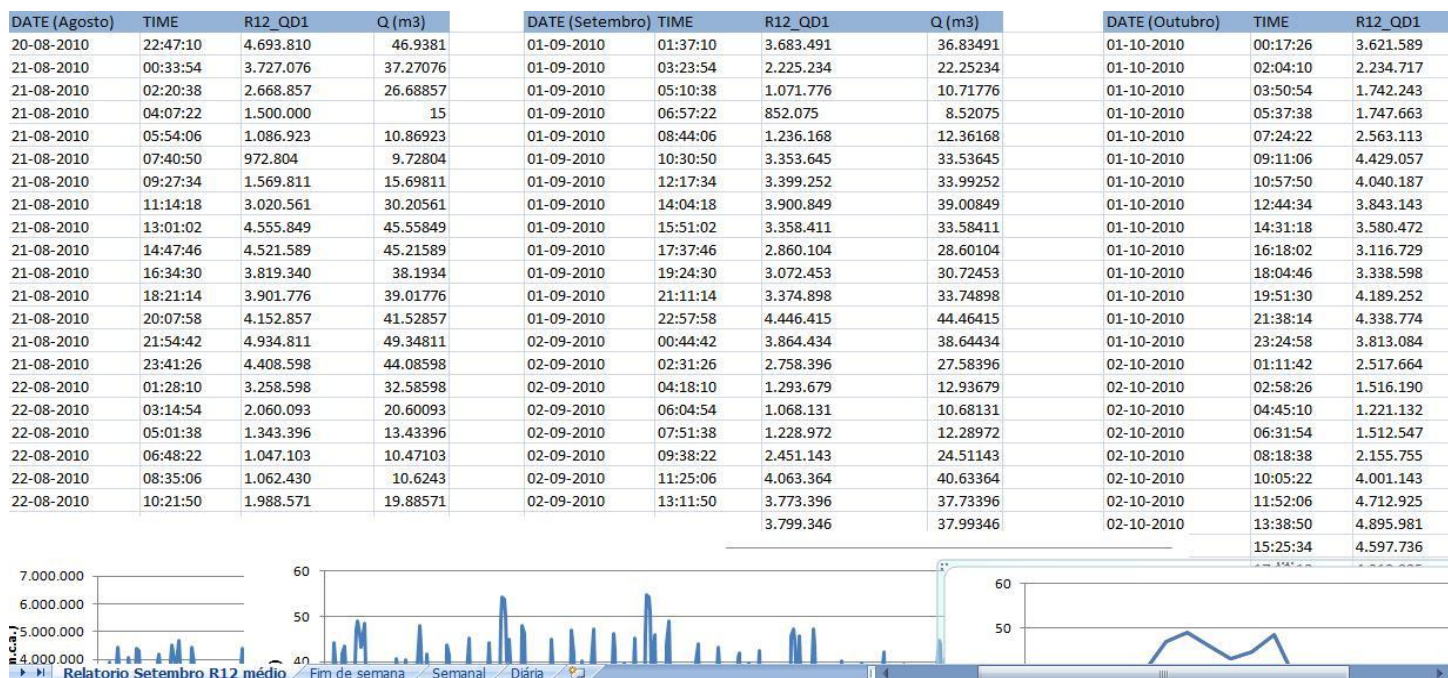


Figura 73: Registo exportado da Telemetria dos consumos dos meses de Agosto, Setembro e Outubro.

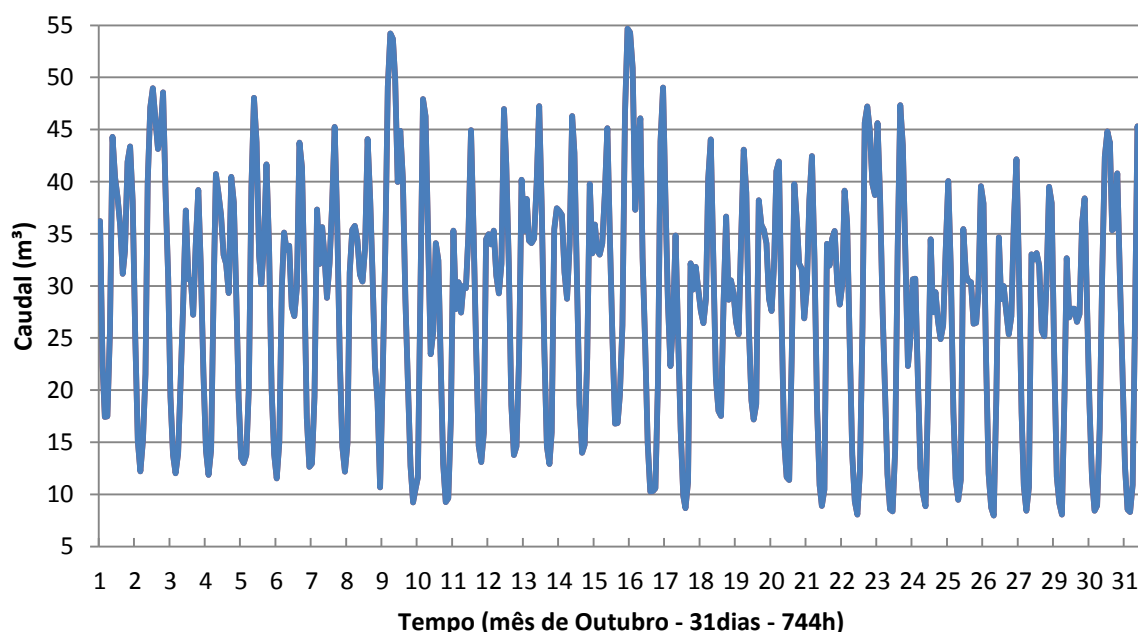


Figura 74: Consumo médio para o mês de Outubro (m³).

Média mensal dos 3 meses referenciados: **29,40** (m³).

Consumo total médio dos 3 meses: **12134,60** (m³).

Média do mês de Outubro: **28,65** (m³).

Consumo total de Outubro: **11860,75** (m³).

Denota-se que o valor médio de consumo ronda os 30 m³ e varia entre um valor médio mínimo (noturno) e um médio máximo (diurno) de 8 (m³) e 45 (m³) respectivamente.

Apresenta-se de seguida o comportamento no que respeita ao consumo médio semanal do mês de Outubro. Foram consideradas todas as semanas do mês de Outubro.

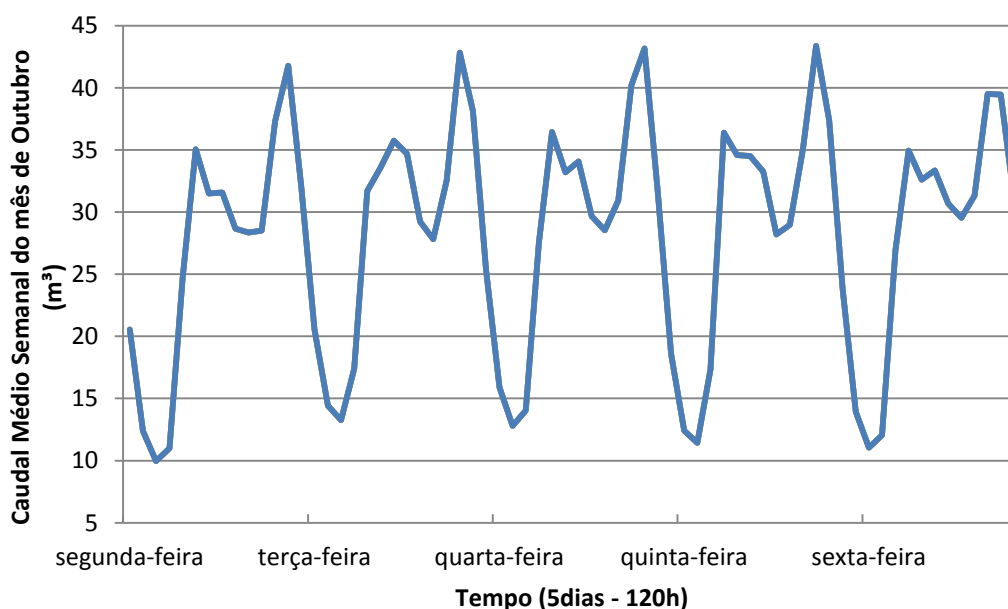


Figura 75: Consumo médio de água semanal do mês de Outubro excluindo os fins-de-semana (m³).

Média semanal considerando todas as semanas do mês de Outubro exceptuando os fins-de-semana: **28,05** (m³).

Consumo total médio semanal, considerando todas as semanas do mês de Outubro exceptuando os fins-de-semana: **1910,05** (m³).

Manifesta nitidamente a variação de consumo entre horas nocturnas e diurnas, onde se constata maiores consumos durante o dia e menores durante a noite. Pode-se evidenciar a regularidade do comportamento dos consumos ao longo de todos os dias das semanas. Contudo é de salientar que o consumo máximo da sexta-feira (dia anterior ao fim-de-semana) sofre um pequeno abaixamento no consumo.

Apresenta-se de seguida o comportamento aos fins-de-semana no que respeita ao consumo. Foram considerados todos os Sábados e Domingos do mês de Outubro.

(dá-se especial relevo aos fins-de-semana por estes serem dias anómalos à semana. Dessa forma tenta-se descortinar qual a sua influencia e peso para a média total mensal).

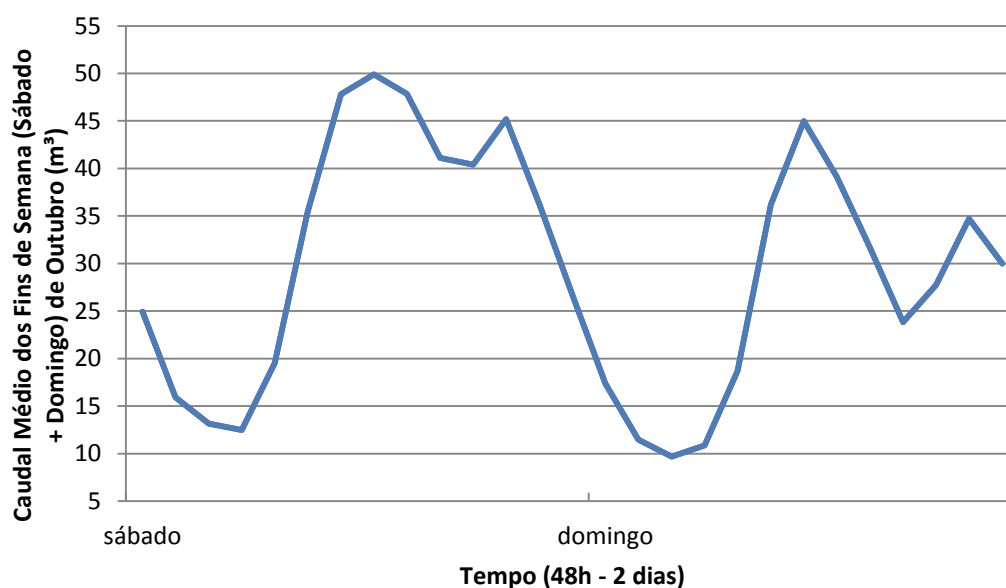


Figura 76: Consumo médio de água nos fins-de-semana (Sábado + Domingo) do mês de Outubro (m^3).

Média do consumo aos fins-de-semana (Sábado + Domingo) no mês de Outubro: **29,37** (m^3).

Consumo total num fim-de-semana médio de Outubro: **792,89** (m^3).

De salientar que mesmo mantendo um consumo médio na ordem dos $30 m^3/h$ e um consumo mínimo nocturno (médio) na casa dos $11 m^3/h$, o seu consumo máximo (diurno) sofre um ligeiro aumento comparativamente ao consumo médio mensal, sofrendo um aumento de quase $5 m^3/h$. Tal facto ser evidencia das pessoas estarem mais por casa e recorrerem mais ao uso da água para efectuar as lides normais domésticas (limpeza da casa, lavagem de carros, rega, entre outros). Pode-se depreender que os fins-de-semana contribuem com um maior peso para o consumo médio global de um mês.

Apresenta-se de seguida o comportamento médio de consumo diário. Foram considerados todos os dias do mês de Outubro.

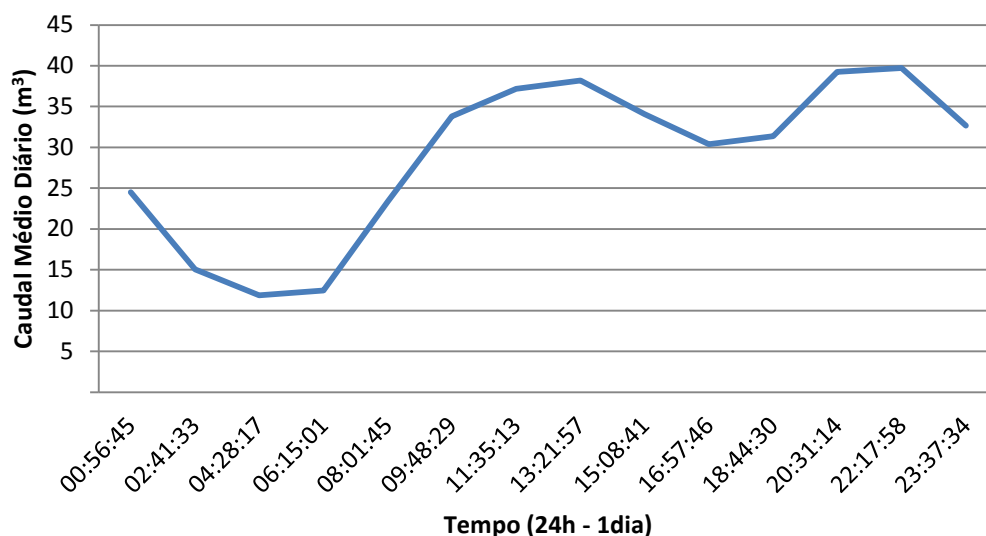


Figura 77: Consumo médio de água num dia médio do mês de Outubro (m³).

Consumo de um dia médio do mês de Outubro: **28,86 (m³)**

Consumo total de um dia médio do mês de Outubro: **404,001 (m³)**.

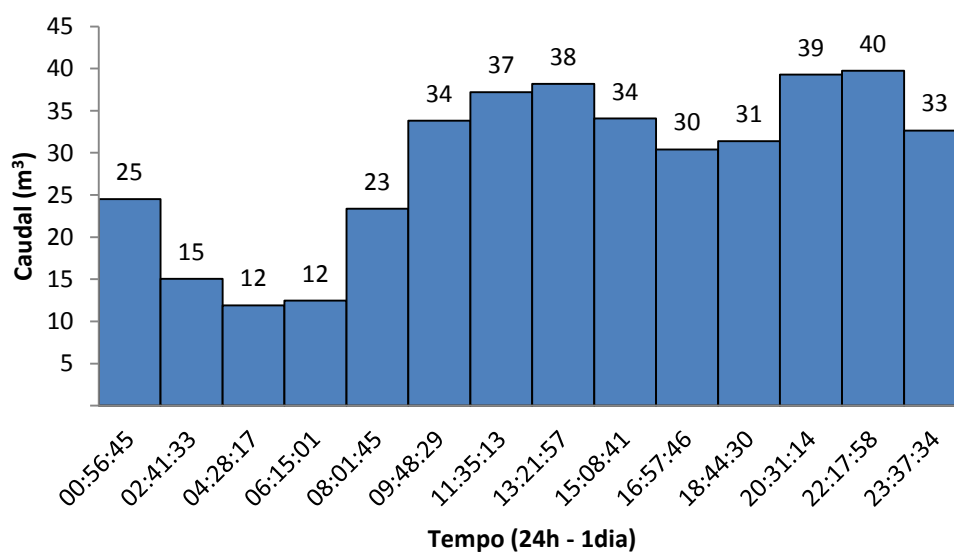


Figura 78: Consumo médio horário de água num dia médio do mês de Outubro (m³).

Embora estes consumos sejam representativos da realidade, como já foi referido, não se apresentam da melhor forma para serem objecto de trabalho no simulador EPANET, pois os registos pontuais dos caudais são efectuados em tempos nada bem definidos.

Por tal facto efectuou-se uma nova recolha de informação na telemetria, referente ao caudal apresentado à saída do reservatório, de forma a obter registo destes em intervalos de tempo mais bem definidos.

Foi possível obter o registo horário de 6 dias específicos do mês de Dezembro (de 11 a 16 de Dezembro coincidentes com os dias de registo das variações de pressão na rede). Os valores registados são da mesma forma registos pontuais (8 registos dentro de cada hora). Por intermédio dos 8 registos efectuados dentro de cada hora, obteve-se a média horária de cada dia. Como no total foram registados 6 dias, efectuou-se uma média diária recorrendo a esses valores médio horários calculados dos 6 dias.

Apresenta-se de seguida uma tabela onde são representados os consumos médios horários representativos de um dia médio (considerando os 6 dias já referidos do mês de Dezembro 2010).

Caudais médios horários totais entregues pelo reservatório à rede de distribuição

Hora (Intervalo)	Consumo horário (m³/h)	Consumo horário (L/s)	Tempo (h)	Factor Horário
1	20.365	5.6569	00:00	0.8091
2	14.097	3.9159	01:00	0.5601
3	10.683	2.9675	02:00	0.4244
4	8.361	2.3226	03:00	0.3322
5	7.783	2.1620	04:00	0.3092
6	8.063	2.2396	05:00	0.3203
7	11.156	3.0988	06:00	0.4432
8	25.444	7.0678	07:00	1.0109
9	34.618	9.6162	08:00	1.3754
10	30.112	8.3643	09:00	1.1963
11	30.767	8.5463	10:00	1.2224
12	35.068	9.7410	11:00	1.3932
13	36.108	10.0301	12:00	1.4346
14	33.700	9.3611	13:00	1.3389
15	28.199	7.8330	14:00	1.1203
16	24.242	6.7340	15:00	0.9631
17	24.014	6.6705	16:00	0.9541
18	24.814	6.8928	17:00	0.9859
19	29.199	8.1107	18:00	1.1601
20	34.136	9.4823	19:00	1.3562
21	38.289	10.6358	20:00	1.5212
22	37.246	10.3461	21:00	1.4798
23	32.039	8.8997	22:00	1.2729
24	25.576	7.1045	23:00	1.0161
Total:	604.079	167.800		24.000
Média:	25.170	6.992		1.000

$$FH_{Consumo} = \frac{Consumo_{L/s}}{Média_{Consumo}} \quad (9)$$

De referir que o Factor Horário antes apresentado é representativo de um consumo horário que engloba o consumo real mais o consumo de perdas.

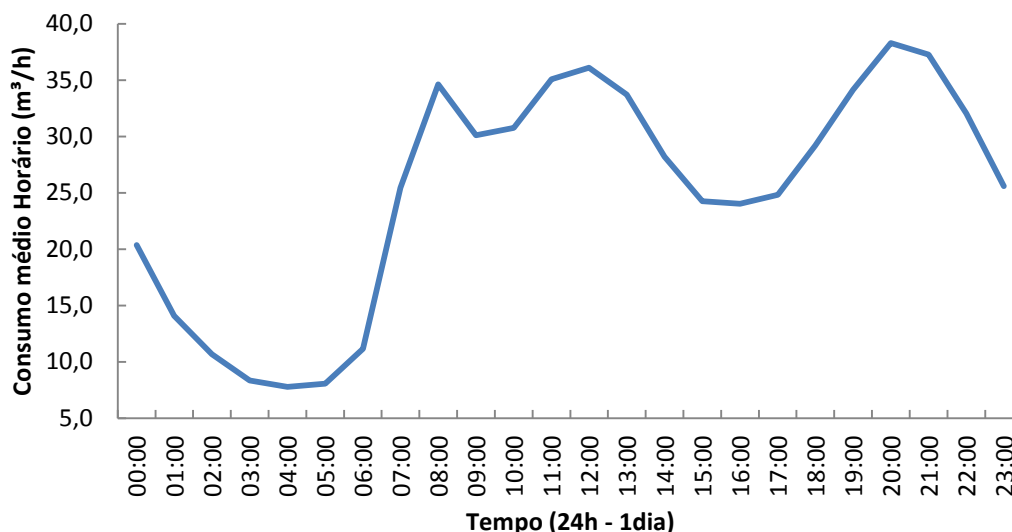


Figura 79: Consumo médio horário de água num dia médio (m³/h).

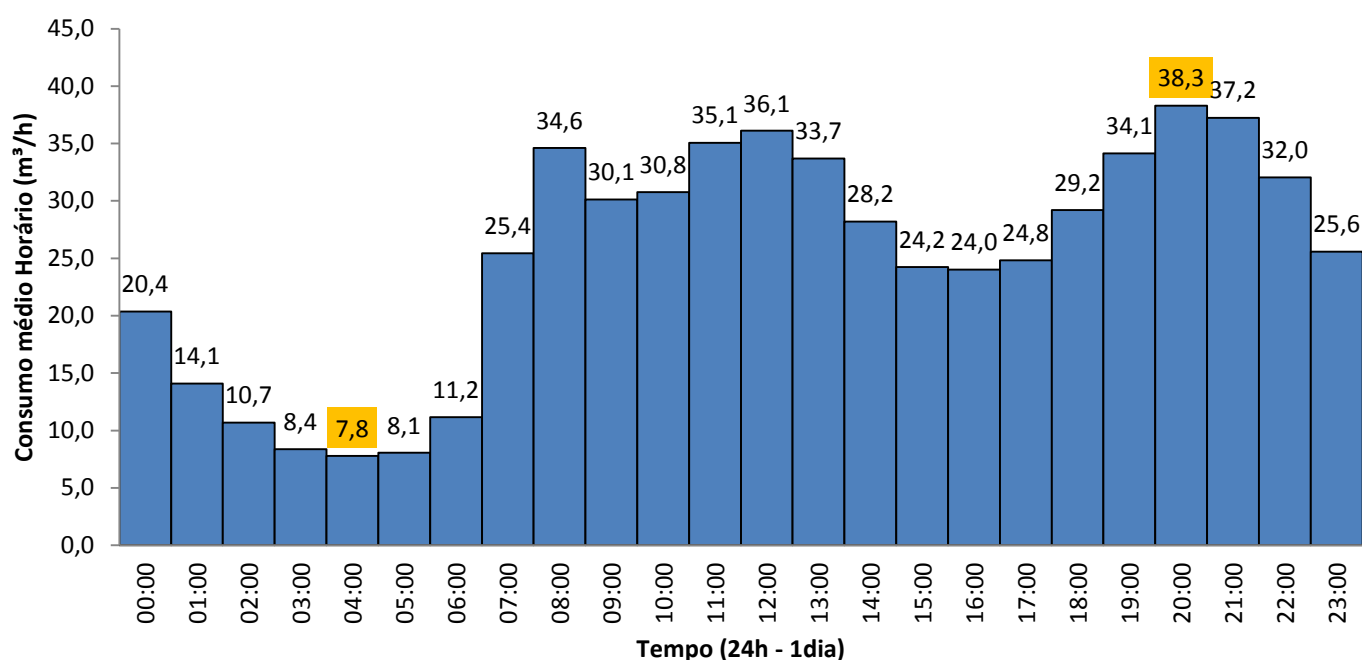


Figura 80: Consumo médio horário de água num dia médio (m³/h).

Pode ver-se nitidamente que as horas de menor consumo serão as que rondam a 5ª hora do dia e as de maior consumo serão as que rondam a 21ª hora do dia. Pode-se então afirmar que as maiores pressões serão encontradas às 5h da

manhã e as menores pressões fazer-se-ão sentir às 20h da noite (influência também das VRP's).

Existe um consumo médio aproximado de **25 m³/h** com um mínimo de cerca de **7,8 m³/h** e um máximo de cerca de **38,3 m³/h**. Apesar de a média ser cerca de 25 m³/h, o consumo encontra-se mais de metade do tempo a cima desse valor (menores pressões), existindo menores consumos num período mais curto do dia (maiores pressões) o que é benéfico para as perdas, pois a presença de pressões mais elevadas na rede ocorrem num período de tempo curto do dia. (15h a cima dos 25 m³/h, e 9h a baixo dos 25 m³/h).

Nesta fase do trabalho pode-se efectuar a calibração no que respeita à distribuição das perdas pelos nós, no sentido de se poder calibrar o simulador EPANET e obter um padrão de consumo representativo unicamente do consumo real (sem o consumo das perdas).

O simulador EPANET tem capacidade de fazer variar consumos e fugas através de *nós com capacidade expelir água da rede*. Esta propriedade dos Nós com capacidade expelir água da rede definisse como propriedade “emitter expoent” e é somente associada aos nós que modelam o escoamento através de orifícios ou fissuras com descarga livre para a atmosfera. A vazão através destes dispositivos varia em função da pressão no nó, de acordo com a expressão matemática (10), isto é, uma lei de vazão do tipo:

$$Q = A \times P^N \quad (10)$$

onde:

Q = vazão em L/s,

P = pressão em m.c.a,

A = coeficiente de vazão

N = expoente da pressão.

Para orifícios o expoente N é igual a 0.5, mas para simular perdas em condutas de um sistema de distribuição, os coeficientes de vazão e o expoente da pressão, para a perda de água em junta ou fissura, devem ser estimados.

A aplicação de métodos empíricos para a identificação da relação entre pressão e escoamento, a partir de testes de consumos nocturnos, têm sido exaustivamente estudados por diversos pesquisadores, pela necessidade da identificação dos consumos em tais períodos. Sabe-se que a relação entre as perdas

físicas e a variação de pressão é função das condições operacionais do sistema em análise.

May (1994) introduziu o conceito referente à área de descarga fixa ou variável (FAVAD). Estudos e testes inicialmente desenvolvidos no Reino Unido e estendido para outros países, indicam que, dependendo do tipo de material, o coeficiente N, que relaciona pressão e escoamento pode variar de 0,5 a 2,5 dependendo do tipo dos escoamentos presentes e do tipo de material (normalmente usa-se 1,15 na falta de conhecimento global das características do sistema). A expressão matemática (11) relaciona pressão e escoamento.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^N \quad (11)$$

onde:

Q_0 = escoamento correspondente ao nível inicial de pressão

P_0 e Q_1 = escoamento correspondente ao nível de pressão P_1 .

A pressão que deve ser considerada na expressão (11) é a pressão média do sector e pode ser obtida a partir de modelagem do comportamento da rede ou de levantamento de pressão em diversos pontos representativos da rede.

Chaudhry et al., (2000) testaram, entre outras, esta mesma metodologia para ajuste da relação pressão e escoamento, a partir de ensaios nocturnos com base em pontos representativos da rede empregam a equação (12) considerando pares de valores de pressões e escoamento supondo que os escoamentos avaliados a partir de entradas no sistema durante as horas de consumo no período nocturno ocorram ao longo do comprimento total das condutas, o coeficiente A pode ser determinado, através da equação (12).

$$A = \frac{Q_0}{L} \times P^N \quad (12)$$

Segundo Lambert (2000) a equação geral mais apropriada para ser usada numa análise e previsão de relação entre pressão e taxas de escoamentos distribuídos num sector de distribuição corresponde à expressão (13) apresentada por May (1994).

$$Q \text{ 'escoamento' varia com } P^N \text{ e } Q_1 / Q_0 = (P_1 / P_0)^N \quad (13)$$

Para o cálculo do Coeficiente de Ponderação de Perdas – cpp, segundo o IWA (Outubro de 2000) o UARL (Unavoidable Average Real Losses) (cpp), poderá ser determinado pela seguinte expressão:

$$CPP = A + B \cdot d_{\text{ramais}} + C \cdot d_{\text{ramais}} \cdot \langle L_{\text{ramal}} \rangle \quad (14)$$

onde:

A = 18 l/d/mca/km

B = 0.7 (ou 0.8) l/d/ramal/mca

C = 25 l/d/ramal/mca/km

d_{ramais} : Densidade de ramais (Lm/Nc → cociente do número de conexões (nº de ligações de ramal) pelo comprimento da conduta

$\langle L_{\text{ramal}} \rangle$: comprimento médio dos ramais de ligação (km)

Será possível partir agora para a calibração do sistema relativamente às pressões, provocando aspersão de água para fora da rede (simular fugas reais – caudal de perdas) através dos nós. Para isso será necessário distribuir de forma ponderada as perdas de água reais (inevitáveis) por todos os nós do sistema.

Passa-se a explicar o procedimento tomado para se atingir tal objectivo. Inicialmente foi necessário calcular o factor horário de consumo (anteriormente apresentado) e de variação do nível do reservatório. Este coeficiente horário de consumo engloba o Consumo + Perdas. Como o consumo distribuído pelos nós é somente o correspondente ao de facturação (real), não englobando as perdas, estas devem ser retiradas deste coeficiente horário de consumo, para ser possível usar os factores horários correctos. Sendo depois as perdas distribuídas pelos nós da rede tendo em conta o número de ramais ligados por unidade de comprimento de conduta.

Para efectuar esta distribuição das perdas pelo sistema, estas devem ser aferidas aos Nós, pois estes são os indicadores de pressão do EPANET. Deve-se recorrer uma vez mais ao MATLAB para criar um ficheiro EPANET ponderado pelo coeficiente de ponderação de perdas – ‘cpp’ (o procedimento é em tudo idêntico ao usado na determinação dos ‘cpc’, por tal facto escuso-me de voltar a apresentar aqui todo o procedimento anteriormente detalhadamente descrito. De salientar que difere unicamente no código fonte e no tipo *parâmetros a inseridos**).

Os *parâmetros** a admitir são um consumo nocturno mínimo por ligação de ramal de 2 L/h/contador* (0,8% em contadores industriais, que neste estudo não são considerados) e admitir para o expoente dos dispositivos emissores o valor de 1,15*. Coeficiente de vazão dos nós nulos e expoente igual a 0,5 em vez de 1,15*. O ‘cpp’

considera dentro das perdas reais, como referido, somente aquelas que se revelam por ligações de ramal doméstico, considerando os 2 L/h/contador de consumo legítimo nocturno (expressão matemática (14)).

Após corrido o MATLAB, este gera um ficheiro EPANET calibrado com o 'cpp' que permite a distribuição do caudal de perdas por todos os Nós instalados tendo em conta os valores medidos de caudal à saída do reservatório, o comprimento das condutas e o respectivo número de ramais ligados a estas. Este procedimento gera inicialmente um ficheiro 'cpp' com valores unitários que deverá ser corrigido com os obtidos na figura seguinte (Excel em Anexo 8). Corre-se o MatLab segundo o Cálculo2 que irá permitir posteriormente, simular o padrão de consumo no EPANET somente com o caudal facturado (caudal horário de saída no reservatório).

Rea	Número de Contador res	Contador es excluídos do R12	Comprimen to das Reas (m)	Número de contadores por unidade de comprimento de	Reas	Conde tas	Número de contadores por unidade de comprimento de	Condatas	Número de contadores por unidade de comprimento de						
av estação	27		825.63	0.0327	av estação	T272A	0.032693924	T75B	0.035874439	CommandButton1	A =	18	l/d/mcs/km		
av laio de camões	6		330.73	0.0181	av estação	T272B	0.032693924	T75B2	0.06388027		B =	0.7	l/d/ramal/mcs		
av sacadura cabral	105		229.33	0.4567	av laio de camões	T197	0.018141687	T75B3	0.035874439		C =	25	l/d/ramal/mcs/km		
lg cruzeira	2		31.97	0.0626	av laio de camões	T197B	0.018141687	T75B4	0.06388027		Lramal,médio =	0.006	km		
lg cruzeira	2		36.28	0.0551	av laio de camões	T198	0.018141687	T12B	0.046938536	CommandButton2					
lg espírito santo	2		82.3537	0.0243	av laio de camões	T257	0.018141687	T127E	0.027987655						
lg padre joaquim pouso e silva	2		145.59	0.0137	av laio de camões	T258	0.018141687	T127B	0.027987655						
lg são bartolomeu	1		140.82	0.0071	av sacadura cabral	T273	0.456660723	T38A	0.02038736						
pc 25 de abril	7		89.17	0.0785	lg cruzeira	T322	0.062558649	T185	0.034636033	Condutas					
pc infante sagres	65		106.33	0.6113	lg cruzeira	T185A	0.055126792	T183D	0.06134133		T15B	0.035874439	Nº ramais/km	Nº ramais/km	CPP's
pc rancho folclórico	1		39.65	0.0252	lg espírito santo	T185A	0.024285431	T183C	0.06134133		T15B2	0.06388027	63.88027012	72.238	
pet camilo castelo branco	3		21.64	0.1386	lg padre joaquim pouso e silva	T191A	0.013737207	T183B	0.06134133		T15B3	0.035874439	35.87443346	48.433	
pet s antonio	7		109.58	0.0639	lg padre joaquim pouso e silva	T191	0.013737207	T223A	0.017680786	T15B4	0.06388027	63.88027012	72.238		
r 1º de maio	2		104.78	0.0151	lg são bartolomeu	T21W	0.007601264	T224A	0.025034363	T12B	0.046938536	46.33853603	57.838		
r 25 de abril	14		190.89	0.0733	lg são bartolomeu	T21W	0.007601264	T308A	0.041715651	T127E	0.027987685	27.98768542	41.73		
r agostinho moreira assunção	2		63.43	0.0288	pc 25 de abril	T55A	0.078501738	T321	0.113895216	T127B	0.027987685	27.98768542	41.73		
r água levada	16		115.49	0.1385	pc infante sagres	T249B	0.61130443	T325	0.05680896	T38A	0.02038736	20.38735384	35.329		
r aldeia nova	27		567.53	0.0476	pc rancho folclórico	T249C	0.025220681	T237	0.089153803	T185	0.034636033	34.63630302	47.441		
r alves redol	16		421.47	0.0380	pet camilo castelo branco	T233A	0.138632163	T236	0.089153803	T183D	0.06134133	61.34133043	70.14		
r amcal	1		73.32	0.0136	pet s antonio	T75B1	0.063880027	T234	0.089153803	T183C	0.06134133	61.34133043	70.14		
r antonio alvaro	1		183.08	0.0055	pet s antonio	T75B2	0.063880027	T232	0.089153803	T223A	0.025034363	25.0349866	39.28		
r antonio marques gomes	11		237.44	0.0463	pet s antonio	T75B4	0.063880027	T233	0.073163534	T308A	0.041715651	41.71565035	53.458		
r antonio sergio	23		436.81	0.0664	r 1º de maio	T21B	0.019087612	T231	0.089153803	T321	0.113895216	113.8952164	114.81		
r barreira	2		63.24	0.0316	r 25 de abril	T244A	0.073340667	T238	0.047151462	T325	0.05680896	56.80895958	66.286		
r bartolomeu dias	10		71.63	0.1935	rgostinho moreira assunção	T19A	0.028781012	T235	0.089153803	T237	0.089153803	89.15380305	93.781		
r bela vista	17		382.13	0.0445	r água levada	T19	0.138540133	T317	0.060384306	T236	0.089153803	89.15380305	93.781		
r brito	5		246.26	0.0203	r aldeia nova	T31	0.0417563548	T315	0.030225178	T234	0.089153803	89.15380305	93.781		
r cal	5		43.3	0.1139	r aldeia nova	T309	0.0417563548	T318	0.041715651	T232	0.089153803	89.15380305	93.781		
r camilo castelo branco	5		68.34	0.0732	r aldeia nova	T311	0.0417563548	T311	0.0417563548	T233	0.073163534	73.163538	80.189		
r cancela arcos	13		365.34	0.0410	r aldeia nova	T312	0.0417563548	T309	0.0417563548	T231	0.089153803	89.15380305	93.781		
r cancela vermelha	15		874.8527	0.0143	r aldeia nova	T312A	0.0417563548	47	0.041715651	T238	0.047151462	47.51346215	58.386		
r carvoeiros	35		392.58	0.0892	r alves redol	T169	0.03736237	T308	0.041715651	T235	0.058903487	58.9048726	68.066		
r catarina eufemia	18		325.5	0.0553	r alves redol	T170	0.03736237	T306	0.041715651	T317	0.060384306	60.38490624	69.837		
r cegonheira	3		283.84	0.0106	r alves redol	T192	0.03736237	T312	0.0417563548	T315	0.030225178	30.225177	43.631		
r comendador josé ferreira tedim	6		406.08	0.0148	r alves redol	T194A	0.03736237	T280	0.055210112	T318	0.041715651	41.71565035	53.458		
r conego joaquim laís assunção	2		212.12	0.0034	r amcal	T169A	0.013635843	T281	0.408884357	T311	0.0417563548	47.56354844	58.434		
r corpes	3		146.72	0.0613	r antonio alvaro	T163	0.005462093	T282A	0.033534541	T303	0.047563548	47.56354844	58.434		
r corticos	11		462.75	0.0238	r antonio marques gomes	T216	0.046327493	T272	0.025034363	47	0.041715651	41.71565035	53.458		
r costa	18		363.38	0.0435	r antonio sergio	T230A	0.066330421	T287	0.024272827		T308	0.041715651	41.71565035	53.458	
r covelo	5		118.28	0.0423	r antonio sergio	T230B	0.066330421	T285	0.024272827		T306	0.041715651	41.71565035	53.458	
r d. alfonso henriques	2		145.42	0.0138	r antonio sergio	T230	0.066330421	T284	0.024272827		T312	0.047563548	47.56354844	58.434	
r d. maria ii	3		174.17	0.0517	r barreira	T164B	0.031625553	T282B	0.055530875	T280	0.055210112	55.21811154	64.335		
r d. joão ii	2		37.42	0.0205	r bartolomeu dias	T244A	0.133483463	T282	0.055530875	T281	0.408884357	40.89435639	365.56		
r descobrimentos	82		222.44	0.3886	r bela vista	T186	0.044487478	T286	0.019087612	T282A	0.033534541	33.53454058	46.504		
r doutor david assoreira	23		71.68	0.3203	r bela vista	T187	0.044487478	T283	0.055530875	T272	0.025034363	25.0349866	39.28		
r doutor dário santarem	226		552.71	0.4093	r bela vista	T282	0.044487478	T291	0.01912587	T281	0.024272827	24.27282657	38.632		
r enalio	1		30.51	0.0110	r brito	T188	0.020303744	T307	0.100324124	T285	0.024272827	24.27282657	38.632		
r escola	11		789.96	0.0139	r brito	T191	0.020303744	T208	0.036121906	T284	0.024272827	24.27282657	38.632		
r escola 422	101		301.88	0.3346	r brito	T194	0.020303744	T208	0.023878886	T282B	0.055530875	55.53087157	65.201		

Figura 81: Número de ramais por conduta.

Para determinar o padrão de consumo a ser inserido no EPANET deve-se recorrer a um ajuste do consumo efectivamente consumido, para tal deve ser retirado ao consumo medido à saída do reservatório o consumo das perdas (obtido por método iterativo), e sobre este caudal obtido é que deve ser obtido o factor horário de consumo (obtido no mesmo método iterativo).

Será então necessário recorrer a um cálculo iterativo e para iniciar este processo deve-se obter o primeiro valor do caudal de perdas. Para isso, é considerado o período crítico no que respeita a quantidade de perdas presentes, que neste caso será a 5ª hora (pior cenário, cenário de maiores pressões e de menor consumo) com um Caudal Total Mínimo de **2.16 L/s**, obtendo-se assim um Caudal de Consumo Mínimo ($Caudal_{con,min}$) de **1.15 L/s**.

$$[Caudal_{con,min} = \text{número}_{contadores} \times 2^*/3600 (l/s)] (\text{número}_{contadores} = 2071). \quad (16)$$

O Caudal de perdas ($Caudal_{perdas}$) será o Caudal Total Mínimo ($Caudal_{total,min}$), subtraído do Caudal Consumido Mínimo ($Caudal_{con,min}$) [$2.16 - 1.1506 = 1.01 \text{ L/s}$].

$$[Caudal_{perdas} = Caudal_{total,min} - Caudal_{con,min}]. \quad (17)$$

Desta forma determinou-se as perdas para as 5h (caudal mínimo), conseguindo-se estimar os factores horários de consumo. Recorre-se agora ao processo iterativo para determinar os valores para os restantes intervalos de tempo.

Eis os passos a tomar para correr o procedimento iterativo:

Na tabela seguinte elaborada automaticamente no Excel, insere-se o valor do caudal de perdas que estimamos (que julgo saber – sempre igual ou inferior ao 1.01 obtido no caudal mínimo da 5h), e copia-se para o ‘Demand Multiplier’ (factor multiplicativo do caudal base usado na calibração do EPANET – 20L/s) do EPANET o respectivo valor obtido do factor horário. Seguidamente constata-se se o caudal desse período obtido à saída do reservatório no EPANET coincide com o calculado na tabela de Excel. Caso coincida será esse o factor horário a adoptar (já corrigido sem as perdas), caso não seja o caudal registado, há que voltar a inserir um novo valor no Q_{perdas} (inferior a 1.01) de forma a criar novo valor de $f_{horário}$ a ser inserido no EPANET até o caudal à saída do reservatório convirja até ser igual ao valor obtido no Excel.

Estimação dos factores horários do consumo

 $Q_{base} = 20 \text{ l/s}$

Hora (intervalo)	Sei! $Q_{total} \text{ (l/s)}$	Julgo saber! $Q_{perdas} \text{ (l/s)}$	$Q_{total} \text{ (l/s)} - Q_{perdas} \text{ (l/s)}$ $Q_{consumo} \text{ (l/s)}$	$Q_{consumo} \text{ (l/s)} / Q_{base} \text{ (l/s)}$ $f_{horário}$	$f_{horário} / f_{medio_horário}$ horário
1	5.66	1.00	4.66	0.232843493	0.775500927
2	3.92	1.00	2.92	0.145796128	0.48558382
3	2.97	1.01	1.96	0.0978755	0.325980941
4	2.32	1.01	1.31	0.065629297	0.218582793
5	2.16	1.01	1.15	0.057597726	0.191833103
6	2.24	1.01	1.23	0.061479167	0.204760503
7	3.10	1.01	2.09	0.104441705	0.347850129
8	7.07	1.00	6.07	0.303391618	1.010466207
9	9.62	0.97	8.65	0.432309778	1.439836816
10	8.36	0.98	7.38	0.369216764	1.229701286
11	8.55	0.97	7.58	0.378816881	1.261675121
12	9.74	0.98	8.76	0.4380515	1.458960008
13	10.03	0.97	9.06	0.453006698	1.508769302
14	9.36	0.98	8.38	0.419053483	1.395685832
15	7.83	0.98	6.85	0.342648069	1.141212461
16	6.73	0.98	5.75	0.287700142	0.958204691
17	6.67	0.98	5.69	0.284525542	0.947631469
18	6.89	0.98	5.91	0.295641582	0.984654191
19	8.11	0.98	7.13	0.356536958	1.18747034
20	9.48	0.98	8.50	0.425113347	1.415868619
21	10.64	0.97	9.67	0.483288058	1.609623409
22	10.35	0.97	9.38	0.468805313	1.561387651
23	8.90	0.98	7.92	0.395983878	1.318850963
24	7.10	0.98	6.12	0.306226934	1.019909417
Média	6.99	0.99	6.00	0.30	1

$$Q_{medio_consumo} \text{ (l/s)} / Q_{base} \text{ (l/s)}$$

$$0.300249148$$

Fazendo correr o EPANET e pedindo que este crie uma tabela com o caudal de saída do reservatório às diferentes horas do dia, ele mostra os seguintes valores, que são exactamente iguais aos obtidos na tabela anterior, ao calcular o factor horário. Isto é indicador de que o caudal total de saída do reservatório afectado pelo factor horário calculado (calibrado), está a distribuir correctamente os caudais reais por todos os nós da rede, tendo em conta os caudais de perdas, uma vez que este factor horário é representativo somente do consumo real efectivo.

teste		
Time Series Table - Link		
T1		
Time	Flow	
Hours	LPS	
1 ^a h- 00:00	5.66	
2 ^a h- 01:00	3.92	
3 ^a h- 02:00	2.97	
4 ^a h- 03:00	2.32	
5 ^a h- 04:00	2.16	
6 ^a h- 05:00	2.24	
7 ^a h- 06:00	3.1	
8 ^a h- 07:00	7.07	
9 ^a h- 08:00	9.62	
10 ^a h- 09:00	8.36	
11 ^a h- 10:00	8.55	
12 ^a h- 11:00	9.74	
13 ^a h- 12:00	10.03	
14 ^a h- 13:00	9.36	
15 ^a h- 14:00	7.83	
16 ^a h- 15:00	6.73	
17 ^a h- 16:00	6.67	
18 ^a h- 17:00	6.89	
19 ^a h- 18:00	8.11	
20 ^a h- 19:00	9.48	
21 ^a h- 20:00	10.64	
22 ^a h- 21:00	10.35	
23 ^a h- 22:00	8.9	
24 ^a h- 23:00	7.1	

Como seria de esperar, a média destes Factores Horários ($f_{\text{horário}}$) não deu igual à unidade mas sim 0.3, pois este cálculo foi efectuado para um consumo base médio de 20 L/s (calibração inicial efectuada no simulador EPANET). Como se está a querer simular no EPANET à realidade (média) que está implementada, deve-se efectuar um ajuste para um caudal médio de 6.99L/s. Daí a necessidade de se converter e padronizar os factores horários, para isso efectua-se a razão de cada um com a sua média. Desta forma obtenho os factores horários com uma média unitária, podendo agora estes valores ser inseridos no EPANET, e alterando o 'Demand Multiplier' para 0.300249148, pode-se simular a realidade instalada.

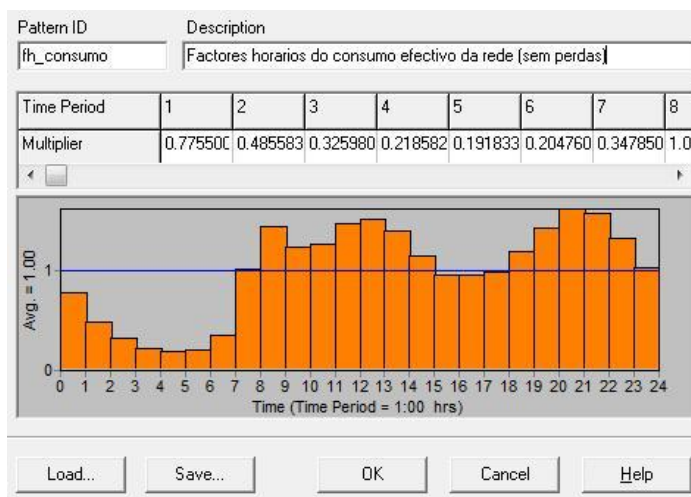


Figura 82: Factores horários do consumo efectivo da rede padronizados (sem perdas).

Possui-se agora um simulador ainda mais calibrado no que respeita à distribuição do caudal pelos nós, à aspersão de água nos nós (coeficiente de vazão) que simula as perdas reais, consumo médio padrão da população, variação do nível de água no reservatório e ao nível topográfico dos nós. Como já referido, para simular a realidade actual deve ser alterado o 'Demand Multiplier' com o valor de **'0.300249148'** de forma a simular o caudal de **6.99 L/s** (25.170 m³/h – caudal médio medido in-situ).

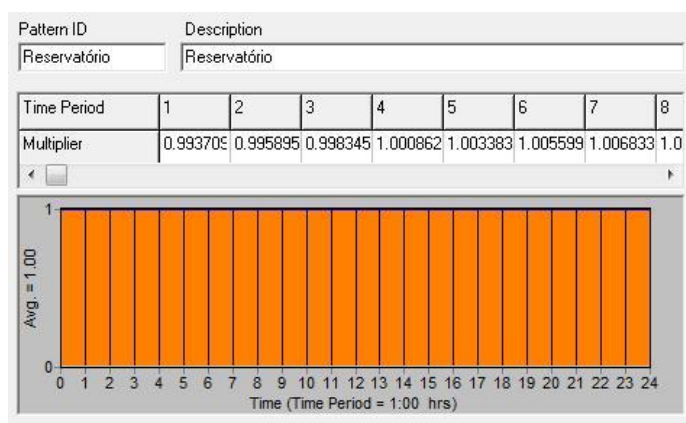
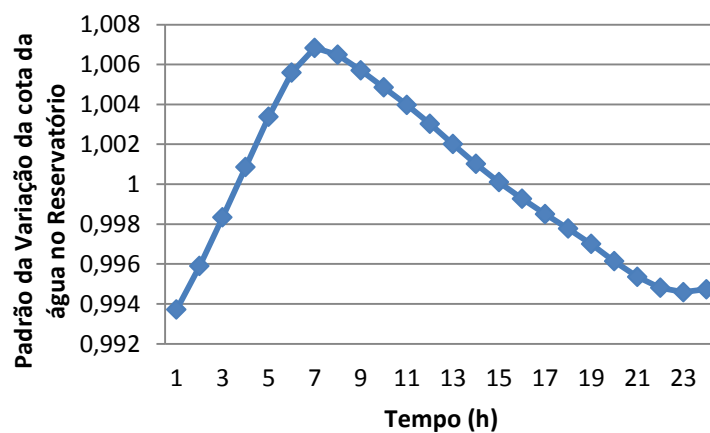
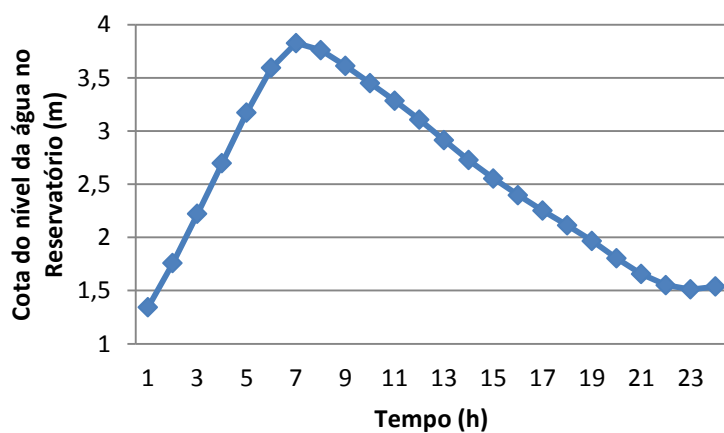


Figura 83: 1º gráfico representa a variação em metros da cota de água no reservatório. O 2º gráfico e a tabela, representam os Factores horários da variação da cota de água no reservatório inseridos no EPANET.

Para confirmar se a calibração efectuada surtiu efeitos, executa-se o simulador EPANET, e de seguida recorre-se à sua função 'Report Calibration', do qual resultam as seguintes figuras.

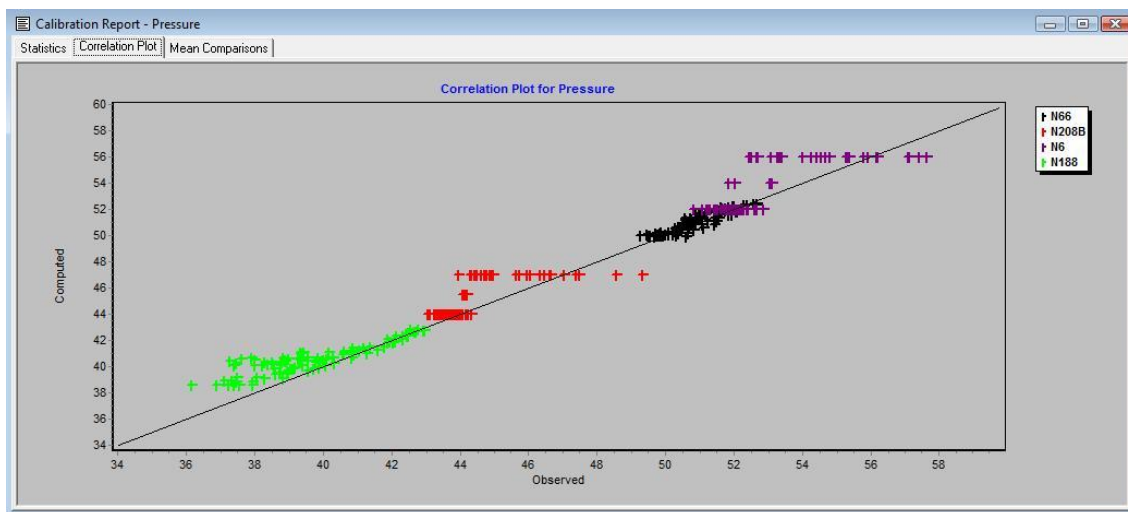


Figura 84: Relatório global da calibração da pressão nos locais escolhidos.

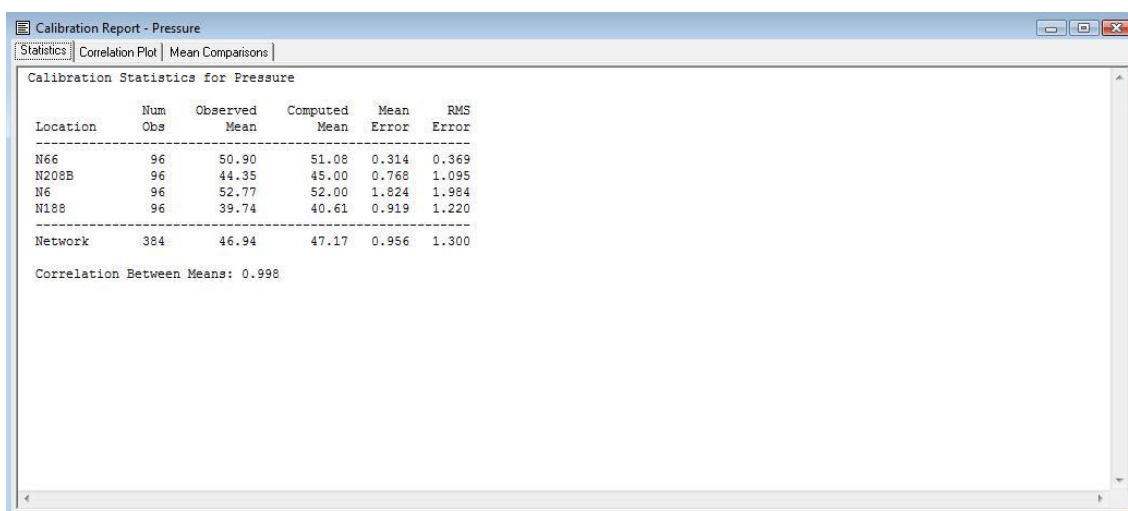


Figura 85: Relatório global da calibração da pressão nos locais escolhidos segundo uma análise estatística.

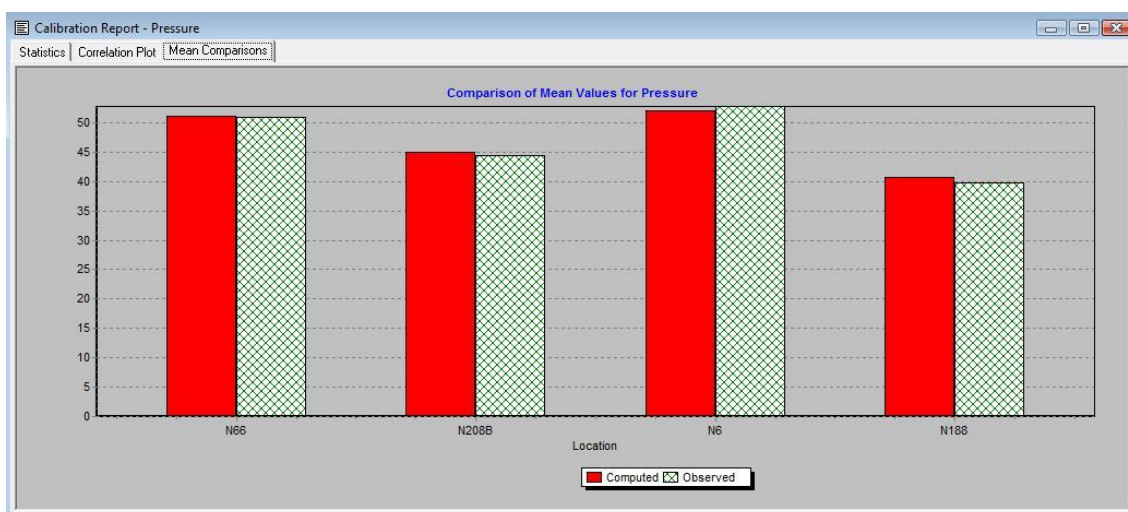


Figura 86: Gráfico de barras com comparação das médias reais e simuladas.

Pela análise da figura 84, pode-se constatar que o eixo das abcissas (xx) corresponde à variação da pressão registada in-situ, e as variações de pressão observadas no eixo das ordenadas (yy) correspondem ao resultado da simulação do EPANET. Indicador que o simulador está bem calibrado, será os pontos observados coincidirem com a linha contínua preta, e terem a mesma variação e ordem de grandeza em ambos os eixos de referência.

Visualiza-se que os pontos verdes e os pretos, Rua Carvoeiras (N188) e Rua Fernando Namora (N66) respectivamente, estão a ser bem representados no EPANET, pois as variações de pressão simuladas são idênticas às observadas e registadas In-Situ.

Por outro lado os pontos vermelhos e roxos, VRP da Igreja (N208B) e VRP de Covelas (N6) respectivamente, apesar de se apresentarem no simulador com pressões da mesma ordem de grandeza das registadas In-Situ, revelam uma variação mais reduzida e bem controlada, variando unicamente entre um valor máximo e um mínimo, passando somente por um valor intermédio, e num intervalo curto de tempo, na transição entre pressões máximas e mínimas. Tal facto deve-se à programação atribuída à calibração das VRP's no EPANET que lhes proporciona um comportamento muito fiel às instruções dadas (ao seu setting). Enquanto na realidade, apesar de as VRP's possuírem um ponto característico de funcionamento igual ao calibrado no EPANET (setting), estas não conseguem funcionar de forma tão fiel a esse seu parâmetro próprio e característico como o que acontece no EPANET (é muito difícil simular no EPANET as reais e todas as variações que as VRP's sofrem na realidade).

Constata-se na prática que apesar das VRP's serem concebidas para provocarem um abaixamento da pressão constante, as variações de pressão existentes entre as horas de menor consumo e de maior consumo, provocam respectivamente maiores e menores impactes, acréscimos de pressão nas VRP's. Isto leva a que as VRP's possuam um comportamento não tão fiel às suas características e que revelem variações superiores às esperadas e simuladas em EPANET. Contudo hoje já existem equipamentos que acoplados às VRP's contribuem para a minimização e correcção destas variações, conferindo às VRP's a capacidade de regular de forma mais constante e fiável a variação e o abaixamento da pressão.

De seguida são apresentadas figuras ilustrativas do que se passa relativamente à variação da pressão, individualmente dos pontos (locais) acima já mencionados. Em cada uma das figuras é efectuado em simultâneo uma comparação

entre a variação da pressão simulada no EPANET e a variação da pressão registada In-Situ. Sendo apresentado a vermelho o resultado contínuo do registo obtido no simulador EPANET, e a verde o registo pontual dos dados observados no mesmo período de tempo e nas mesmas condições In-Situ. Uma sobreposição dos dados, será indicativo de uma boa calibração do modelo simulador.

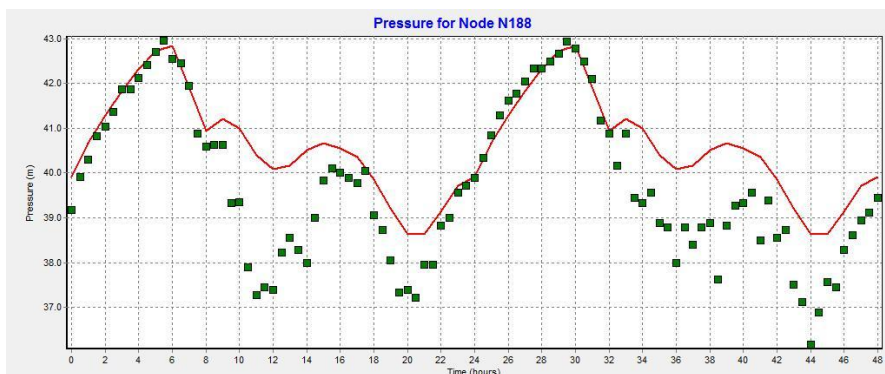


Figura 87: Registo da variação de pressão na Rua Carvoeira. Vermelho no EPANET; Verde in-situ.

Os resultados In-Situ (Rua Carvoeiras, representado a verde) apresentam um valor médio de: 39.73m; um máximo médio de: 42.96m e um mínimo médio de: 36.17m. Sendo que os desvios entre os valores observados In-Situ e no EPANET não são muito acentuados. Apesar de nas situações em que estão presentes as pressões de menor valor, neste caso, o simulador não as consegue representar da mesma forma como se apresentam In-Situ, pode-se ainda assim considerar que a calibração foi conseguida, pois esta diferença não chega a ultrapassar os 2m (~ 0.2 bar).

Na figura seguinte, pode-se constatar que o comportamento a jusante da VRP representado pelo EPANET é muito linear e sem grandes variações devido à programação imposta no simulador. Enquanto na realidade, apesar de as variações acontecerem entre os mesmos limites e nos mesmos intervalos de tempo, ainda assim não apresentam um comportamento tão bem comportado e linear como o do EPANET. Contudo pode-se considerar que a calibração foi conseguida, pois as variações acontecem entre os mesmos limites de pressão e nos mesmos intervalos de tempo.

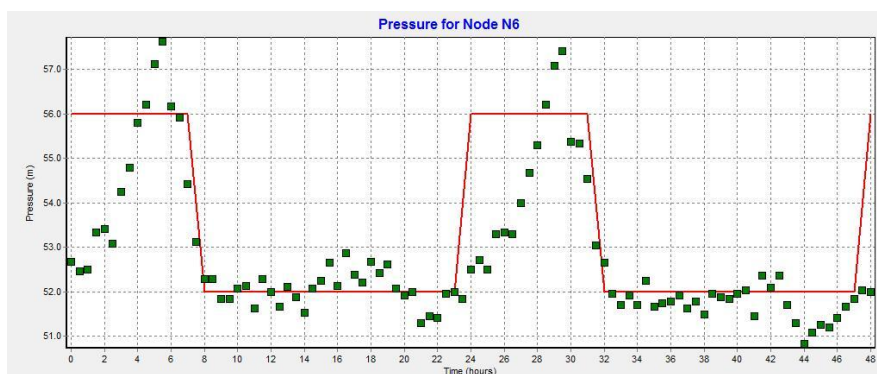


Figura 88: Registo da variação da pressão imediatamente a jusante da VRP de Covelas. Vermelho no EPANET; Verde In-Situ.

Apesar de se constatar que a variação de pressão obtida pelo simulador não segue exactamente a variação observada In-Situ, pode-se vislumbrar na seguinte figura a variação do caudal, já esta variação assume um comportamento inverso à da pressão. Nos períodos onde, In-Situ, se sente um aumento da pressão, o simulador reproduz exactamente no mesmo período a correspondente e consequente diminuição do caudal, mais uma vez indicador de uma correcta calibração.

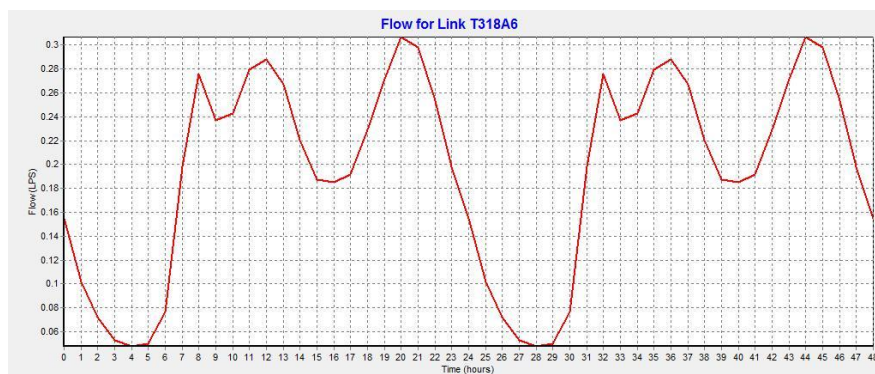


Figura 89: Registo da variação do caudal da VRP de Covelas. Simulado no EPANET.

O mesmo acontece com a VRP da Igreja, a análise efectuada para a VRP de Covelas é em tudo idêntica à da VRP da Igreja, a única diferença é que possuem settings diferentes. A VRP de Covelas funciona num setting de 52m e a da Igreja num de 44m. Apresenta-se nas figuras seguintes o comportamento, no que respeita à variação da pressão e do caudal, da VRP da Igreja.

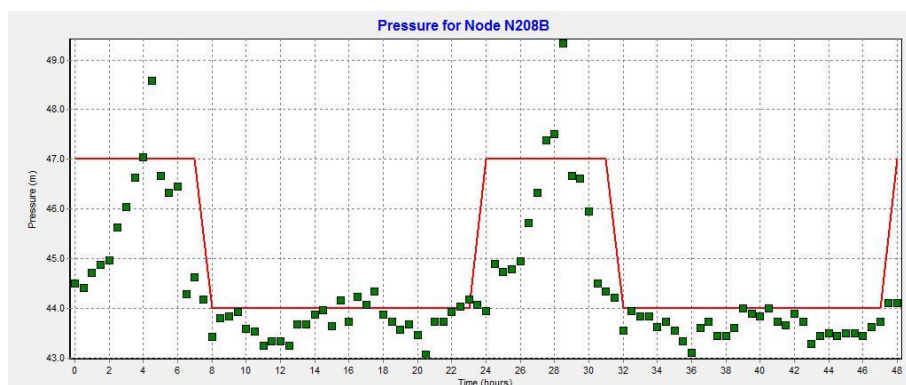


Figura 90: Registo da variação da pressão imediatamente a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado. Vermelho no EPANET; Verde In-Situ.

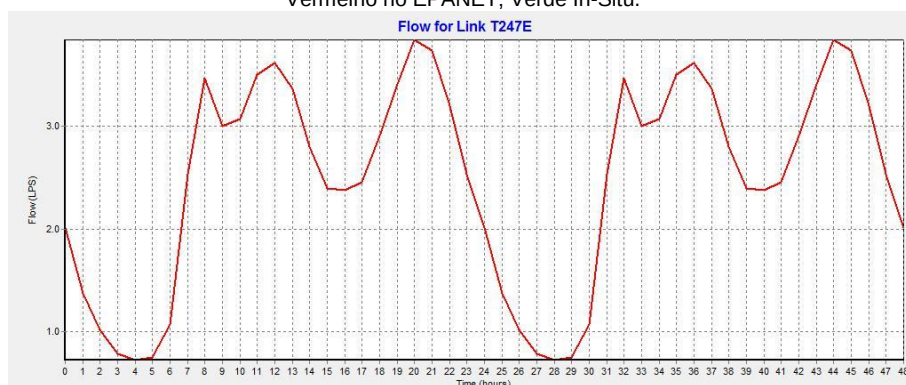


Figura 91: Registo da variação do caudal a jusante da VRP da Igreja em São Mamede do Coronado. Simulado no EPANET.

Na figura seguinte, podem ser visualizados os resultados obtidos In-Situ, marcados também a verde, para a Rua Fernando Namora. Este apresentam um valor médio de pressão de: 50.89m; um máximo médio de: 52.67m; e um mínimo médio de: 49.27m. Sendo que os desvios entre os valores observados In-Situ e no EPANET não são quase nada sentido, chegando mesmo a existirem registo coincidentes.

Esta última figura vem também contribuir e permitir afirmar-se que foi conseguida a calibração do simulador, uma vez que este, em vários locais da rede, representa e simula com muita fealdade a realidade instalada.

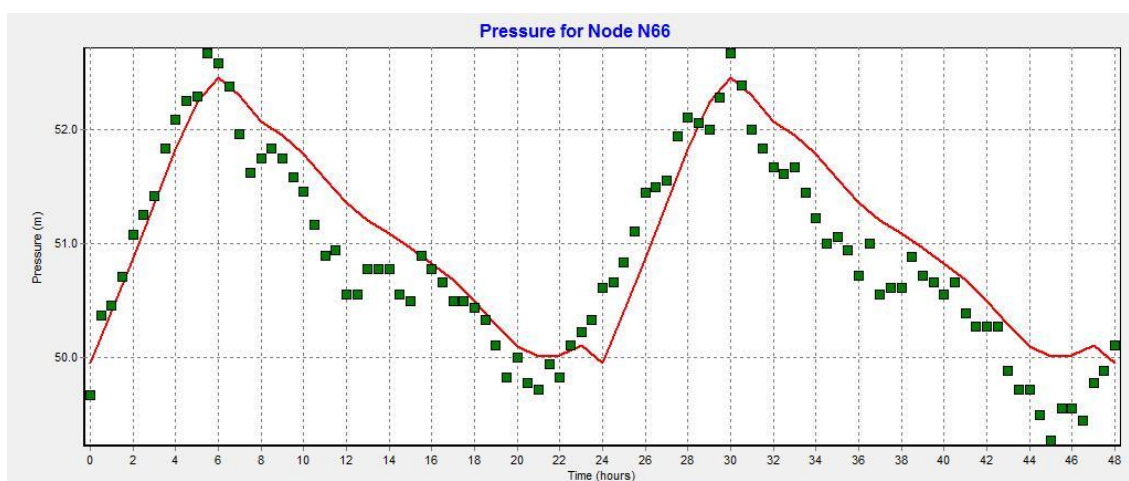


Figura 92: Registo da variação de pressão na Rua Fernando Namora. Vermelho no EPANET; Verde in-situ.

Para a criação e análise das Zonas de Gestão de Pressão (ZGP) é importante criar diferentes tipos de simulações no EPANET. Com o sistema de abastecimento de água R12 bem representado e calibrado no EPANET pode-se simular diversos cenários, provocando variação na pressão, eliminação de condutas, reestruturação da rede ligando algumas condutas, instalando novas VRP's, fazendo variar consumos e fugas através de *nós com capacidade expelir água da rede*, entre outros, de forma a procurar o ponto de equilíbrio que possibilite a distribuição de água com qualidade a menor pressão possível, com o intuito de reduzir as perdas de água, criando dessa forma ZGP.

Um completo conhecimento da rede e das suas características é deveras de máxima importância, daí se apresentam de seguida aspectos relevantes para este tipo de estudo.

14.3. Outros dados que caracterizam o R12

Para melhor compreensão e conhecimento das características do sistema de distribuição de água do R12, apresentam-se agora alguns dados globais que caracterizam o sistema em análise.

Sistema de Abastecimento de Água de S. Mamede e S. Romão do Coronado e Covelas - Sistema R12

Equipamentos Instalados

Cabeças Moveis (válvulas)	Nós	Condutas	Reservatórios	VRPs
157	297	324	1	2
Contadores	Loggers de Pressão	Marcos de Incêndio (hidrantes)	Caudalímetros/Medidores de Volume (aplicados a condutas)	
2304 (2071-rede gravítica)	3	74	1 (no reservatório)	

Características da Rede de Distribuição de Água R12

Comprimento total de condutas (m)	Diâmetros usados (mm)	Tipo de material das condutas/Rugosidade
37502.75	63/75/ 90 /110/125/140/160/200/250/315	86% PEAD; 12%PVC; 2%outros / 0.3-PEAD
Tipo de contadores	Área total de Abastecimento (m ²) *	* Dados reportados ao INSAAR
DN20 e DN15	111004 (Futuro RD) + 6937259 (R12)	

Sistema de Abastecimento de Água de S. Mamede e S. Romão do Coronado e Covelas - Sistema R12

Dados inerentes ao abastecimento adutor

Caudal médio (m ³ /mês)	Frequência de Análise Qualitativa da Água	Número médio de vezes que falham o abastecimento / ano
22080	Semanalmente (segundo PCQA)	0

Dados inerentes à rede de distribuição

Caudal médio (m ³ /mês) considerando 6 meses	Balanço Hídrico – Valor percentual médio de água facturada / água não facturada	Alterações ao R12
16650	75% / 25%	Retirar 111004 m2 de área na zona do Soeiro, equivalente a cerca de 4708 m de conduta

Apesar de não ser alvo de estudo no sistema R12 a distribuição de água em sistema pressurizado, apresenta-se de seguida imagens de um grupo electrobomba e instrumentos a si associados.



Figura 93: Sistema pressurizado do R12 (Caudalímetros; Reservatório regulador/igualizador das bombas; 3 Bombas de rotação variável).

A imagem seguinte é representativa do sistema de distribuição gravítico de água do R12, e a transmite o seu enquadramento geográfico. Representa todas as condutas, nós, reservatórios e válvulas a serem simuladas no EPANET bem como reflecte o número e tipo de habitações existentes e sua distribuição ao longo do sistema.

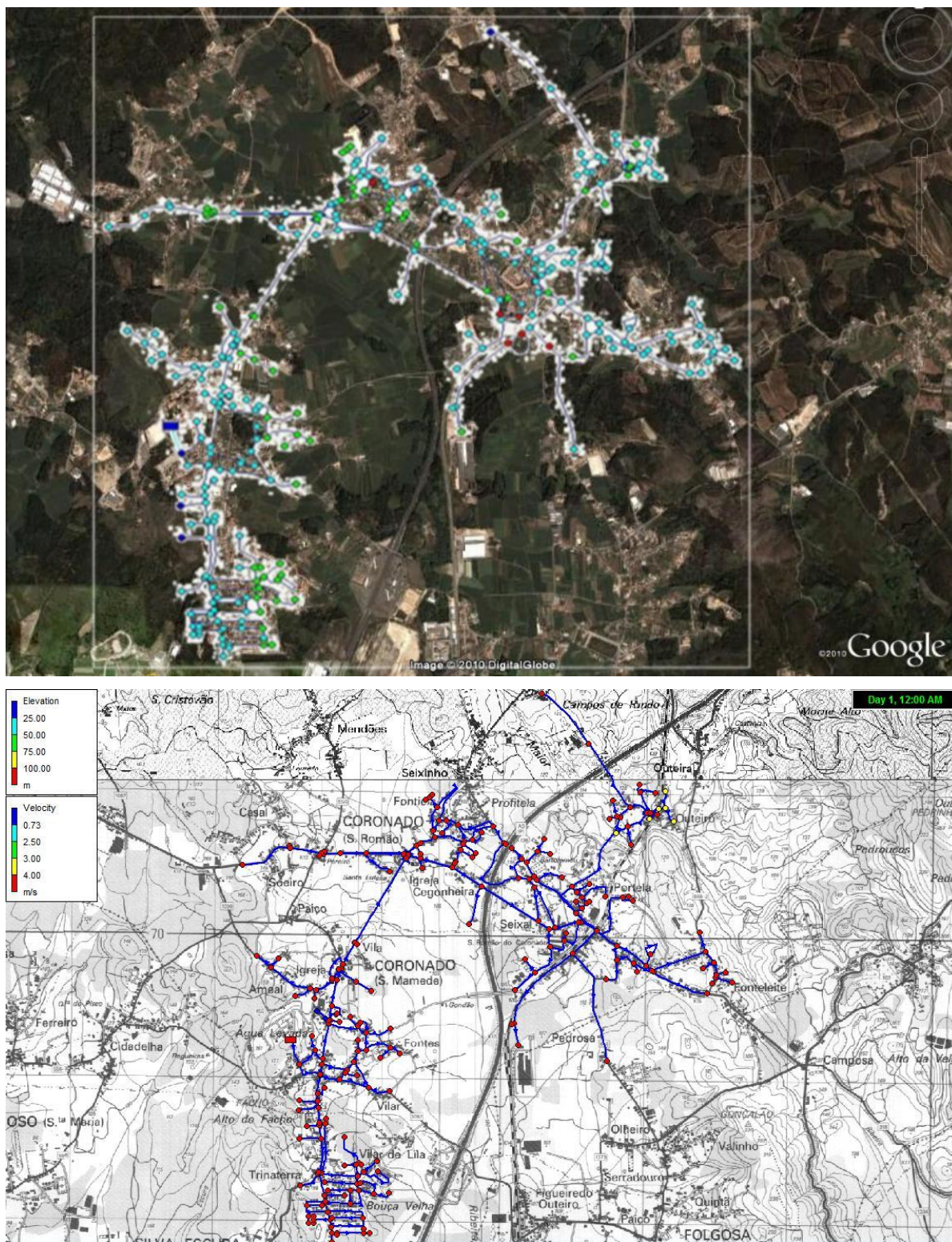


Figura 94: Imagem do Google Earth com o R12 (Coordenadas: 41°16'55.86"N -8°34'08.64"O) e representação do R12 no EPANET com imagem cartográfica de fundo. Representação da distribuição real dos aglomerados habitacionais.

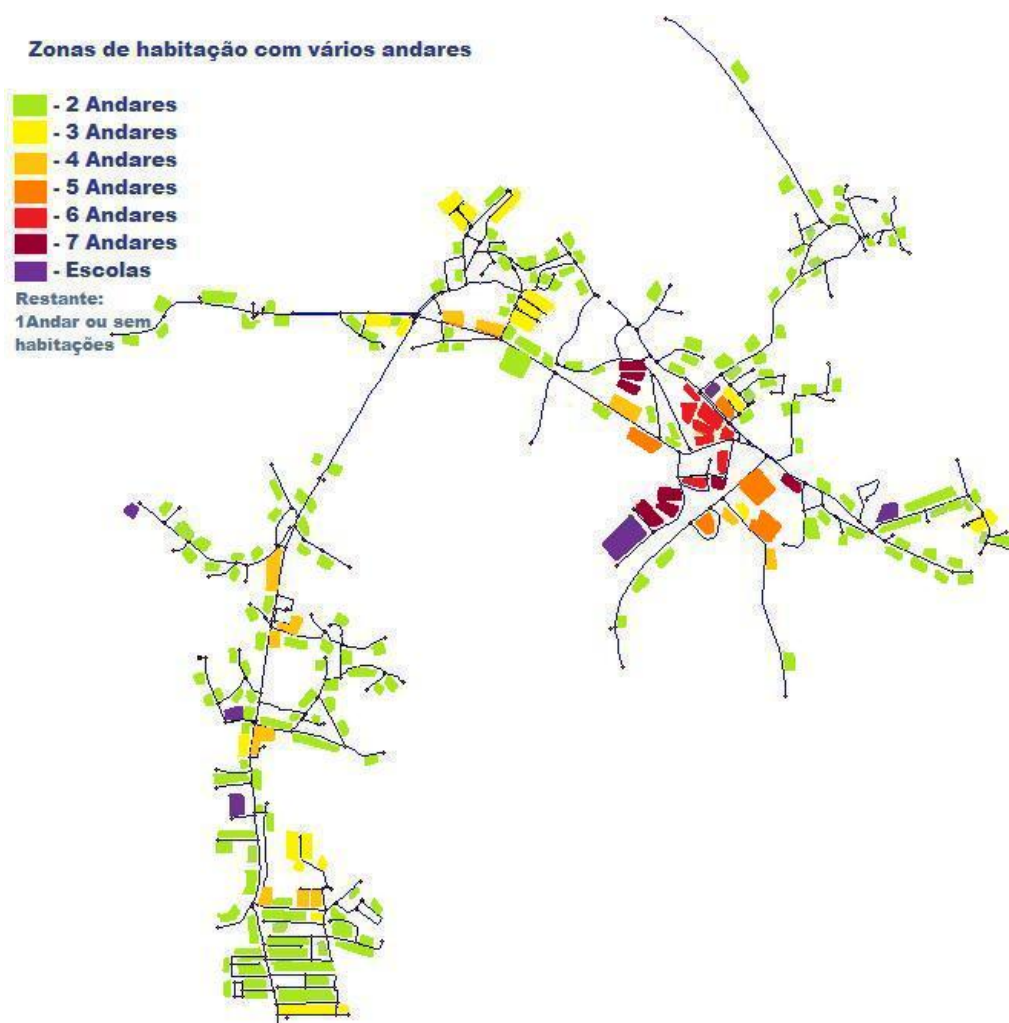


Figura 95: Representação e distribuição dos tipos de habitações e serviços (de diferentes andares) presentes no R12.

Para além da informação que o EPANET fornece com as suas simulações, existem determinados aspectos que só no terreno se conseguem denotar. Entre as várias viagens efectuadas ao terreno, na recolha de informação por S. Mamede do Coronado, S. Romão do Coronado e Covelas, no reconhecimento da realidade do sistema, procurou-se referenciar os locais onde existiam habitações de várias cêrceas, locais esses onde deverão ser garantidas condições mínimas de pressão para que a água se faça sentir com energia

(Equação de Bernoulli – equação de balanço energético)

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} \right) = J.L + \sum \left(K_L \frac{U^2}{2g} \right)$$

suficiente nos andares superiores. Para confirmar a necessidade de pressão na rede em zonas de habitações de vários andares, nos locais mais críticos, deve-se efectuar análise de medição de pressão nas habitações superiores de alguns prédios por meio de leitura de um manómetro de pressões, ou assumir que por cada andar se perder cerca de 0.4Kg/cm² (~0.4bar) de pressão e que à entrada de um andar deverá estar disponível 10m.c.a. (~1Kg ~ 1bar) mais 0,4Kg/cm² para cada andar existente).

O abaixamento global da pressão na rede, que tanto se deseja, para diminuir as perdas, poderá não permitir essa cumplicidade entre diminuição da pressão na rede e garantia que essas habitações tenham pressões mínimas satisfatórias. Contudo, caso seja compensatório, sugere-se a diminuição global da pressão na rede, diminuindo assim ao máximo as perdas derivadas às altas pressões, sem prevenir e garantir pressões superiores em locais onde existam prédios de vários andares (no R12 são reduzidas as zonas com este tipo de habitação, e ainda menor o número de locais onde a pressão ficará inferior a 2bar após criação das ZGP), valendo-se em recurso à instalação de sistemas de armazenagem e bombagem de água que garantirão o abastecimento de água em cada um desses condomínios com pressão satisfatória (1 reservatório, 1 ou 2 bomba, 1 pressostato regulado entre os 2bar e os 6 bar, 1 manómetro de pressão – estação elevatória). Estes equipamentos revelam baixos custos de aquisição e instalação tendo em conta que será largamente compensado pelos ganhos/receitas obtidas com a diminuição das perdas de água inerentes ao seu abaixamento de pressão (global). Será de ter em linha de conta que este será um investimento único e pontual que necessitará de um baixo custo de manutenção (algo que até poderá ficar ao encargo dos condomínios no acto da verbalização do contrato).

Numa outra perspectiva, o facto de se diminuir as perdas com o abaixamento da pressão irá reflectir-se num ganho monetário, mas ao mesmo tempo, esse abaixamento de pressão irá influenciar também na diminuição da quantidade de água facturada, o que poderá levar a uma perda monetária (este facto não será aplicável em todas as situações, pois só se fará sentir em escoamento directo proporcionada por exemplo por uma torneira/válvula aberta. Em casos em que a água seja direccionada para reservatórios tipo autoclismos, máquinas de lavar, cilindros, cubas, entre outros, irão recorrer às mesmas quantidades de água, não influenciando negativamente a facturação). Se esta receita do ganho monetário da recuperação das perdas surtir num saldo positivo quando ponderado com as receitas da água facturada, será viável e sustentável a aplicação destas alterações e recomendações que surgirão mais afrente. Caso contrário, um outro tipo de estudo deverá ser efectuado, e dever-se-á encontrar e procurar combater e diminuir as perdas de água existentes de uma outra forma e por um outro caminho. Sugere-se como possíveis caminhos, efectuar um controlo ainda mais activo das perdas; renovar e substituir velhas condutas e acessórios mal aplicados; aumentar a qualidade e rapidez das reparações de rupturas usando e recorrendo sempre às melhores técnicas disponíveis; implementar sistemas avançados de registo e controlo das leituras efectuadas nos contadores.

14.4. Análises sobre o sistema R12

Após obtenção e tratados todos estes dados, estes foram formatados, inseridos e tomados em linha de conta para as posteriores análises a tomar no simulador EPANET. Obteve nesta fase do trabalho o melhor ajuste possível à realidade do modelo simulador do sistema de abastecimento de água R12. Pode-se agora retirar ilações de uma análise do sistema simulado no EPANET, pois este encontra-se o mais fiel e representativo das condições presentes no terreno, sendo possível dessa forma obter simulações inspiradoras de resultados credíveis.

Procura-se agora a criação de **Zonas de Gestão de Pressão – ZGP**, e para isso começa-se por referir a necessidade da criação de Zonas de Medição e Controlo – ZMC para melhor se poder efectuar a análise do comportamento do Sistema de Distribuição de Água, no sentido de saber e poder escolher correctamente as ZGP com o intuito de baixar as pressões e consequentemente diminuir as perdas de água.

Eis uma sugestão de ZMCs que poderão ser criadas no sistema R12:

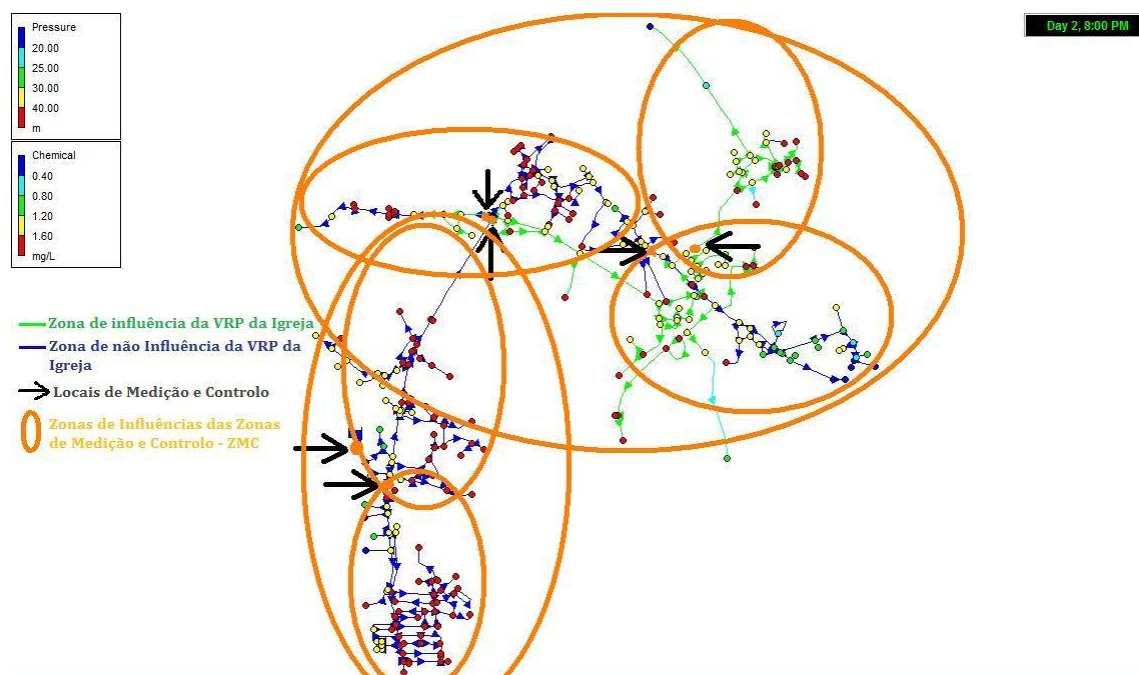


Figura 96: Sugestão e representação de ZMCs para o Sistema R12

Esta sugestão procura dividir o sistema no maior número de parcelas usando o menor número de instalação de equipamento de medição. Para isso escolheram-se locais estratégicos, que por correlação com valores obtidos de outros locais de subzonas de medição e controlo, consegue-se efectuar um balanço massa global da água e análise seccionada das pressões. Os pontos escolhidos tentam separar da

zona malhada, zonas ramificadas da rede de forma a poder ter um controlo mais apertada de zonas específicas que possuem um único ponto de entrada de água.

Infelizmente esta análise não poderá ser mais aprofundada, pois neste momento torna-se inviável monetariamente e temporalmente este estudo e sua aplicabilidade. A impossibilidade de abertura e criação de caixas de visita, a instalação de medidores de caudal (caudalímetros) ou medidores volumétricos bem como sensores de pressão sobre a conduta, torna impossível a concretização deste passo neste trabalho.

A escolha destes pontos de medição e controlo foram também influenciados pelo comportamento da rede. Este comportamento (variação de pressão e caudal) poderia ser aperfeiçoado se existissem estes dados provenientes destas ZMC sugeridas e inexistentes. Tal informação referente ao R12, seria inserida na calibração do simulador EPANET podendo surtir um sistema mais calibrado. Possivelmente poderiam ser apresentadas simulações ligeiramente diferentes das obtidas, que por sua vez poderiam levar a uma nova análise do sistema e determinação de novas ZMC e ZGP.

14.4.1. Dados recolhidos do EPANET representativos da actualidade do sistema R12

Condutas	Nó1	Nó2	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)
T75B	1	2	24.62	125
T75B2	4	5	51.89	125
T75B3	6	4	31.13	125
T75B4	2	6	27.02	125
T12B	21	22	80.02	140
T127E	23	24	126.01	75
T127B	25	23	83.37	75
T98A	N80B	N80	98.1	90
T185	N154	N152	81.92	90
T183D	32	33	34.12	90
T183C	32	34	25.2	90
T183B	30	32	87.4	90
T223A	N186B	N186A	65.94	90
T224A	N186C	N186D	310.69	90
T308A	43	44	45.72	63
T321	N262C	N262F	43.9	90
T325	N277	N272	123.22	90
...	...	...	...	...

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc 1	148.1800	0.013071	0.00	187.59	39.41
Junc 2	146.7260	0.005406	0.00	187.59	40.86
Junc 4	146.4860	0.009538	0.00	187.59	41.10
Junc 5	148.6480	0.016908	0.00	187.59	38.94
Junc 6	146.7380	0.004180	0.00	187.59	40.85
Junc 21	148.8890	0.023326	0.00	187.59	38.70
Junc 22	146.0050	0.005752	0.00	187.59	41.59
Junc 23	142.6930	0.023694	0.00	187.59	44.90
Junc 24	140.9580	0.009057	0.00	187.59	46.63
Junc 25	145.2960	0.012538	0.00	187.59	42.29
Junc N80B	135.6710	0.201817	0.01	187.59	51.92
Junc N80	131.3570	0.430217	0.03	187.59	56.23
Junc N154	135.4300	0.021255	0.00	187.56	52.13
Junc N152	124.3750	0.017005	0.00	187.56	63.19
Junc 30	131.8250	0.046247	0.01	187.56	55.74
Junc N151	119.0880	0.046723	0.01	187.56	68.48

Link ID	Length m	Diameter mm	Roughness mm	Flow LPS	Velocity m/s
Pipe T75B	24.6200	125.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T75B2	51.8900	125.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T75B3	31.1300	125.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T75B4	27.0200	125.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T12B	80.0200	140.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T127E	126.0100	75.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T127B	83.3700	75.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T98A	98.1000	90.0000	0.3000	-0.01	0.00
Pipe T185	81.9200	90.0000	0.3000	-0.15	0.02
Pipe T183D	34.1200	90.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T183C	25.2000	90.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T183B	87.4000	90.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T223A	65.9400	90.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T224A	310.6900	90.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T308A	45.7200	63.0000	0.3000	0.00	0.00
Pipe T321	43.9000	90.0000	0.3000	0.00	0.00

Figura 97: Tabelas de nós e troços (seria possível apresentação esquemática da rede com a identificação e valores atribuídos aos nós e condutas. Essas imagens não são aqui apresentadas, pois dada a concentração e elevada quantidade de informação, torna-se ilegível e perceptível essa informação.

14.4.2. Cenário Actual - Para um consumo médio de 25 m³/h

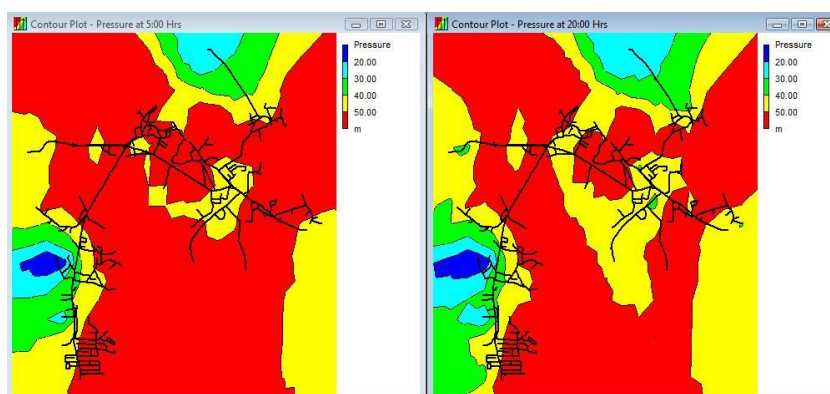


Figura 98: Para consumo médio actual: Apresentação de gráficos das isolinhas – distribuição das pressões às 5h e às 20h respectivamente.

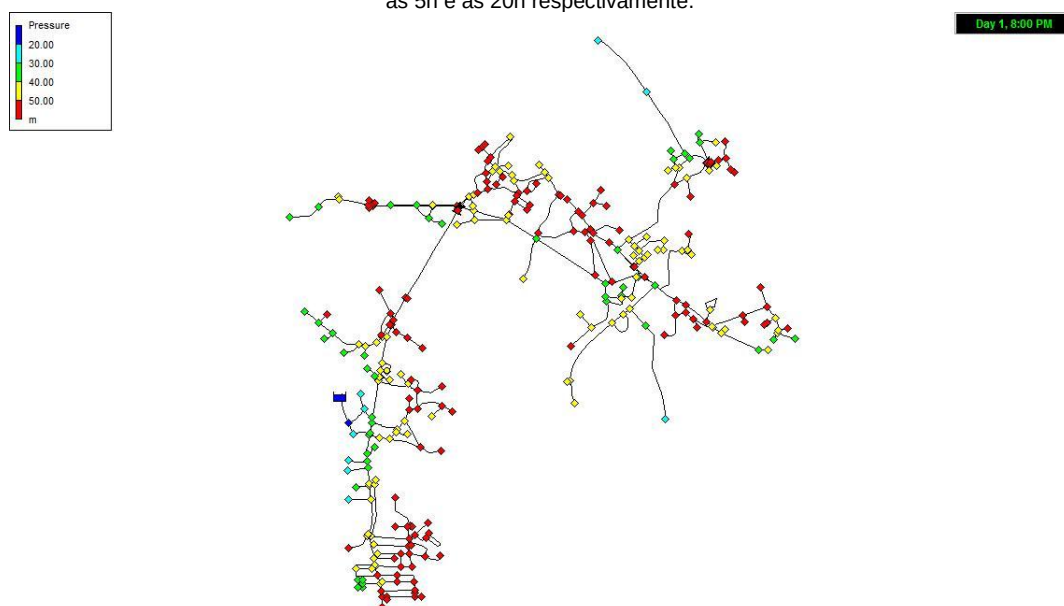


Figura 99: Para consumo actual médio: Comportamento da pressão na rede, na hora de maior consumo (20h).

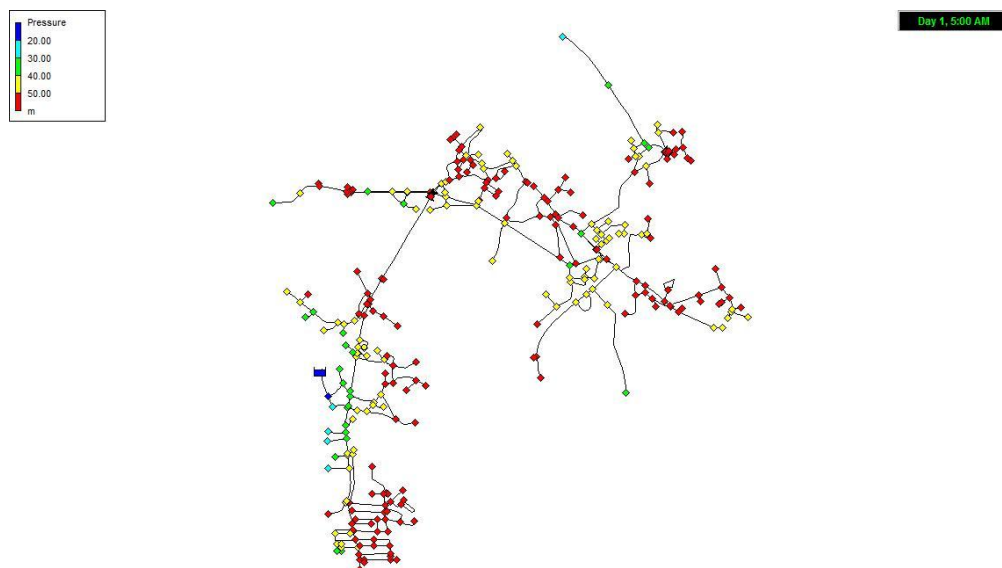


Figura 100: Para consumo médio actual: Comportamento da pressão na rede, na hora de menor consumo (5h).

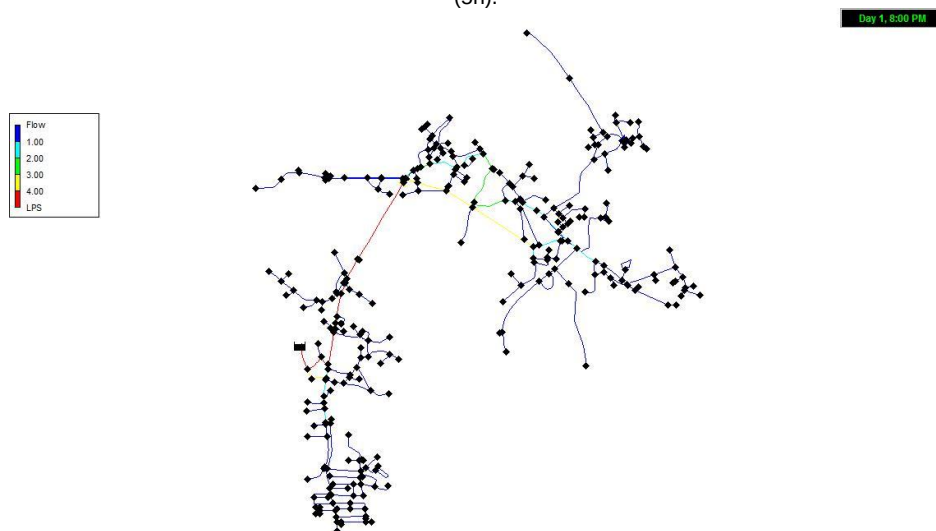


Figura 101: Para consumo médio actual: Comportamento do caudal de abastecimento às 20h.

14.4.3. Cenário Actual – Para um consumo actual máximo de $110 \text{ m}^3/\text{h}$

Para simular cenários com consumos diferentes deve ser alterado no EPANET o seu 'Demand Multiplier', e neste caso o valor a introduzir é 1.528

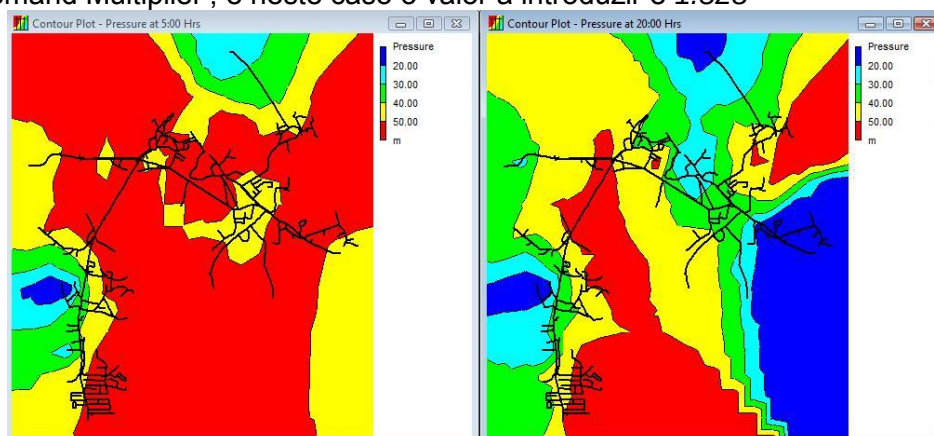
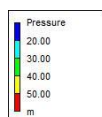


Figura 102: Para consumo Actual máximo: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente.



Day 1, 8:00 PM

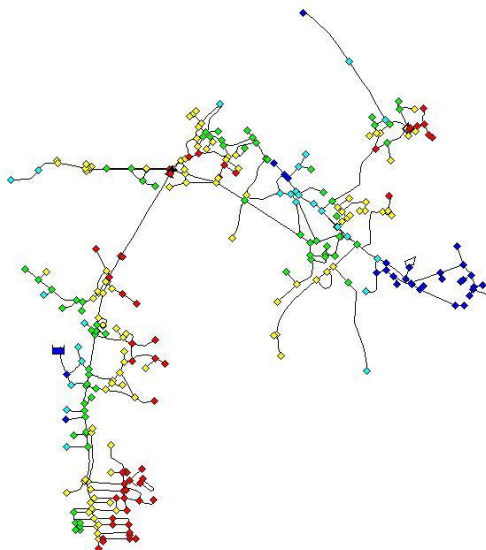
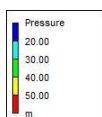


Figura 103: Para consumo Actual máximo: Comportamento da pressão na rede na hora de maior consumo (20h).



Day 1, 5:00 AM

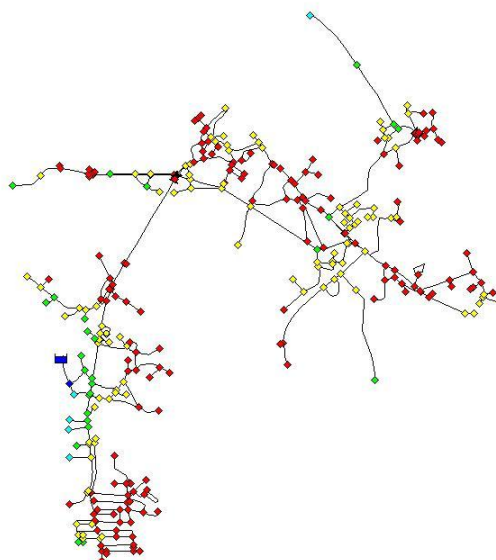
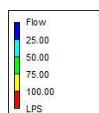


Figura 104: Para consumo Actual máximo: Comportamento da pressão na rede na hora de menor consumo (5h).



Day 1, 8:00 PM

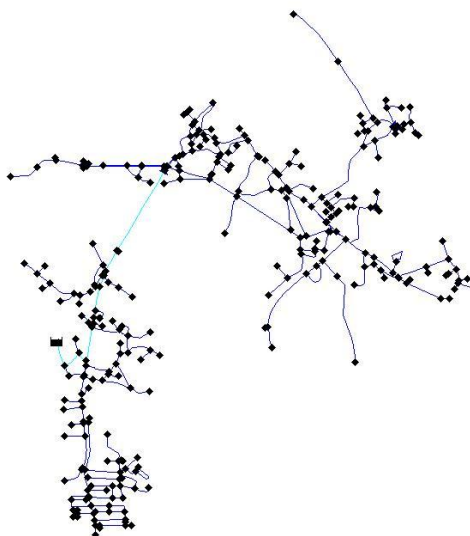


Figura 105: Para consumo Actual máximo: Comportamento do caudal de abastecimento às 20h.

De referir que na situação actual, com consumos médios, o comportamento da rede no que respeita à pressão possui zonas de elevada pressão que serão alvo de estudo e criação de ZGP no sentido de promover o seu abaixamento e consequente diminuição de fugas.

Na análise que se apresentou seguidamente, é representativa de uma situação pontual e extrema de consumo máximo ($110\text{m}^3/\text{h} - 30.56\text{L/s}$). Constatase que existe uma zona com pressões muito baixas (Rua Carvoeiras), chegando mesmo, na hora de maior consumo, um dos nós a atingir uma pressão negativa. Isto poderá ser devido a uma perda de carga hidráulica considerável proporcionada por um consumo base também elevado num dos nós existentes a montante. Esta é uma situação preocupante, contudo não alarmante, uma vez que este consumo máximo foi atingido uma única vez no ano, sendo o consumo médio máximo cerca de $70\text{m}^3/\text{h} - 20\text{L/s}$, o que já não provoca estas pressões negativas, contudo as pressões baixas (próximas dos 2bar) mantêm-se nessa mesma zona da Rua Carvoeiras.

14.4.4. Cenário Futuro - Para um consumo médio de $140\text{m}^3/\text{dia}$

Para simular cenários com consumos diferentes deve ser alterado no EPANET o seu 'Demand Multiplier', e neste caso o valor a introduzir é 1.9445

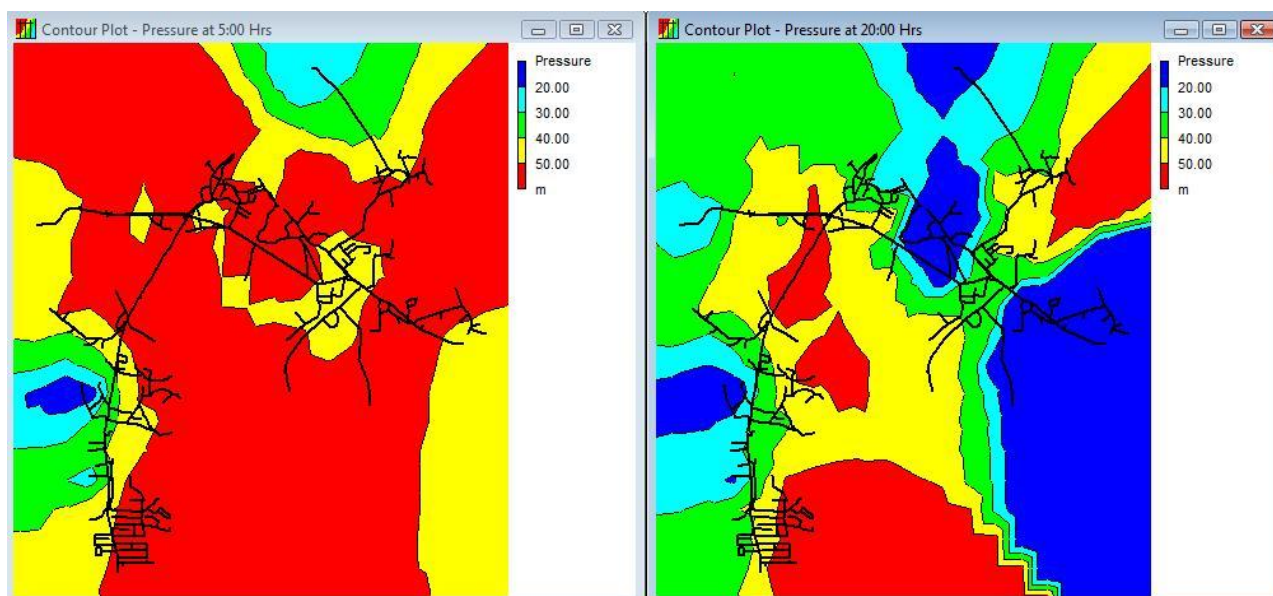
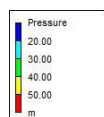


Figura 106: Para consumo Futuro médio: Apresento gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente.



Day 1, 8:00 PM

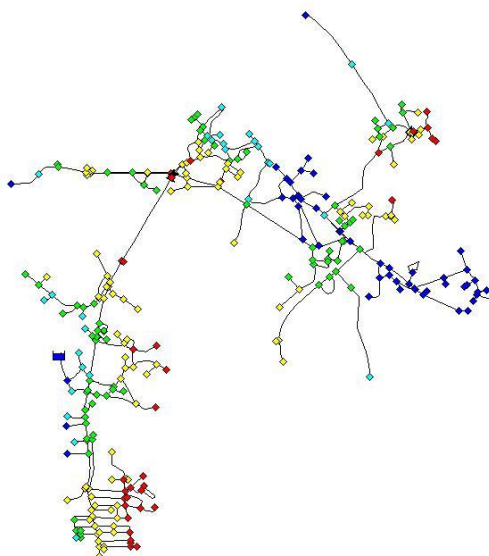
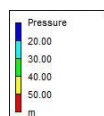


Figura 107: Para consumo Futuro médio: Comportamento da pressão na rede na hora de maior consumo (20h),



Day 1, 5:00 AM

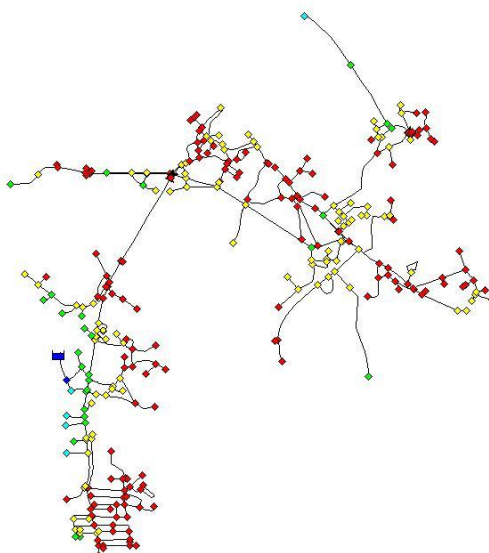
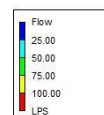


Figura 108: Para consumo Futuro médio: Comportamento da pressão na rede na hora de menor consumo (5h).



Day 1, 8:00 PM

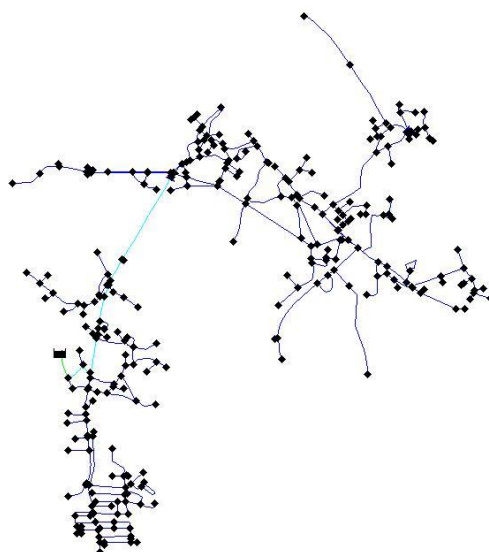


Figura 109: Para consumo Futuro médio: Comportamento do caudal de abastecimento às 20h.

Estimou-se um aumento da população, mantendo o mesmo número de ramais, a mesma distribuição de condutas, os mesmos equipamentos instalados e o mesmo comportamento padrão de consumo. Dessa forma denota-se exclusivamente um aumento no consumo, admite-se assim um acréscimo ao valor de caudal médio de $25\text{m}^3/\text{h}$ para os $140\text{m}^3/\text{h} - 38.89\text{L/s}$.

Ao correr esta simulação, consegue-se analisar que nas horas de menor consumo (5h) as pressões existentes na rede são benéficas para a diminuição das perdas de água (sem grande variação comparadas ao cenário médio e/ou máximo actual). Com este cenário futuro, seria necessária também a criação de ZGP, pois estão também presentes zonas com pressões elevadas que poderão ser passíveis de um abaixamento. (abaixamento de 1bar já se traduz e produz efeitos palpáveis na diminuição global das perdas).

Por outro lado, nas horas de maior consumo, denota-se uma variação muito grande da pressão, e metade da zona de São Romão do Coronado juntamente com a zona de Covelas ficam com pressões muito baixas, chegando mesmo a ficarem negativas. Pode-se concluir que para uma possível aumento do consumo de água no R12, desta ordem de grandeza, irá exigir alterações no traçado e/ou no número e tipo de equipamentos instalados actualmente no R12.

Neste cenário futuro, sugere-se uma intervenção muito pequena, que se resume a criar uma ligação entre o nó N219 e o nó N167A com uma conduta de cerca de 48m, um diâmetro de 110mm em PEAD. Essa conduta, assinalada na figura seguinte apresentada à direita com um círculo roxo (mais pequeno), irá permitir subir as pressões, deixando unicamente a zona da Rua Carvoeiras (assinalada na mesma figura com o círculo maior) com pressões mais baixas (mas não negativas, cerca de 0.5bar). A forma de solucionar esta rua, poderá passar por liga-la a um sistema vizinho que irá ser implementado, o RD. Se essa hipótese não for concretizável, outras análises deverão ser equacionadas, até a possibilidade de instalar uma pequena estação elevatória e nas zonas de maior pressão uma possível aplicação de VRP's, ou a alteração do setting das VRP's já existentes, ou mesmo a eliminação de alguma conduta num ponto estratégico.

Esta análise não será efectuada sobre este cenário futuro de um consumo médio de $140\text{m}^3/\text{h}$, pois análises neste âmbito serão efectuadas adiante sobre o cenário actual. Possivelmente, as alterações encontradas poderão ser aplicadas e proporcionaram um comportamento diferente a esta simulação agora gerada.

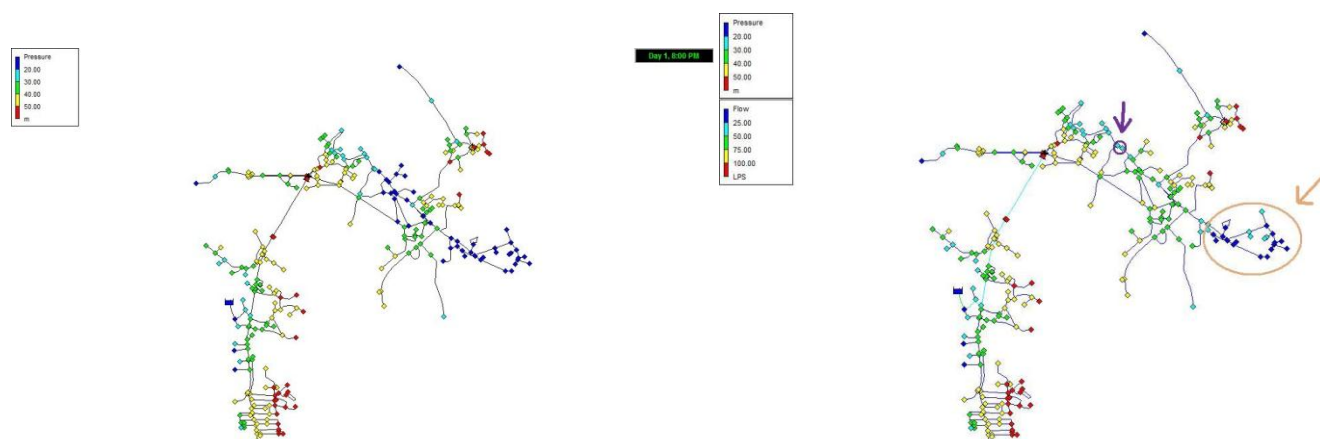


Figura 110: Para consumo Futuro médio: À esquerda apresenta-se o comportamento da pressão na rede na hora de maior consumo (20h); à direita uma sugestão de correcção que possibilite o aumento das pressões.

14.4.5. Cenário Actual – Para um consumo médio de 25 m³/dia

Para simular cenários com consumos diferentes deve ser alterado no EPANET o seu 'Demand Multiplier', e neste caso o valor a introduzir é 0.300249148, pois o EPANET está com um caudal de base de 70m³/h ~ 20L/s.

As perdas de carga existentes na conduta são um bom auxiliar na análise do comportamento da variação da pressão, poderá ser um dos indicativos que ajude a justificar uma possível variação mais acentuada na pressão. A perda de carga é fortemente influenciada pela diferença de cotas (desnível) que se presenciam entre os pontos em análise. O consumo base distribuído pelos nós terá também a sua influência sobre a variação na perda de carga. No EPANET, a perda de carga é medida em m/Km.

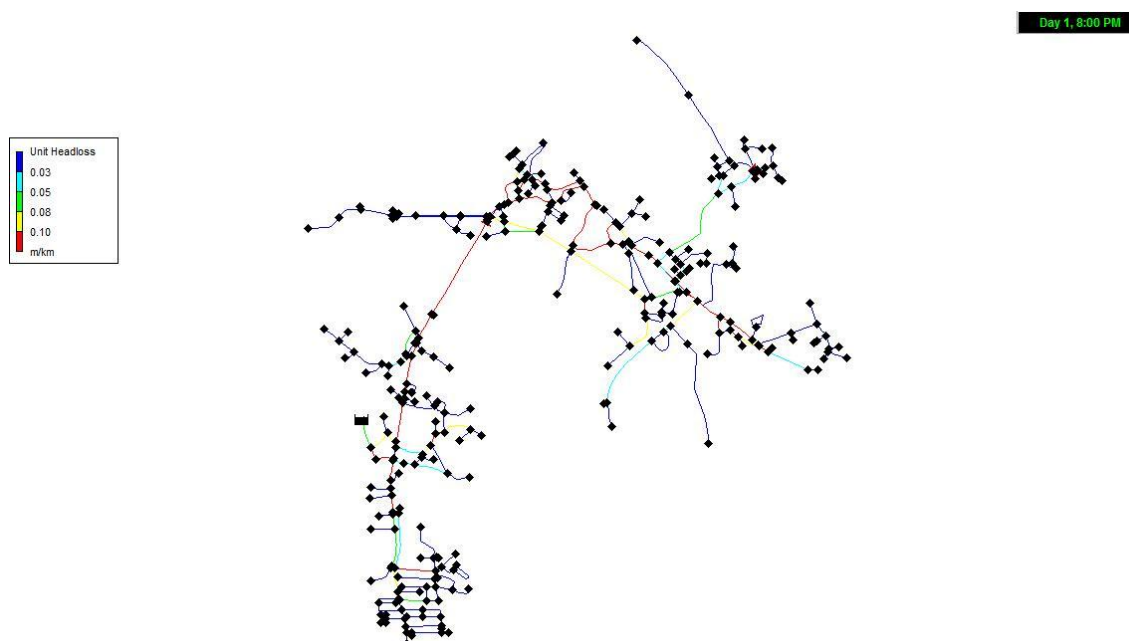


Figura 111: Para consumo actual médio: Perdas de carga nas condutas (20h).

14.4.6. Cenário Actual – Para um consumo máximo de 110 m³/dia

Na figura seguinte constata-se que as perdas de carga são um pouco superiores na Rua Carvoerias, daí se reflectirem as pressões negativas anteriormente referidas.

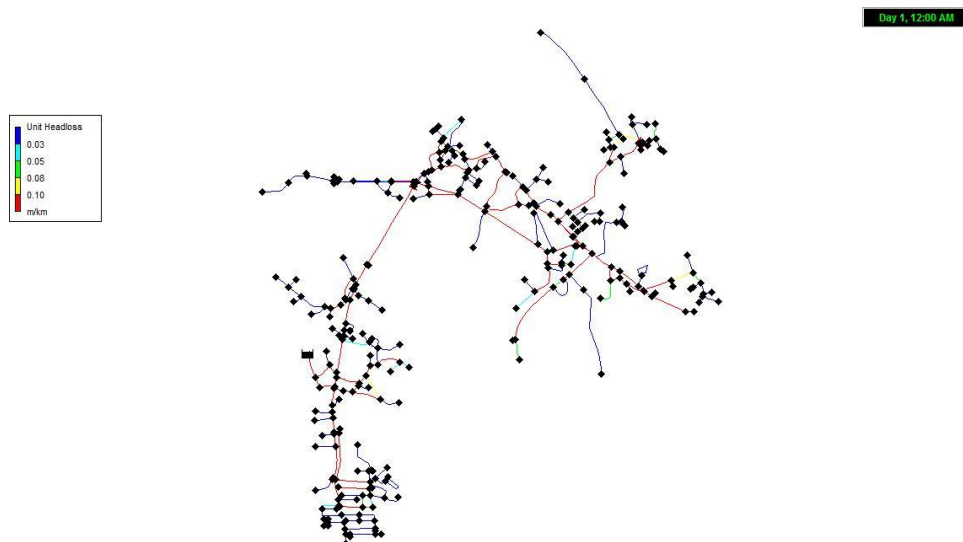


Figura 112: Para consumo actual máximo: Perdas de carga nas condutas (20h).

14.4.7. Cenário Futuro – Para um consumo médio de 140 m³/dia

A figura seguinte, é em tudo idêntica à figura anterior, o que as distingue será um aumento da perda de carga que se estende da zona da Carvoeira para a Zona de São Romão Coronado. Da mesma forma essa perda de carga acentuada reflecte o abaixamento da pressão chegando mesmo a atingir valores negativos, o que impossibilitará a distribuição de água. Neste cenário futuro serão necessárias intervenções na rede de distribuição de água de forma a colmatar e corrigir estas pressões negativas.

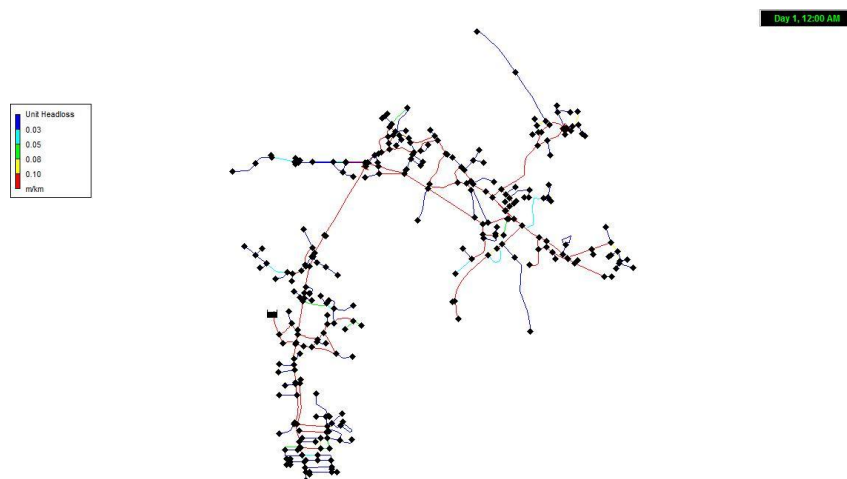


Figura 113: Para consumo Futuro médio: Perdas de carga nas condutas (20h).

Apresentados estes 3 cenários, certifica-se que o EPANET é uma boa ferramenta como simulador e controlador activo das perdas, ajuda a recuperar nas perdas recuperáveis e tentar detectar as invisíveis, ajuda na gestão de pressão da rede, contribui para um controlo activo das perdas, contribui para uma intervenção de qualidade e rapidez das reparações, renovação e substituição de condutas, bem como para possíveis alterações, ampliações, remodelações e intervenções numa rede de distribuição de água.

14.5. Simulações propostas de alteração à rede no sentido de provocar abaixamento da pressão

Como já foi referido, foram criadas as ZMC e ZGP, onde um dos principais objectivos da criação destas zonas estratégicas passa por monitorizar e diminuir as pressões presentes na rede de abastecimento de água no sentido de diminuir as fugas. Para tal objectivo ser atingível, poderá ser necessário intervir sobre a rede de distribuição de água instalando VRP's, modificando os diâmetros de condutas, criando novas ligações entre nós de diferentes condutas, eliminar algumas condutas, e mesmo alterando o traçado original cadastrado.

A simulação efectuada no EPANET permite agora detectar locais espaciais de consumidores afectados por possíveis suspensões de abastecimento, permite identificar grandes consumidores (escolas, hospitais, entre outros), desvendar consumo de uma determinada área, atribuir os consumos a cada nó do sistema, cálculo de indicadores de desempenho da própria rede, controlar a pressão, entre outros.

Como já foi referido devem ser estudadas e seleccionadas Zonas de Gestão de Pressão – ZGP, pois benefícios resultantes da sua criação traduzem-se numa redução de caudal de perdas, redução de consumo em dispositivos sujeitos à pressão do sistema, estabilidade da pressão na rede de distribuição, protecção do estado estrutural da rede e redução do número de novas roturas, garantia de caudais de incêndio, entre outros.

Depois de estabelecidas as ZGP existem a capacidade de redução do impacto das flutuações significativas da pressão devidas ao padrão de consumo diário, redução da ocorrência de pressões fora dos limites admissíveis, diminuição do potencial enfraquecimento das infra-estruturas, entre outras.

Para a criação das ZGP, para além das pressões existentes devem ser consideradas as topografias do terreno, a posição e número de reservatórios, os

limites das ZGP devem estar relacionados com os limites das ZMC, a disposição/traçado das condutas, entre outros.

14.5.1. Cenário 1

Apresenta-se agora o resultado de alterações efectuadas ao sistema de distribuição actual/original. Este será denominado como o Cenário 1, onde se procurou provocar o abaixamento da pressão global unicamente com intervenção da aplicação de VRP's no sistema de distribuição R12. Desta forma não haverá qualquer tipo de alteração ao traçado/distribuição original das condutas. Como no Cenário 2 será apresentado uma possibilidade mista (mais equilibrada com recurso a VRP's e novas ligações bem como criação de seccionamentos com recurso ao fecho válvulas) poder-se-á, apresenta-se ainda o cenário 3 que tem em conta uma zona sensível às baixas pressões. Futuramente, após análise de custos, poder-se-á definir qual dos três cenários aqui apresentados será aquele mais recomendado, consoante os resultados produzidos.

No decorrer das alterações, foram sempre tidos em conta os limites mínimos de pressão, bem como o número e tipo de habitação ligada a cada conduta (**Figuras 94 e 95**). Posto isto apresenta-se na seguinte figura 6 ZGP, onde os círculos identificam as VRP's adicionadas. Para reduzir a pressão as VRP's foram calibradas nos seguintes settings: VRP(identificação)-pressão (m) na hora de menor consumo/pressão (m) na hora de maior consumo → VRP1-35/32; VRP2-25/20; VRP3-25/20; VRP5-20/18; VRP8-20/18; VRPT247E-38/35; VRPT318A6-20/18. Existiu um único fecho de válvula neste cenário, junto às bombas de gasolina existentes em São Mamede do Coronado (entre a VRP3 e a VRP8).

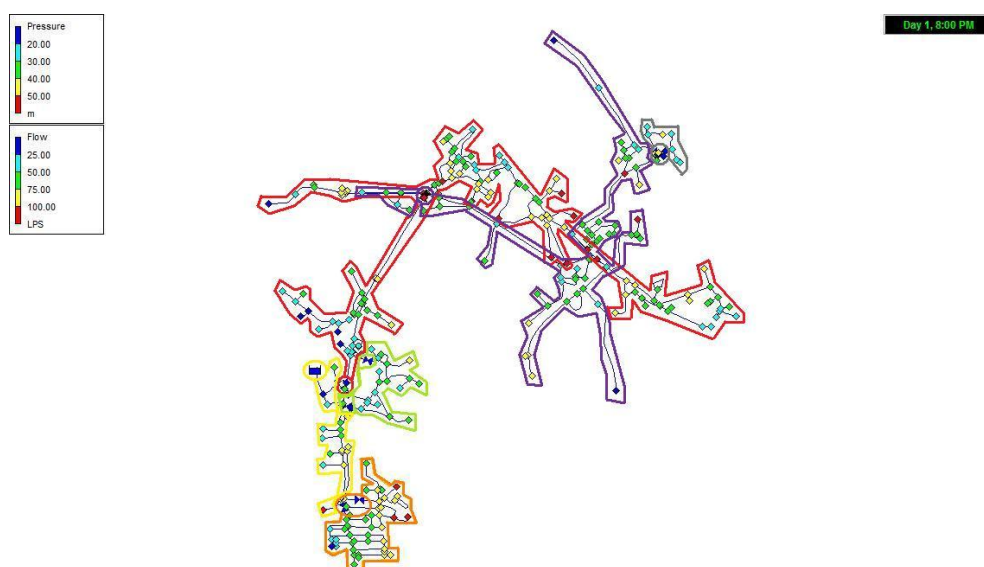


Figura 114: Cenário 1 com criação de ZGP no R12 por análise do simulador EPANET.

Na figura seguinte apresenta-se a distribuição do caudal e da pressão, na simulação de Cenário 1, para as 20h, hora de maior consumo e menor pressão presente no sistema R12 de distribuição de água.

Conseguiu-se modelar o sistema de tal forma em que a pressão mínima mais presente em toda a rede ronda valores entre os 20m e os 30m, havendo também uma quantidade considerável de pontos com pressão entre os 30 e os 40m. Os locais onde se encontram pressões entre os 30 e os 40m são zonas onde as habitações possuem entre 2 a 4 andares (**Figuras 94 e 95**). Ainda assim surgem algumas zonas (poucas) com pressão ligeiramente superiores a 50m, contudo, para se conseguir satisfazer todas as necessidades de pressão mínima na restante zonas, é impossível baixar mais a pressão de forma a evitar estes pontos ligeiramente superiores aos 50m de pressão.

Contacta-se alguns pontos ligeiramente inferiores a 20m (legislação refere mínimo obrigatório $10\text{m} + 0.4\text{m}$ à entrada de cada edifício, contudo por política da INDAQUA, esta pressão não deverá ser inferior aos 20m, isto para que os clientes possuam um abastecimento de água com uma pressão mínima agradável e aceitável).

De referir que os pontos abaixo dos 20m de pressão mais a sul rondam os 18m, imediatamente a seguir mais para norte, os pontos a azul-escuro (20m) são limites do sistema e fronteiros com o sistema pressurizado. O ponto mais a Norte (fornece água a uma industria) e o mais a Oeste pertencem a condutas que poderão, num futuro próximo, ser ligados a um sistema com pressões mais elevadas que irá ser implementado, o Rd. Dessa forma o problema de ter pressão ligeiramente inferior aos 20m na hora de maior consumo será solucionado.

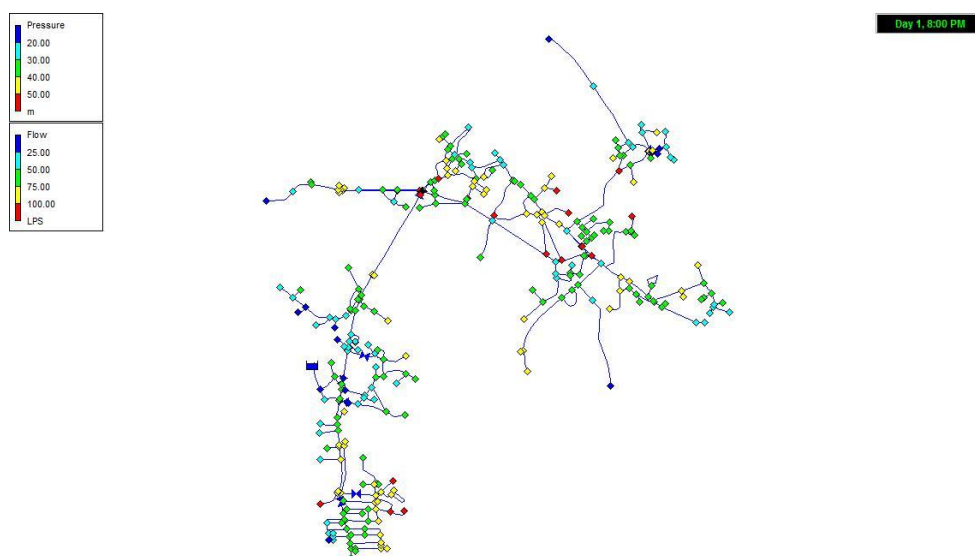


Figura 115: Cenário 1 em hora de maior consumo e menor pressão presente na rede (20h).

Apresenta-se agora a simulação no instante de tempo de menor consumo (horas nocturnas), onde as pressões são mais elevadas e quando acontecem as maiores percentagens de perdas de água, neste caso às 5h.

Denota-se que não existem grandes variações da pressão entre horas de menor consumo e de maior consumo, isto devido à implementação e regulação das 7 VRP's. As pressões mais elevadas caracterizam-se por pretenderem a uma ordem de grandeza de cerca de 40m e 50m, apesar de ainda se observar um número considerável de pressões da ordem de 30m a 40m. São assim também respeitados os limites máximos de pressão em sistemas de distribuição de água. Como é óbvio, se no período temporal de maior consumo (20h) se garantia as pressões mínimas de abastecimento mesmo nas habitações mais altas, às 5h está mais que conseguida essa garantia.

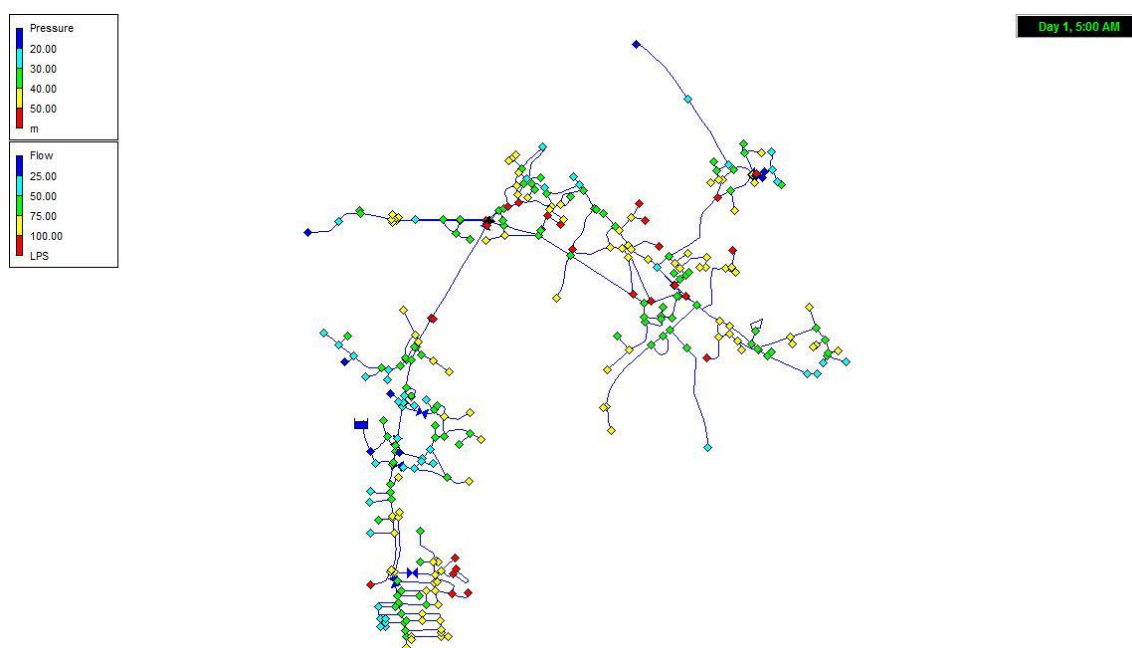


Figura 116: Cenário 1 em hora de menor consumo e maior pressão presente na rede (5h).

Na seguinte figura representam-se as perdas de carga que se apresentam em m/Km. Estes foram indicadores que ajudaram a analisar e a compreender de que forma a pressão diminuía. Apresenta-se as perdas de carga às 20h, pois é o período de maior consumo e onde se fazem sentir mais estas perdas de carga, este será o cenário mais crítico.

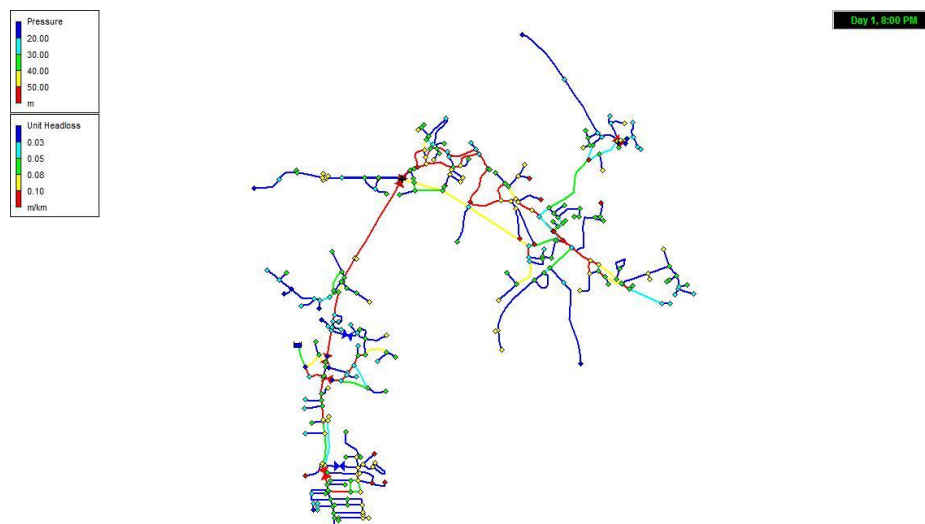


Figura 117: Perdas de carga nas condutas (20h) para o Cenário 1.

Na figura seguinte pode-se ter uma visão global da distribuição das pressões, à esquerda às 5h e à direita às 20h.

Para conseguir baixar mais as pressões, implicaria a presença de pressões inferiores a 20m (azul-escuro) em determinadas zonas do R12. Uma dessas zonas poderá ser abrangida pelo futuro sistema RD, e a outra zona poderia ser acrescentada ao sistema pressurizado do R12. Contudo, não parece possível um abaixamento maior, pois não se garantiriam as condições de pressão mínima em algumas das habitações pois estas possuem vários andares. Este entrave poderia ser resolvido, como já referido neste trabalho, com a instalação de pequenas estações elevatórias nessas habitações.

Mesmo assim, comparando o ganho no abaixamento de pressão com a situação actual instalada, representada na **figura 98**, pode-se constatar um abaixamento médio de cerca de 15m a 20m (1.5bar a 2bar), que serão consequência de uma diminuição considerável nas perdas. Usando uma análise dos caudais apresentados no EPANET, obtém-se uma recuperação volumétrica média horária de $1,023m^3$, e de $0.972m^3$ na hora de menor consumo.

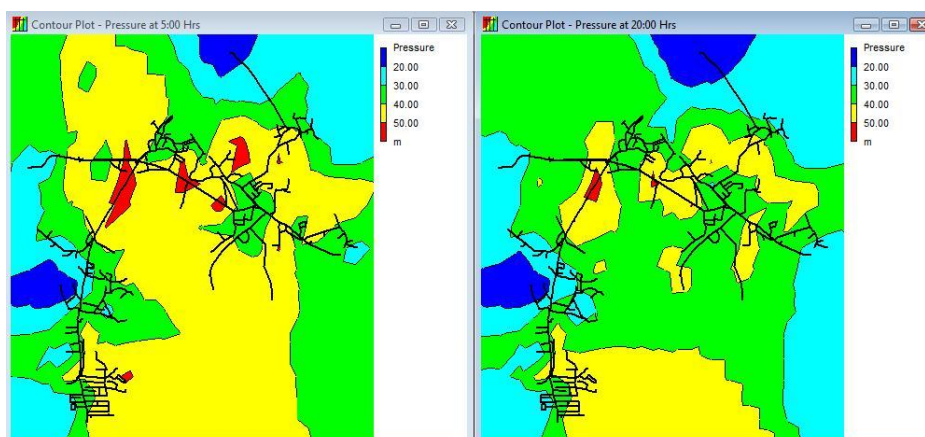


Figura 118: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente para o cenário 1.

14.5.2. Cenário 2

Procurou-se criar uma outra simulação que não envolvesse a aplicação de um número tão elevado de VRP's, pois estas exigem uma manutenção com alguma frequência, e por vezes são difíceis de calibrar e manter o seu comportamento constante.

Daí, neste Cenário 2, ter-se intervencionado na eliminação de condutas, na aplicação de novas condutas, no fecho de válvulas e por fim aplicar algumas VRP's, pois são indispensáveis para provocar abaixamento consideráveis na pressão.

O seccionamento da rede por fecho de válvulas é uma grande vantagem, pois permite ter zonas bem definidas e delimitadas. Será uma vantagem nos procedimentos a tomar em step-testings, será uma vantagem para criação das ZMC, contudo possui um inconveniente que corresponde à situação de um possível corte de água (avaria, manutenção, reparação, fuga) nessa zona bem definida, e seccionada com uma única entrada de água. Sendo-lhe fechada essa entrada de água toda a zona ficará sem abastecimento durante as acções de intervenção, enquanto no cenário anterior normalmente, fechando uma das entradas da zona seccionada, existe sempre uma outra entrada de água nessa malha. Com estas alterações tornaram-se zonas malhadas em zonas ramificadas.

Assinala-se agora as alterações efectuadas em condutas. Conduta submetida a fecho de válvulas (vermelho), conduta eliminada (azul), a criação de novas ligação de condutas (roxo), e a VRP's - Válvulas redutoras de Pressão instaladas (castanho).

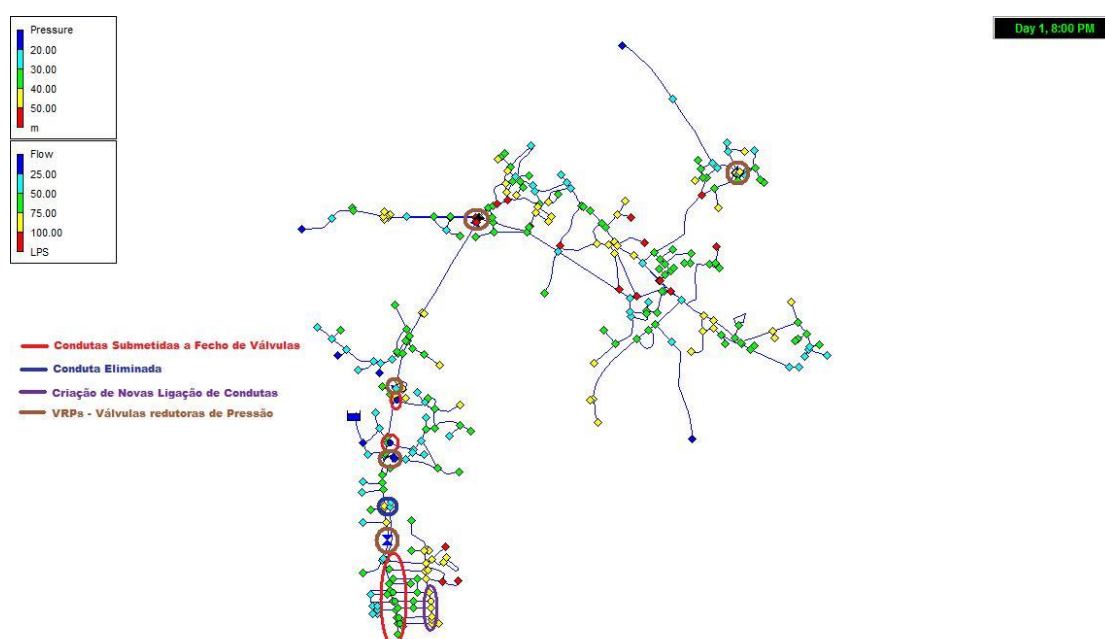


Figura 119: Representação das alterações efectuadas no R12 e simuladas no EPANET – Cenário 2.

Apresentam-se de seguida as ZGP criadas com as alterações sugeridas no Cenário 2. Desta feita criaram-se 6 ZGP, em tudo muito semelhantes às apresentadas no Cenário 1. Outras alterações das quais surgiam ZGP totalmente diferentes das já apresentadas, quando simuladas no EPANET, geravam pressões negativas ou pressões muito inferiores aos limites aceitáveis. A forma como se apresenta o ordenamento das ruas onde se encontra o R12, criou pontos estratégicos neste sistema de distribuição de água, o que leva a que estes sejam eleitos em relações a outros para se efectuarem as análises e intervenções. As alterações aplicadas directamente nesses pontos afectam de uma só vez grande parte da rede de distribuição. Assim se justifica o facto de as ZGP do Cenário 1 serem idênticas às do Cenário 2 e qualquer outro cenário que se possa criar.

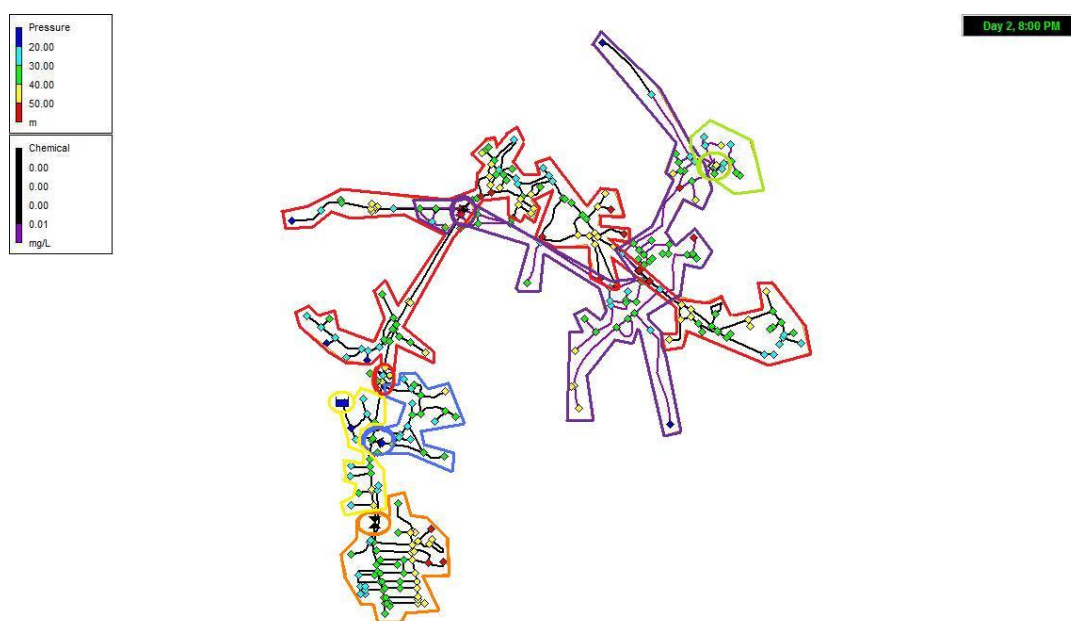


Figura 120: Cenário 2 com criação de ZGP no R12 por análise do simulador EPANET.

A seguinte figura mostra a pressão presente no R12 após alterações sugeridas no Cenário 2. Como é pretendido e objectivo deste trabalho, comparando a figura seguinte com a **Figura 99**, que representa a situação actual às 20h, denota-se um forte abaixamento da pressão. Comparando da mesma forma a seguinte figura (Cenário 2) com a **Figura 115** (Cenário 1), constata-se que desta forma não existe presença de tantos pontos com pressões ligeiramente inferiores aos 20m. Se este for o Cenário mais optimista, poderá não haver a necessidade de ligar qualquer parte do R12 ao RD.

As pressões mínimas presentes são ligeiramente superiores (proporciona uma facturação ligeiramente superior ao Cenário 1), contudo reduzidas consideravelmente para provocar forte impacte na diminuição de perdas pelas fugas.

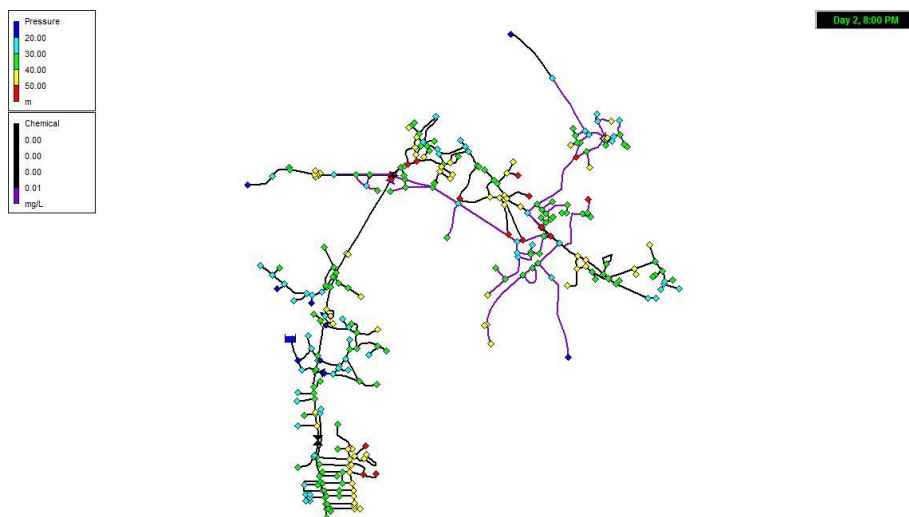


Figura 121: Cenário 2 em hora de maior consumo e menor pressão presente na rede (20h).

Como seria de esperar, nas horas de menor consumo (5h), as pressões são ligeiramente superiores, contudo com variações reduzidas devido à implementação e regulação das pressões por acção de algumas VRP's distribuídas ao longo de toda a rede.

As pressões máximas encontram-se entre os 30m e 50m e as mínimas entre os 20m e 30m. Em todas as habitações é garantida a pressão dentro dos seus limites aceitáveis. Comparando a figura seguinte com a **Figura 116** (Cenário 1), não se notam grandes variações.

Quer esta imagem quer a anterior foram geradas às 5h e às 20h mas do segundo dia (no Cenário 2), isto porque também se simula a reacção química nas condutas afectadas pela VRP da Igreja (uma das VRP's mais influentes dada a sua localização). O intuito de criar um nó a jusante da VRP da Igreja onde se injecta o reagente tem como por objectivo funcionar como um “marcador” para poder identificar e visualizar melhor as condutas afectadas pela VRP em questão. Corre-se o simulador até ao dia seguinte para proporcionar tempo suficiente ao reagente para reagir com as condutas e estas surgirem com a cor diferente do “marcador” (cor violeta).

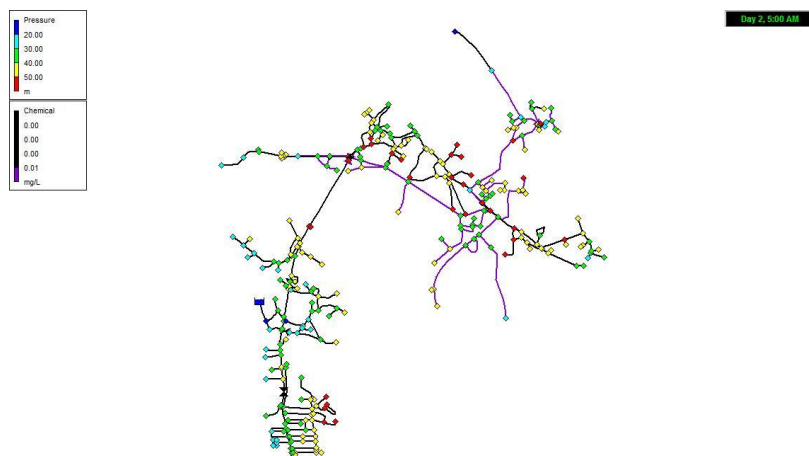


Figura 122: Cenário 2 em hora de menor consumo e maior pressão presente na rede (5h).

A figura seguinte mostra as perdas de carga no Cenário 2. Que em tudo se exprimem da mesma forma que as do Cenário 1.

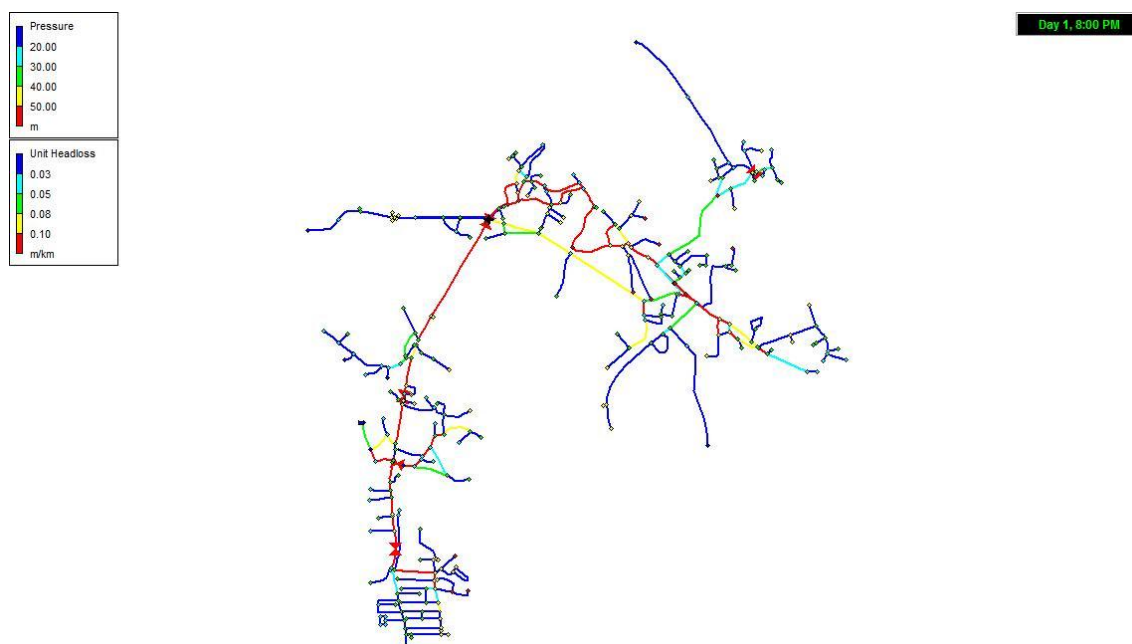


Figura 123: Perdas de carga nas condutas (20h) para o Cenário 2.

Na figura seguinte pode-se ter uma visão global da distribuição das pressões, à esquerda às 5h e à direita às 20h.

Da mesma forma como sucedia no Cenário 1, para conseguir baixar mais as pressões, implicaria a presença de pressões inferiores a 20m (azul-escuro) em determinadas zonas do R12. Não é possível um abaixamento maior, pois não se garantiriam as condições de pressão mínima em algumas das habitações pois estas possuem vários andares (**Figuras 94 e 95**). Este entrave poderia ser resolvido, como já referido neste trabalho, com a instalação de pequenas estações elevatórias nessas habitações.

Não se optou por alterar diâmetros de condutas para provocar o abaixamento da pressão, pois as alterações de pressão, ainda são sensíveis à diminuição de diâmetros, mas não o são o suficiente para provocar grandes abaixamentos de pressão a níveis globais da rede. Poderá ser uma política a adoptar depois da aplicação de um destes Cenários, nos poucos pontos extremos onde a pressão se faz sentir mais elevada, contudo, mesmo aplicando as técnicas de substituição e reparação de conduta sem abertura de vala, já referidas neste trabalho, os custos envolvidos poderão não justificar a intervenção. Esta intervenção poder-se-á justificar e acontecer em caso de uma rotura casual nas condutas em questão.

Mesmo assim, comparando o ganho no abaixamento de pressão com a situação actual instalada, representada na **figura 98**, pode-se constatar um abaixamento médio de cerca de 15m (1.5bar), que será consequência de uma diminuição considerável nas perdas. Recorrendo a uma análise de caudais no EPANET, constata-se uma recuperação média volumétrica horária, comparada ao cenário actual, de $0.4005m^3$, e de $0.756m^3$ na hora de menor consumo.

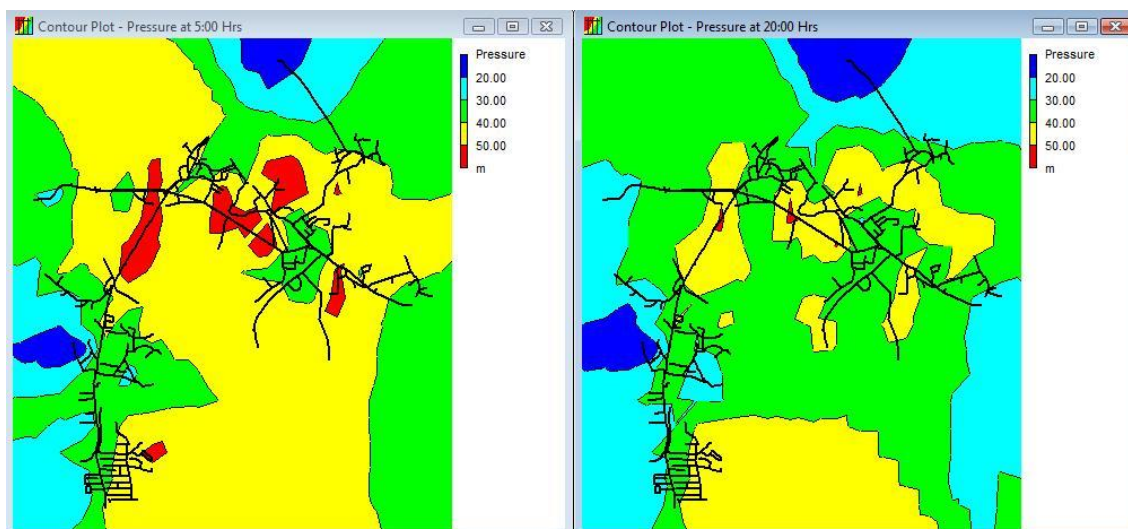


Figura 124: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente para o cenário 2.

14.5.3. Cenário 3

O Cenário 3 é em tudo idêntico ao Cenário 2 com a única diferença na aplicação da VRP14 na zona sul do R12 (Trinaterra). No Cenário 2 nesta zona existe apenas uma ZGP, e agora esta zona é abrangida por 2 ZGP, uma controlada pelas condições no reservatório (amarelo) e uma pela aplicação da VRP (cor-de-laranja).

Esta alteração fez-se na procura de não provocar uma diminuição tão acentuada no nó5 (no Cenário 2 às 20h – de 36.80m para 20.33m) para que os clientes não se sintam afectados. No Cenário 3, com esta alteração a pressão diminuiu de 36.80m para 36.74m.

Apresentam-se de seguida as ZGP criadas com as alterações sugeridas no Cenário 3. Desta feita criaram-se 6 ZGP, em tudo muito semelhantes às apresentadas no Cenário 2.

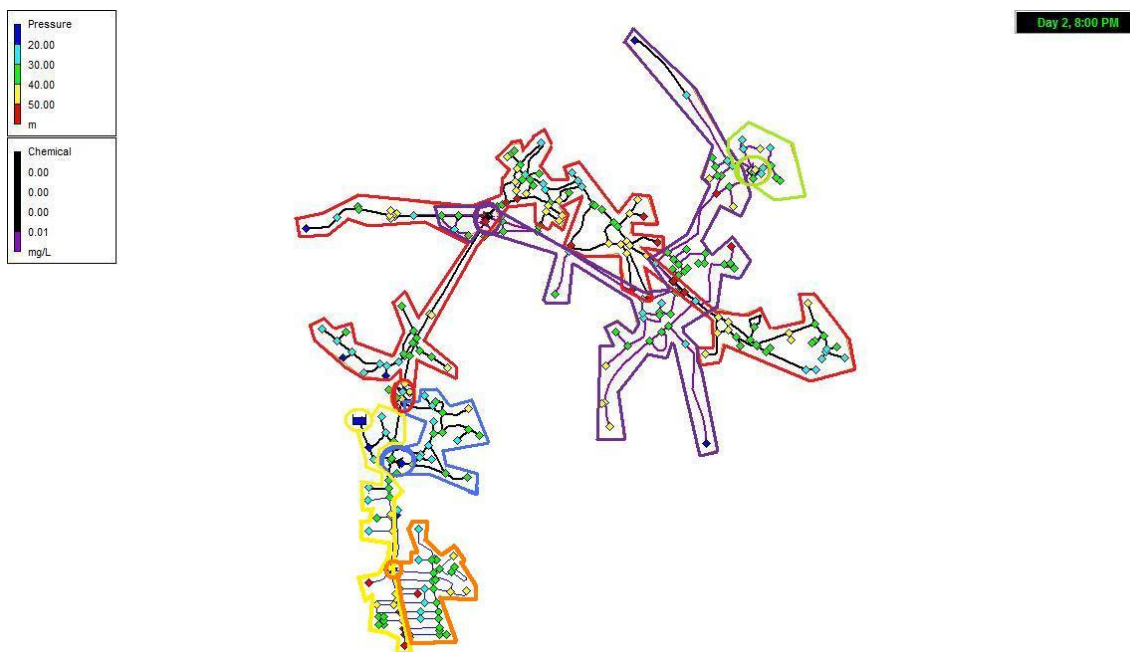


Figura 125: Cenário 3 com criação de ZGP no R12 por análise do simulador EPANET.

A seguinte figura mostra a pressão presente no R12 após alterações sugeridas no Cenário 3. Como é pretendido e objectivo deste trabalho, comparando a figura seguinte com a **Figura 99**, que representa a situação actual às 20h, denota-se um forte abaixamento da pressão. Comparando da mesma forma a seguinte figura (Cenário 3) com a **Figura 121** (Cenário 2), constata-se que não existem diferenças exceptuando na zona da Trinaterra (zona Sul do R12)

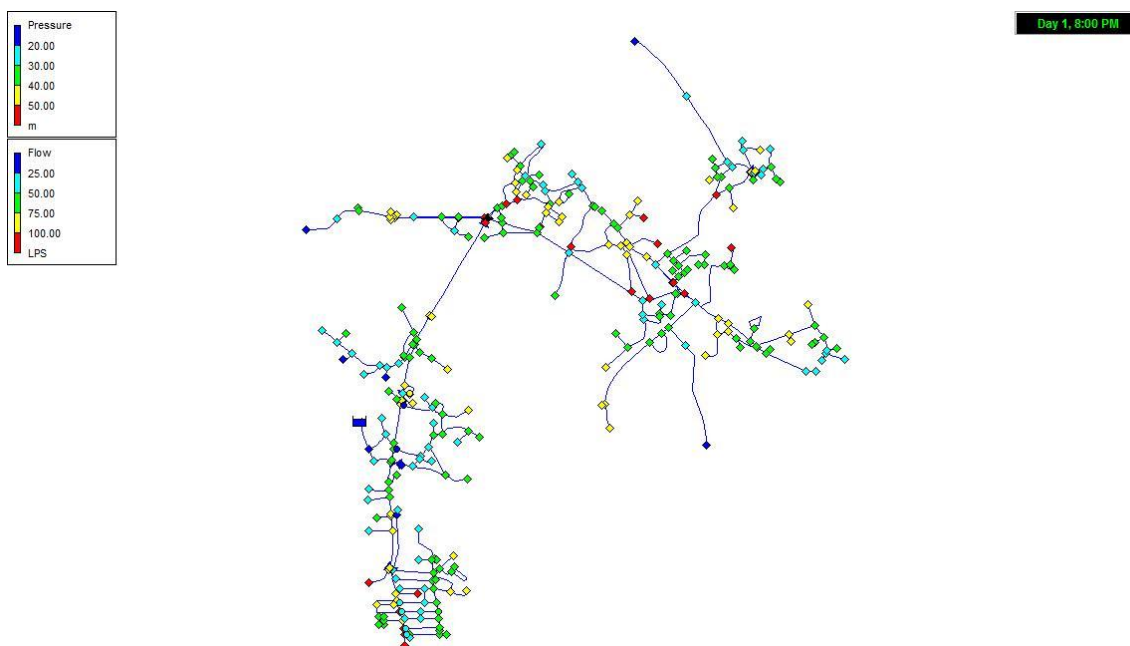


Figura 126: Cenário 3 em hora de maior consumo e menor pressão presente na rede (20h).

Da mesma forma apresenta-se na figura seguinte o comportamento da distribuição da pressão para as 5h do Cenário 3. Comparando com a **Figura 122**

(Cenário 2) com a figura seguinte não se observam grandes alterações, contudo existe um ligeiro aumento de pressão, como já referido, quando analisado em pormenor a zona da Trinaterra.

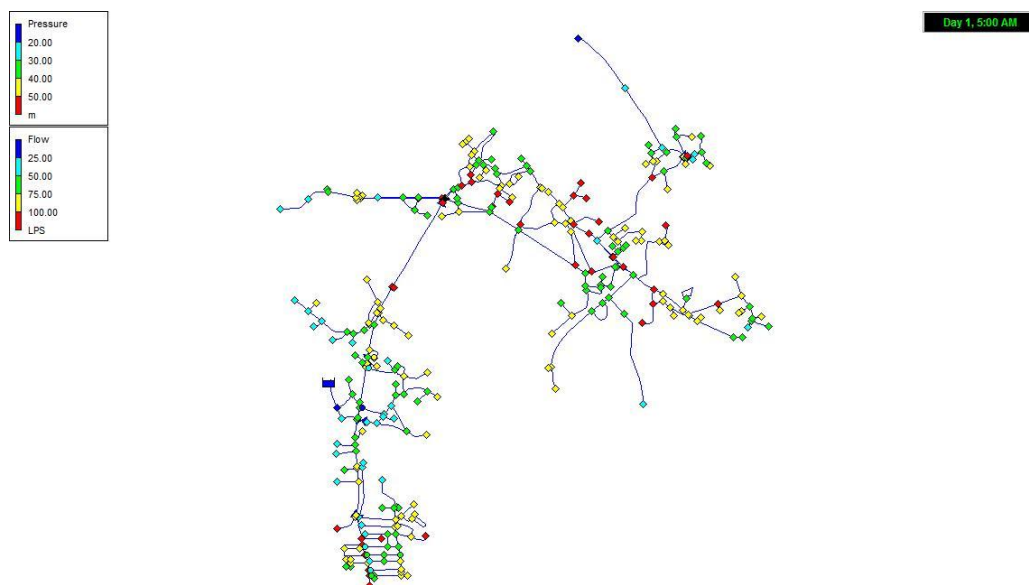


Figura 127: Cenário 3 em hora de menor consumo e maior pressão presente na rede (5h).

A figura seguinte é mostra as perdas de carga no Cenário 3. Que em tudo se exprimem da mesma forma que as do Cenário 1 e 2.

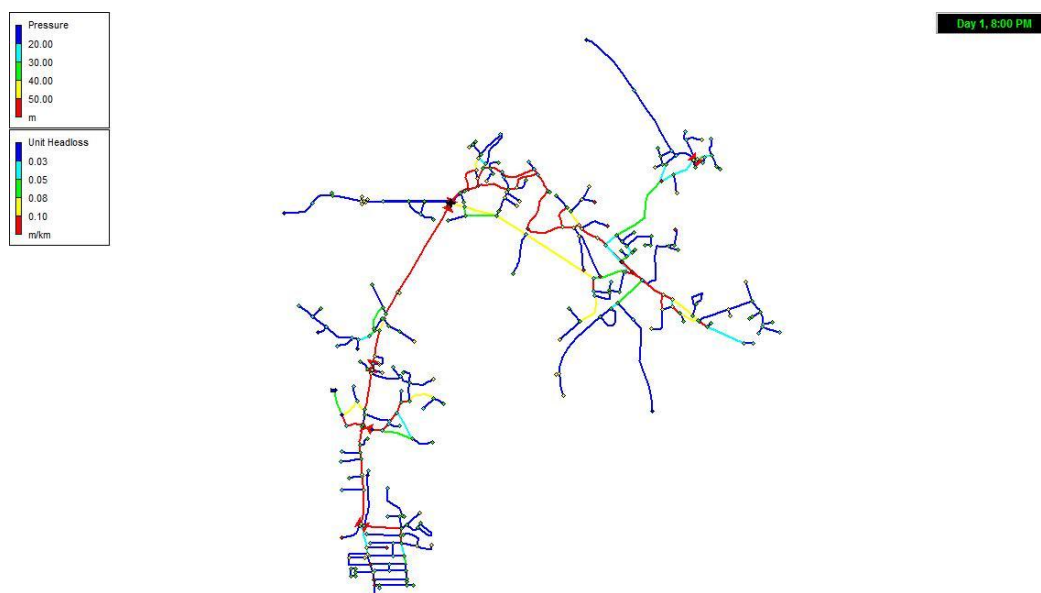


Figura 128: Perdas de carga nas condutas (20h) para o Cenário 3.

Na figura seguinte pode-se ter uma visão global da distribuição das pressões, à esquerda às 5h e à direita às 20h.

Da mesma forma como sucedia no Cenário 1 e 2, para conseguir baixar mais as pressões, implicaria a presença de pressões inferiores a 20m (azul-escuro) em determinadas zonas do R12. Não é possível um abaixamento maior, pois não se

garantiriam as condições de pressão mínima em algumas das habitações pois estas possuem vários andares (**Figuras 94 e 95**).

É neste ponto que difere essencialmente o Cenário 3 do Cenário 2, na preocupação de abastecer com pressão aceitável a população. E como o abaixamento da pressão, quer no Cenário 1 quer no Cenário 2 contempla um forte abaixamento da pressão na Zona da Trinaterra, procurou-se manter as pressões actuais (que não são muito elevadas) para que a população não se sinta uma queda tão grande na pressão.

Mesmo assim, comparando o ganho no abaixamento de pressão com a situação actual instalada, representada na **figura 98**, pode-se constatar um abaixamento médio de cerca de 15m (1.5bar), que será consequência de uma diminuição considerável nas perdas. Recorrendo a uma análise de caudais no EPANET, constata-se uma recuperação volumétrica diária, comparada ao cenário actual, de $0.36m^3$, e de $0.756m^3$ na hora de menor consumo.

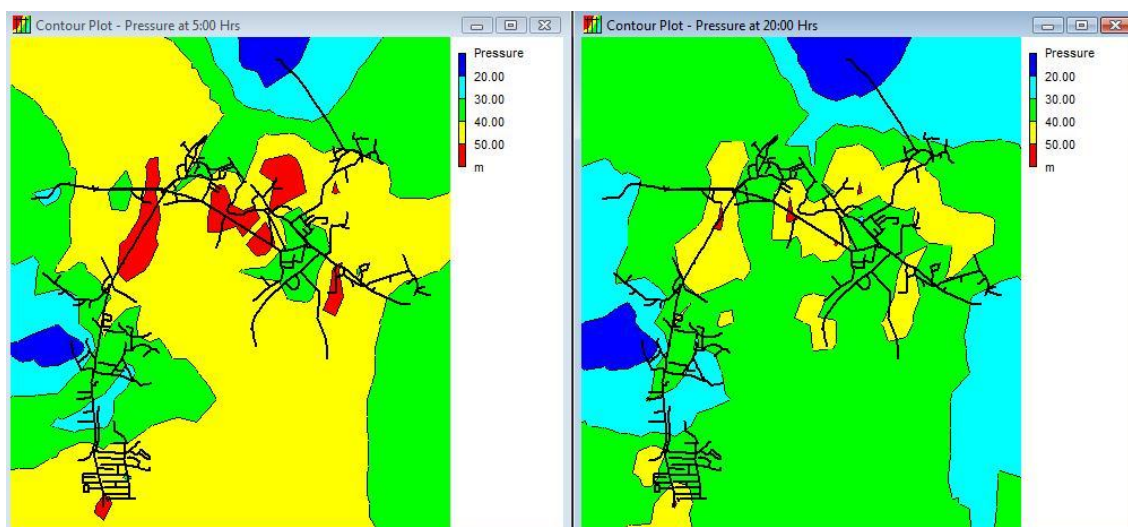


Figura 129: Apresentação gráfica das isolinhas. Distribuição de pressão às 5h e 20h respectivamente para o cenário3.

14.5.4. Saldo Volumétrico

Apresenta-se na tabela seguinte uma análise horária dos caudais presentes nos vários cenários na conduta presente imediatamente após a saída do Reservatório.

Através desta análise consegue-se obter o volume à saída do reservatório, no decorrer de 24h, nos diferentes cenários após as diversas propostas de alteração ao R12. Faz-se também uma análise para as horas de menor consumo (5h), onde o caudal de consumo será sempre o mesmo ($1.15m^3/h$), e onde variam apenas os valores correspondentes ao Caudal de perdas (perdas reais). Este caudal de perdas, será o caudal medido à saída do reservatório (caudal de consumo) nos diferentes cenários, subtraído pelo caudal de consumo ($1.15m^3/h$).

Constata-se que quer em termos médios diários, quer no que respeita à hora de menor consumo (pressões mais elevadas), o ganho de volume de água perdida faz-se sentir mais com as intervenções adoptadas no cenário 1. Contudo, também se consegue obter um ganho considerável com as alterações do cenário 2 e 3, especialmente nas horas de menor consumo, embora o saldo seja mais positivo no cenário 1.

	Cenário Actual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário Actual	Cenário Actual
Tempo (h)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	Q _{perdas} (l/s)	Q _{consumo} (l/s)
00:00	5.66	5.41	5.57	5.56	1.00	4.66
00:01	3.92	3.65	3.37	3.77	1.00	2.92
00:02	2.97	2.69	2.78	2.78	1.01	1.96
00:03	2.32	2.04	2.12	2.12	1.01	1.31
00:04	2.16	1.88	1.95	1.95	1.01	1.15
00:05	2.24	1.96	2.04	2.03	1.01	1.23
00:06	3.10	2.82	2.92	2.92	1.01	2.09
00:07	7.07	6.82	7.02	7.02	1.00	6.07
00:08	9.62	9.35	9.59	9.59	0.97	8.65
00:09	8.36	8.08	8.29	8.29	0.98	7.38
00:10	8.55	8.28	8.49	8.48	0.97	7.58
00:11	9.74	9.47	9.71	9.70	0.98	8.76
00:12	10.03	9.76	10.02	10.01	0.97	9.06
00:13	9.36	9.08	9.32	9.31	0.98	8.38
00:14	7.83	7.55	7.74	7.74	0.98	6.85
00:15	6.73	6.45	6.61	6.60	0.98	5.75
00:16	6.67	6.38	6.54	6.54	0.98	5.69
00:17	6.89	6.61	6.77	6.77	0.98	5.91
00:18	8.11	7.83	8.03	8.02	0.98	7.13
00:19	9.48	9.20	9.44	9.43	0.98	8.50
00:20	10.64	10.37	10.64	10.63	0.97	9.67
00:21	10.35	10.08	10.34	10.33	0.97	9.38
00:22	8.90	8.62	8.84	8.83	0.98	7.92
00:23	7.10	6.82	6.99	6.98	0.98	6.12
Caudal Média (l/s)	6.9917	6.7167	6.8804	6.8917	0.9867	6.0050
Volume Médio horário (m³)	25.17	24.18	24.77	24.81	3.55	21.62
Saldo Volumétrico Médio Horário (m³)	0	0.99	0.40	0.36		

* Considerando número de ligações de ramal e 2l/h de consumo legítimo nocturno					
Caudal a 5h (menor consumo)	Cenário Actual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	
$Q_{consumo} (l/s)$	*1.15	1.15	1.15	1.15	
$Q_{perdas} (l/s)$	1.01	0.73	0.80	0.80	
$Volume_{perdas} (m^3)$	3.636	2.628	2.880	2.880	
Saldo de Perdas Médio Volumétrico para a hora de menor consumo - 5h (m^3)	0	1.008	0.756	0.756	

Pode-se agora pelo mesmo método de raciocínio apurar individualmente os valores dos volumes das ZGP antes das alterações e comparar com os valores dos volumes depois das alterações. Descortinando dessa forma qual o abaixamento total do volume perdido e de volume consumido (a ser facturado). A ZGP marcada a Azul é que contribui mais para a recuperação de volume de água perdido.

Actual (Volume à entrada da ZGP - m^3)	1.224	7.776	2.88	5.94	2.7	0.18
Zonas	1	2	3	4	5	6
Saldo Volume 5h (m^3)	0	0	0	0	0	0
Cenário 1 (Volume à entrada da ZGP - m^3)	0.936	7.092	0.432	5.22	2.484	0.144
ZGP	Laranja	Amarelo	Verde	Vermelho	Roxo	Cinza
Saldo Volume 5h (m^3)	0.288	0.684	2.448	0.72	0.216	0.036
Cenário 2 (Volume à entrada da ZGP - m^3)	1.152	7.344	0.432	5.256	2.52	0.144
ZGP	Laranja	Amarelo	Azul	Vermelho	Roxo	Verde
Saldo Volume 5h (m^3)	0.072	0.432	2.448	0.684	0.18	0.036
Cenário 3 (Volume à entrada da ZGP - m^3)	0.792	7.308	0.432	5.256	2.52	0.144
ZGP	Laranja	Amarelo	Azul	Vermelho	Roxo	Verde
Saldo Volume 5h (m^3)	0.432	0.468	2.448	0.684	0.18	0.036

Seria conveniente, agora após apresentadas as alterações propostas ao R12, efectuar uma análise de custo benefício e apurar se o investimento das alterações será rentável a um curto ou médio prazo para a empresa, tendo em conta os gastos de implementação (equipamentos, instrumentos, mão-de-obra, entre outros) e o ligeiro abaixamento nos volumes facturados (diminuição de volumes), com os ganhos inerentes à diminuição da água não facturada perdida pelas fugas.

Segundo uma rápida e muito superficial análise custo benefício, qualquer um dos cenários recupera numa média horária cerca de 0.8m^3 ($19.2\text{m}^3/\text{dia}$) o que ao final de um ano dará um saldo positivo de cerca de 7000m^3 . Como a INDAQUA compra a água a $0,4929\text{€/m}^3$, conseguiria recuperar com a diminuição das perdas reais cerca de $3\,454\text{€/ano}$.

Com a diminuição da pressão diminuiu também o volume facturado. Após obtido o valor dessa diminuição de volume facturado, este deve ser multiplicado pelo tarifário aplicado (Anexo 10). Sendo posteriormente, esse valor mais os custos de equipamentos e mão-de-obra, subtraído aos $3\,454\text{€/ano}$, obtendo dessa forma o real saldo.

Para estimar a diminuição do volume facturado, devido ao abaixamento da pressão, poder-se-á simular, durante um mês, em alguns locais da rede esse abaixamento de volume, provocando a diminuição de pressão a montante desses contadores escolhidos aplicando válvulas redutoras de pressão (em simultâneo consegue-se obter um feedback do cliente no que respeita ao comportamento da pressão). Dessa forma constata-se a diminuição de volume facturado, e por análise da facturação média desse mês e leis estatísticas, poder-se-á obter o volume facturado diminuído, extrapolar o resultado para toda a rede, obtendo dessa forma uma aproximação da diminuição do volume total facturado podendo então completar o estudo de custo benefício.

Apresenta-se agora a hipótese mais complexa e mais cara de execução de uma caixa completa para cada VRP. Rondará os $15\,000\text{€}$. Nesta hipótese consideram-se as seguintes características:

- uma válvula redutora Hidrostab aval DN80 (caudais diurnos)
- uma válvula redutora Monostab DN40 (caudais nocturnos)
- válvula de alívio
- restantes acessórios
- trabalhos de construção civil (betão armado)

Numa vertente mais económica, poderia ser aplicada uma só VRP que fosse capaz de comportar os caudais diurnos em nocturnos, e os trabalhos de construção civil, recorrendo à utilização de argolas de cimento possibilitando dessa forma a não utilização de cimento armado. Pode-se estimar que desta forma os custos seriam cerca de metade dos anteriormente apresentados, sendo aproximadamente de cerca de $7\,000\text{€}$.

Não considerando a diminuição da facturação pelo abaixamento da pressão (esta não terá muita influência, porque grande percentagem do consumo nas habitações não depende da pressão), pode-se assim dizer que na pior das hipóteses, subtraídos aos 3 454€/ano os custos de execução de uma caixa completa por cada VRP, os 15 000€ (cenário 3 – 3VRPs → 45 000€), obtêm-se um investimento de cerca de 41546€ que poderá começar a ser rentabilizado ao final de 13 anos.

Se for considerada a melhor hipótese, a mais económica (implementação de uma só VRP por cada caixa e que estas caixas sejam construídas com argolas de cimento e não betão armado), tem-se um investimento de cerca de 7 000€ por cada VRP (cenário 3 – 3VRPs → 21 000€), obtêm-se um investimento de cerca de 17 546€ que poderá ser rentabilizado ao final de 6 anos. (Anexo 8.1)

15. Conclusões

Com as simulações no EPANET pode-se concluir que a carga hidráulica representa a linha de energia presente no escoamento, por isso permite efectuar simulações de carga hidráulica.

O caudal máximo revela-se nas condutas de diâmetro superior, logo a escolha do diâmetro dos troços é de maior importância para definir e fazer variar caudais e pressões ao longo de um sistema de abastecimento de água. A pressão nos 'Nós' diminui com o aumento do consumo, por tal facto deve-se obter valores limites de pressão para possibilitar um abastecimento de água com pressão superior aos limites mínimos impostos pela legislação. Da mesma forma, a velocidade de escoamento (inerente ao caudal) deverá respeitar e coincidir com os parâmetros limites referidos na legislação de forma a garantir a qualidade de abastecimento de água aos clientes.

Antes o caudal médio de distribuição era de 0.9* LPS, agora é 0,2* LPS que respeita da mesma forma os limites impostos pela legislação.

A diminuição dos diâmetros provoca um aumento de velocidade e de pressão (respeitando a lei de Bernoulli). Diâmetros baixos provocam mais perdas de carga e alturas piezométricas inferiores.

De reforçar a noção que este sistema R12 é gravítico, e que principal contribuição da energia presente no escoamento é proveniente das diferenças de cotas. Por tal facto concentram-se em zonas de menor cota as zonas de maiores pressões. Facilmente este problema poderá ser resolvido com a instalação de uma VRP.

Pode-se também concluir que a influência das partículas no fundo das tubagens implica uma descarga de fundo (zonas com filtro de limpeza normalmente existente a montante das VRP's) para evitar erosão. Isto acontece com mais frequência em zonas baixas e quando a velocidade é baixa.

O EPANET poderá também ajudar no planeamento das actividades de manutenção, podendo contribuir para a determinação do tipo e características do material a aplicar nas condutas (tipo de material e respectiva rugosidade mais adequada, diâmetro mais favorável, entre outros).

Conclui-se que o cenário 2 será o mais exequível uma vez que baixa as pressões ao ponto de garantir um ganho considerável, com a diminuição das perdas, e ao mesmo tempo garante pressões satisfatórias para que os clientes não se sintam afectados.

Haverá uma ligeira diminuição da água facturada, pois a diminuição de pressão imposta ir-se-á reflectir nos volumes contabilizados nos contadores volumétricos do cliente.

Com o EPANET poderemos ter conhecimento ao certo do número de condutas que sofrem influência da instalação de uma VRP. Este simulador permite-nos também, cruzando dados da telemetria e de um step-testting, simular uma possível fuga e dessa forma obter uma localização mais exacta da fuga.

Um Simulador como o EPANET mal calibrado gera informação enganadora. De maior importância trabalhar com dados médios (no mínimo de um ano) para globalizar a sazonalidade inerente aos diferentes meses. Um simulador sem a calibração do padrão do reservatório, sem um padrão de consumo, sem uma correcta distribuição de consumos (caudais) pelos nós, sem uma correcta distribuição do caudal de perdas pelos nós e essencialmente sem uma exacta informação das cotas de todos os nós, não produzirá uma simulação calibrada, de onde se possa retirar simulações conclusivas.

Com o estudo efectuado conclui-se que será vantajoso a aplicação de VRP's, no sentido da diminuição da pressão global da rede, pois trará ganhos com a diminuição das perdas de água.

Conclui-se que poderão ser criadas mais do que uma ZGP, contudo, para obter algum ganho, não será necessária a aplicação de todas as GPS indicadas. Podendo ser aplicadas faseadamente algumas delas, aquelas de maior contributo para os ganhos de volume.

16. Trabalhos futuros

Calibrar o sistema R12 no EPANET para efectuar simulações de Controlo de Qualidade, no que respeita ao decaimento do Cloro (problemática do cloro residual e seus efeitos para a saúde pública) ao longo das condutas de distribuição de água, de forma a garantir os limites estipulados na legislação.

Usar o GPS para traçar todas as condutas, obtendo dessa forma um conjunto de pontos em intervalos mais reduzidos e consecutivos possuidores de uma informação mais detalhada e aproximada da realidade (cumprimento, localização, cota). Efectuar posteriormente uma análise com esses novos dados, na nova aplicação do EPANET, o EPANET Z, obtendo assim uma simulação mais representativa da realidade.

Efectuar análise de custo benefício e custo eficácia sobre os diferentes possíveis cenários a implementar.

Desenvolver e aplicar este tipo de metodologia e estudo a outros sistemas da INDAQUA Santo Tirso/Trofa, podendo dessa forma multiplicar os lucros por mais 11 sistemas de distribuição de Santo Tirso e os 6 restantes da Trofa. Podendo ainda usar estas ferramenta de auxílio à tomada de decisão em outros sistemas de distribuição de água de outras concessões da INDAQUA.

17. Bibliografia

- [1] Kotter, J. P. (1996): *Leading Change*, Harvard Business School Press.
- [2] Poças Martins, J. (2009): *Management of Change in Water Companies*, IWA Publishing.
- [3] Brothers, K. (2003): *A Practical Approach to Water Loss Reduction*, Water 21 Magazine of the IWA, May 2003.
- [4] Lambert A. (2003): *Assessing Non Revenue Water and its Components: A Practical Approach*, Water 21 Magazine of the IWA, August 2003.
- [5] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Lisboa Março 2002): *Manual do Utilizador – EPANET 2.0 em Português – Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água*
- [6] EPA - Environmental Protection Agency, 2000: *EPANET2 User's Manual*
- [7] Helena Alegre, Sérgio Teixeira Coelho, Maria do Céu Almeida e Paula Vieira (2005): *CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS PÚBLICOS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO*
- [8] Ernest Brater, Horace King, James Lindell, C. Wei: *Handbook of Hydraulics*, Seventh Edition
- [9] Metcalf & Eddy (2002): *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Higher Education
- [10] Asian Development Bank and The Southeast Asia Water Utilities Network (2007): *Data Book of Southeast Asian Water Utilities 2005*.
- [11] Ginneken, M. and Kingdom, B. (2008): *Key Topics in Public Water Utility Reform*, World Bank, Water Working Notes, Note No.17, August 2008.
- [12] Muller, M., Simpson, R. and Ginneken, M. (2008): *Ways to Improve Water Services by Making Utilities More Accountable to Their Users: a Review*, World Bank, Water Working Notes, Note No.15, May 2008.
- [13] Pinto António (2009): *Gestão e monitorização do Sistema Público de Distribuição de Água de Fafe – Cumieira – UTAD*.
- [14] Poças Martins, J. (2010): *Apontamentos da disciplina de Gestão de Sistemas Ambientais (GSA) do curso MIEA-FEUP*.
- [15] LNEC (2001): *Reabilitação de sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais*; Coimbra, 15-16 de Junho de 2001.
- [16] Fernanda Lacerda (2008): *Oporto: Water Sensitive City; Making the Case for a Leakage Driven Infrastructure Renewal Programme by Understanding the Leakage Reduction Benefits for Utility and Customer Networks*; Global Leakage Summit; 18th June 2008.
- [17] Carlos Taborda, *Melhorar a Qualidade de Medição*, EPAL S.A
- [18] Portaria nº 21/2007 de 5 de Janeiro, aplicada a contadores de água de água limpa, fria ou quente, para uso doméstico, comercial ou da indústria ligeira.
- [19] Norma Portuguesa NP 2468:1997, aplicável a contadores de água potável fria, 2ª Edição, Abril de 2007, Instituto Português da Qualidade
- [20] Versão Portuguesa da norma Europeia NP EN 14154:2007, aplicável a contadores de água, Instituto Português da Qualidade
- [21] Fernandes, L. P. Espassandim; *Relatório de Estágio: Modelo de Substituição de Contadores*, Novembro de 2007
- [22] Medeiros, N.; Loureiro, D.; Mugeiro, J.; Coelho, S. T.; Branco, L.; *Concepção, instalação e exploração de sistemas de telemetria domiciliária para apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água*; I Conferência INSSAA – Modelação de Sistemas de Abastecimento de Água, Barcelos, 10 e 11 de Maio de 2007
- [23] HORUS, WMM- Wireless Metering Management, Resopre (<http://www.cgf.janz.pt>, acedido em Janeiro de 2010)
- [24] G Hauber-Davidson, E Idris, *SMART WATER METERING, Demand Management*, Water, May 2006
- [25] Avilez-Valente, Paulo, Ficha 1 (*Simulação da Concentração de Cloro em Vários Cenários de Exploração*); *Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente – 4º Ano/2º Semestre*; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2008-2009.
- [26] Avilez-Valente, Paulo; Figueiredo, M.M Pacheco; *Acetatos sobre a Modelação da Qualidade da Água em Redes de Abastecimento*; *Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente – 4º Ano/2º Semestre*; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2008-2009;
- [27] Anuvongnukroh, V., Makmaitree, U., Chuenchom, T., Sethaputra, S., Waldron, T. (2007). *Design and Establishment of a Very Large Scale Low Pressure DMA Project*. In *Leakage 2007, Specialized Conference Proceedings*, IWA, 23-26 Sep, Bucharest (Romania).
- [28] Awad, H., Kapelan, Z., Savic, D. (2009). "Optimal setting of time-modulated pressure reducing valves in water distribution networks using genetic algorithms". *Integrating Water Systems (CCWI 2009 Conference)*, 1-3 Sep, University of Sheffield (London).
- [29] Girard, M., Stewart, R. A. (2007). "Implementation of Pressure and Leakage Management Strategies on the Gold Coast, Australia: Case Study." *Journal of Water Resources Planning and Management* 133(3): 210-217.
- [30] Gomes, R., Marques, A. S., Sousa, J. (2010b). *Metodologia Geral para Concepção de Zonas de Medição e Controlo em Sistemas de Distribuição de Água*. *Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 12-15 Out, Porto (Portugal).
- [31] ERSAR (2010). *Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal 2010 (RASARP)*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), Lisboa. Gráfica Maiadouro.
- [32] Sousa, Joaquim; *Trabalho de doutoramento de Ricardo Gomes na Universidade de Leiria sobre ZMC*.
- [33] Marques, José Alfeu Sá; *Sistema de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais – Hidráulica Urbana*.
- [34] WDSH – *Water Distribution Systems Handbook*
- [35] DR nº 23_95

- [36] Silva, José Henrique ferreira; Exploração das Potencialidades do Programa EPANET na Simulação Hidráulica de Sistemas de Abastecimento de Água.
- [37] Jaime Melo Baptista, João Simões Pires, Fernanda Maças; O Quadro Legal dos Serviços de Águas em Portugal.
- [38] Jaime Melo Baptista, Dulce Álvaro Pássaro, João Simão Pires; Desafios para os Serviços de Águas em Portugal numa Perspectiva de Médio e Longo Prazo.
- [39] F.M. Franco; 1984; Lições de Hidrologia”, A. Lencastre.
- [40] A. Álvares Ribeiro, 1987; Hidrologia. Águas Superficiais.
- [41] Pacheco Figueiredo, Manuel Maria; Oliveira Maia, Rodrigo Jorge Fonseca de (2010): Apontamentos da disciplina de Gestão de Recursos Hídricos e Áreas Protegidas (GRHAP) do curso MIEA-FEUP.
- [42] Rui Boaventura, Cheng; 2009; Apontamentos da disciplina “Tecnologias e Tratamento de Resíduos Sólidos I” do curso MIEA-FEUP.
- [43] D.L. 306/2007.
- [44] Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 Agosto - Estabelece os limites de pressão na rede de distribuição da água.

- [a] WWW: Águas do Porto, E.M, Outubro 2010, <http://www.aguasdoporto.pt>.
- [b] WWW: Entidade reguladora dos Serviços de Água e Resíduos – ERSAR, Outubro 2010, <http://www.ersar.pt/website/Home.aspx>
- [c] WWW: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH, Outubro 2010, <http://snirh.pt/index.php?idMain=>
- [d] WWW: Instituto da Água I.P. – INAG, Outubro 2010, <http://www.inag.pt/>
- [e] WWW: Águas de Portugal – AdP, Outubro 2010, <http://www.adp.pt/>
- [f] WWW: Águas do Noroeste (Águas do Ave e Águas do Cavado), Outubro 2010, <http://www.adnoroeste.pt/>
- [g] WWW: Águas do cavado, Outubro 2010, <http://www.aguas-cavado.pt/index2.php>
- [h] WWW: Águas do Porto, Outubro 2010, http://www.aguasdoporto.pt/publico/fs.asp?flash=nao&File=m1_destaquas/10_destaquas.asp
- [i] WWW: Águas de Gaia, Outubro 2010, <http://www.aguasgaia.eu/pt/home.php>
- [j] WWW: Águas do Oeste, Outubro 2010, <http://www.aguasdoeste.pt/>
- [k] WWW: INDAQUA – Industria e Gestão de Águas, SA, Outubro 2010, <http://www.indagua.pt/>
- [l] WWW: Câmara Municipal de Santo Tirso – C.M. STS, Outubro 2010, <http://www.cm-stirso.pt/>
- [m] WWW: Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território – APA, Outubro 2010, <http://www.apambiente.pt/Paginas/default.aspx>
- [n] WWW: ABCdoAmbiente, Outubro 2010, <http://www.abcdoambiente.com/>
- [o] WWW: Ambiente online, Outubro 2010, <http://www.abcdoambiente.com/>
- [p] WWW: Projecto Rios, Outubro 2010, <http://projectorios.blogspot.com/>
- [q] WWW: European Environment Agency – EEA, Outubro 2010, <http://www.eea.europa.eu/>
- [r] WWW: United States Environmental Protection Agency – US. EPA, Outubro 2010, <http://www.epa.gov/>
- [s] WWW: Instituto Nacional de Estatística – INE, Outubro 2010, http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE
- [t] WWW: Instituto de Meteorologia, IP Portugal – IM, Outubro 2010, <http://www.meteo.pt/pt/>
- [u] WWW: Diário da Republica Electrónico – Legislação, Outubro 2010, <http://dre.pt/index.html>
- [v] WWW: legislação – Blogue, Outubro 2010, <http://legislacaodireitodoambiente.blogspot.com/>
- [w] WWW: Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Outubro 2010, <http://www.lnec.pt/>
- [x] WWW: Águas de Minas Gerais – COPASA, Outubro 2010, <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?tpl=home>
- [z] WWW: Águas de São Paulo – Sabesp, Outubro 2010, <http://site.sabesp.com.br/site/default.aspx>
- [aa] WWW: Protecting consumers, promoting value and safeguarding the future – OFWAT, Outubro 2010, <http://www.ofwat.gov.uk/>
- [bb] WWW: American Water Works Association – AWWA, Outubro 2010, <http://www.awwa.org/>
- [cc] WWW: O2 Engenharia – Sistemas de rede de abastecimento de água, Outubro 2010, <http://www.o2engenharia.com.br/abastecimento1.html>
- [dd] WWW: Redes de distribuição de águas, Outubro 2010, <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/Ernani/Aulas/09-Redes.pdf>
- [ee] WWW: NASTT, Outubro 2010, http://www.nastt.org/pdf/NASTT/MSU_PPt_Presentation.pdf
- [ff] WWW: MidWesmole, Outubro 2010: <http://www.midwestmole.com/images/slip-lining4.jpg>
- [gg] WWW: Acedido em Outubro 2010, <https://dSPACE.ist.utl.pt/bitstream/2295/146642/1/Dissertacao.pdf>
- [hh] WWW: Acedido em Outubro 2010, http://cadastrrocthidro.ana.gov.br/arquivos/ana_paula_da_silva_farias_dissertacao_eng_producao.pdf
- [ii] WWW: Acedido em Outubro 2010, http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/resumo_viiiiserea.pdf
- [jj] WWW: SubTerra, Outubro 2010, http://www.subterra.co.uk/pipe_rehabilitation_frameset.html
- [kk] WWW: SANEPAR, Outubro 2010, [http://www.sanepar.com.br/sanepar/CalandraKBX/filesmng.nsf/12B8B3B0C08086E2832570B500648511/\\$File/1-109ReabilitacaoRedes.pdf?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/CalandraKBX/filesmng.nsf/12B8B3B0C08086E2832570B500648511/$File/1-109ReabilitacaoRedes.pdf?OpenElement)
- [ll] WWW: AQUADUTA, Outubro 2010, <http://www.aquaduta.pt/>
- [mm] WWW: CGF, Outubro 2010, <http://www.cgf.janz.pt>
- [nn] WWW: Outubro 2010, http://www.catalyst-commercial.co.uk/business_water_services/water_smart_meter/
- [oo] WWW: Outubro 2010, <http://www.comtechm2m.com/m2m-telemetry-solutions/amr-utility-telemetry.htm>

[pp] WWW: Outubro 2010, http://www.smartmeter.co.uk/page.php?page_id=12
[qq] WWW: Outubro 2010, <http://www.aprh.pt/>
[rr] WWW: International Water Association, Outubro 2010, <http://www.iwahq.org/Home/>
[ss] WWW: U.S. Environmental Protection Agency – Drinking Water Research; EPANET - Software That Models the Hydraulic and Water Quality Behavior of Water Distribution Piping Systems; Outubro 2010; <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>
[tt] WWW: Zonum Solutions, Hydraulics, Hydrology, Irrigation, Watershed management, CAD, Geographic Information Systems and Remote Sensing Tools; Outubro 2010; <http://www.zonums.com/home.html>
[uu] WWW: waterworld, Novembro 2010; <http://www.waterworld.com/index/water-utility-management/amr-ami.html>
[vv] WWW: Thesmartmeter, Novembro 2010; <http://www.thesmartmeter.co.uk/6.html>
[xx] WWW: Alibaba, Novembro 2010; <http://www.alibaba.com/showroom/amr-water-meter.html>
[ww] WWW: Smart Water Metering Cost Benefit Study – Final Report – Available for Information, Novembro 2010; http://www.ourwater.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/61545/smart-water-metering-cost-benefit-study.pdf

[01] PNA – Plano Nacional da Água
[02] PBH – Plano de Bacias Hidrográficas
[03] DQA – Directiva Quadro da Água
[04] PESSAR, Plano estratégico de abastecimento de água e saneamento águas residuais, 2007-2013
[05] PO TEMÁTICO VALORIZAÇÃO DO TERRITÓRIO – Eixo II Regulamento específico – Rede Estruturante de Abastecimento de Água e Saneamento.
[06] LEGISLAÇÃO (Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de Novembro; Decreto-Lei n.º 14/2002, de 26 de Janeiro; Decreto-Lei n.º 147/95, de 21 de Junho; Lei n.º 58/98, de 18 de Agosto; Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de Novembro; Decreto-Lei n.º 103/2003, de 23 de Maio; Decreto-Lei n.º 222/2003, de 20 de Setembro; Decreto-Lei n.º 319/94, de 24 de Dezembro; Decreto-Lei n.º 223/2003, de 20 de Setembro; Decreto-Lei n.º 162/96, de 4 de Setembro; Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Directiva 60/2000/CE); Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de Agosto; Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto; Decreto-Lei n.º 294/94, de 16 de Novembro; Decreto-Lei n.º 162/96, de 4 de Setembro; Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro; Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, Decreto-Lei n.º 207/94 de 6 de Agosto.

18. Anexos

18.1. Anexo 1



**Tarifas e níveis de actividade das entidades gestoras
concessionárias de sistemas multimunicipais**

[Voltar](#)

Notas por empresa

Águas de Santo André
Águas do Algarve
Águas do Ave

- Os volumes de abastecimento referem-se ao abastecimento em alta.
- Os volumes de abastecimento de 2002 e 2003 correspondem a água fornecida, uma vez que no R&C não constam os volumes facturados.
- A variável dAR34 deixou de existir em 2007, por isso o volume de AR em 2007 é o valor da variável dAR09 (águas residuais recolhidas). Os volumes de abastecimento e de saneamento correspondem aos valores das variáveis dAA16 (Água Facturada) e dAR34 (Água Residual Facturada) dos indicadores de desempenho, uma vez que os volumes apresentados nos R&C incluem a Indústria Fafe no caso do abastecimento e a Tratave no caso do saneamento. Os volumes estimados de água facturada para 2007 não incluem o município de Fafe, uma vez que no orçamento de 2008 não é possível identificar as quantidades efectivamente fornecidas pela Águas do Ave a este município.

Águas do Centro Alentejo
Águas do Mondego
Águas do Norte Alentejano
Águas do Oeste

- Apesar de a tarifa de saneamento ter sido aprovada, a empresa não iniciou actividade em 2004.
- Os volumes apresentados correspondem aos valores dos indicadores de desempenho porque os R&C não dispõem desta informação.
- A tarifa aplicada em 2005 foi igual à de 2004 porque a empresa não apresentou orçamento.

Águas do Zêzere e Côa

- É aplicada tarifa de abastecimento diferenciada (€0,5942 em 2007 e €0,6170 em 2008) aos municípios onde a empresa não presta o serviço em exclusivo. No saneamento existe tarifa diferenciada aplicada ao transporte de efluentes (€0,1816 em 2007 e €0,1879 em 2008). Os volumes de água facturada em 2008 correspondem à soma dos volumes abastecidos em todos os municípios (em exclusivo e não exclusivo). Os volumes de água tratada em 2008 correspondem a soma dos volumes tratados e transportados em todos os municípios. Os volumes de água facturada respeitantes a 2004 correspondem aos valores dos indicadores de desempenho.
- Os volumes de 2002 e 2003 de águas residuais facturadas não constam dos respectivos R&C e são informação da empresa.
- A empresa não apresentou o orçamento de 2007, 2008 e 2009 relativamente à componente de resíduos pelo que não é apresentada tarifa para estes anos.
- A tarifa aplicada em 2006 não foi aprovada pelo Concedente.
- A tarifa aplicada em 2002 não foi aprovada pelo Concedente.
- As tarifas e quantidades apresentadas referem-se à recolha indiferenciada municipal.
- A Similis também efectua o transporte de efluentes, que em 2006 e 2007 ascendeu respectivamente a 413,258 e 415,082 milhares m3.
- As quantidades apresentadas incluem apenas o que é facturado aos municípios, excluindo a facturação à Portucel que, em 2007 atingirá 13.431.864 m3.
- O MAOTDR não exarou despacho sobre a tarifa aplicada em 2004.
- As tarifas e quantidades apresentadas referem-se às recolhas indiferenciadas municipais.

Braval
Rebat
Resat
Similis
Simria

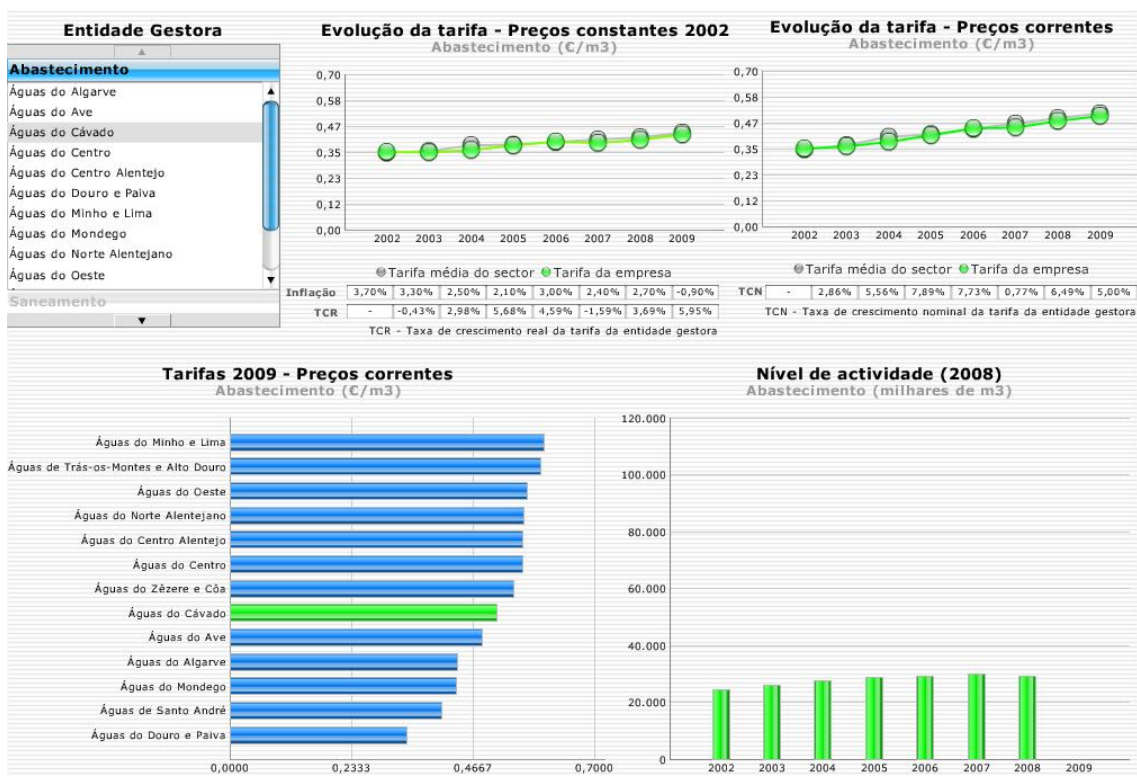
Simtejo
Valorsul

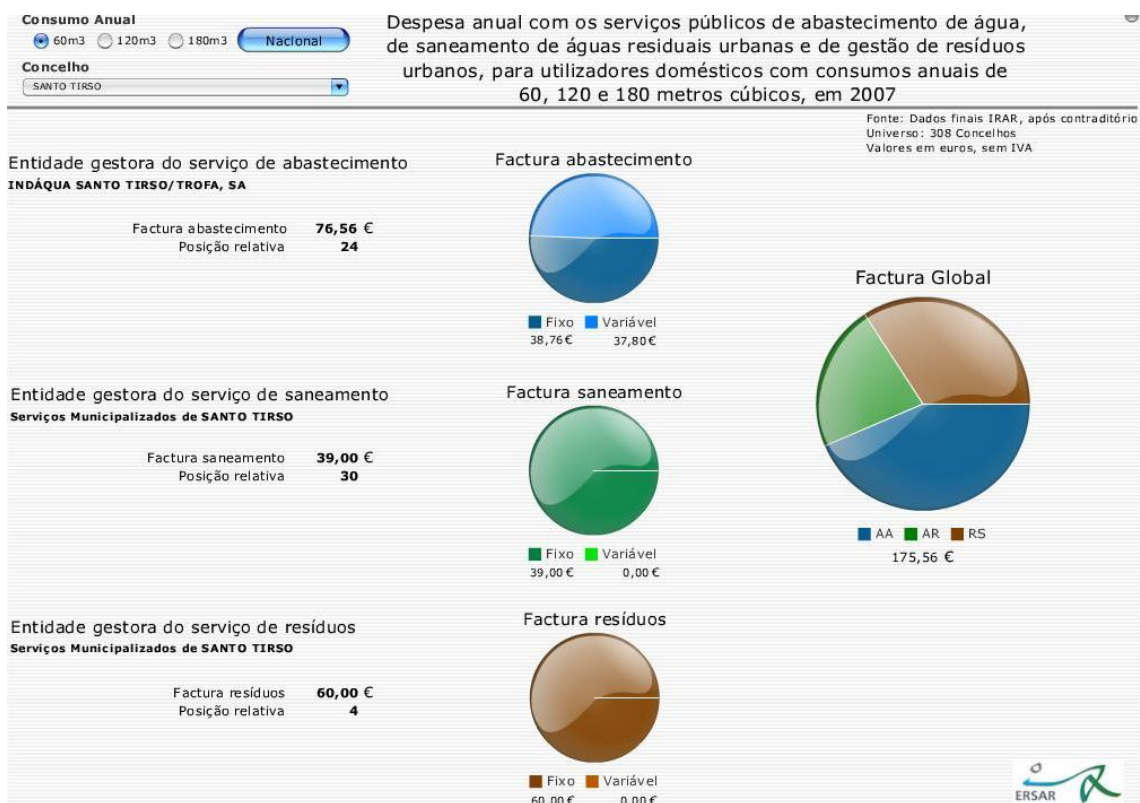
Dados e Unidades

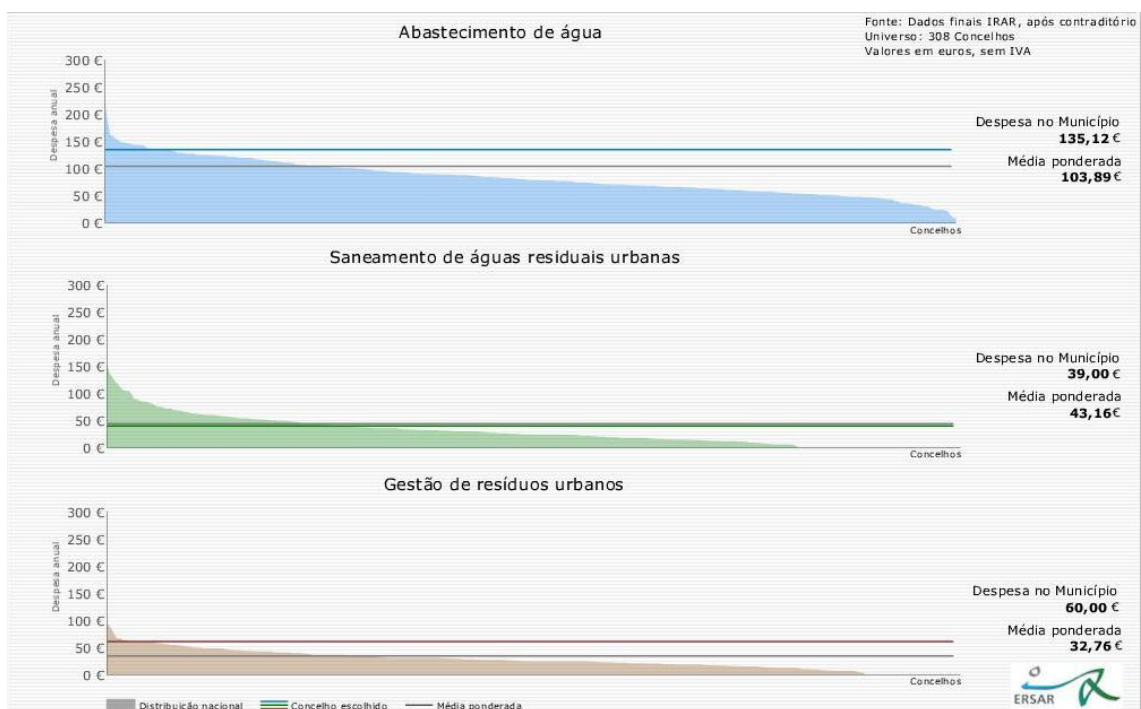
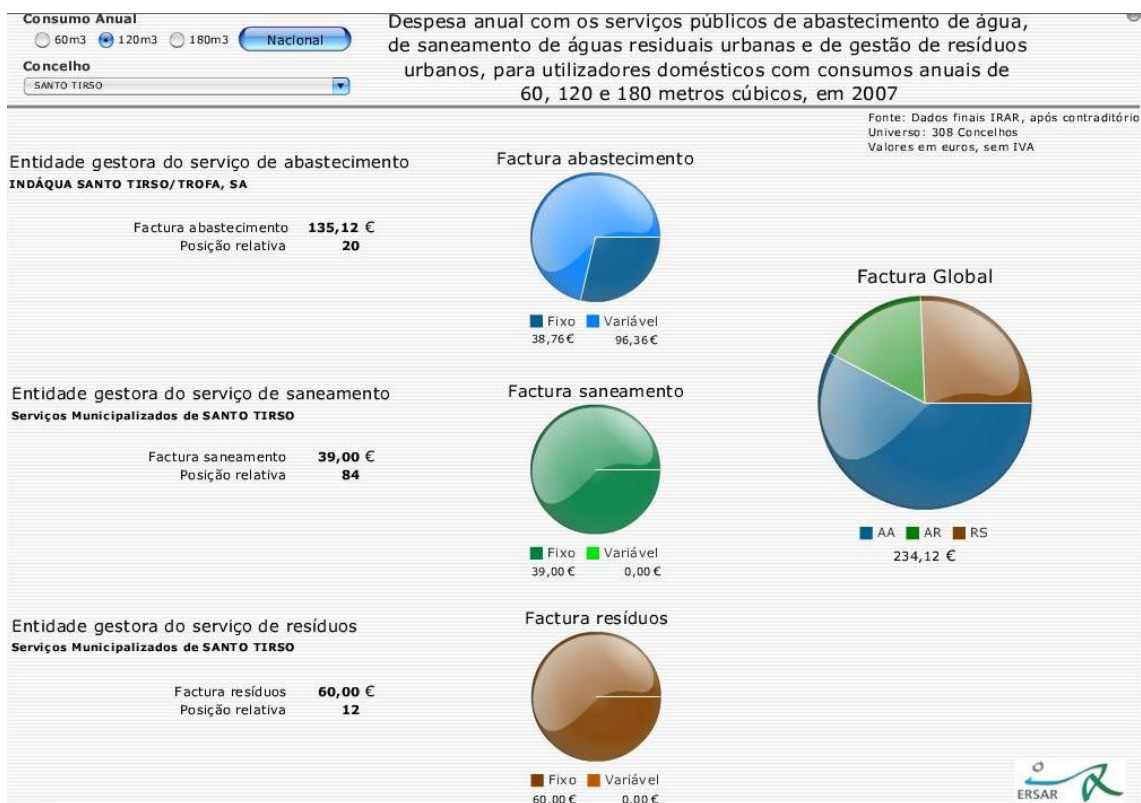
- Os níveis de actividade de abastecimento e de saneamento são os volumes totais facturados em milhares de metros cúbicos
- Os níveis de actividade de resíduos urbanos são as quantidades facturadas de recepção de resíduos indiferenciados (exclui RINP e recolha selectiva) em milhares de toneladas
- Os níveis de actividade apresentados em 2002-2007 são valores reais constantes dos R&C e em 2008 são estimativas de fecho deste ano inclusas nos Orçamentos de 2009
- As tarifas de abastecimento e de saneamento são em €/m3 e as tarifas de resíduos urbanos são em €/tonelada

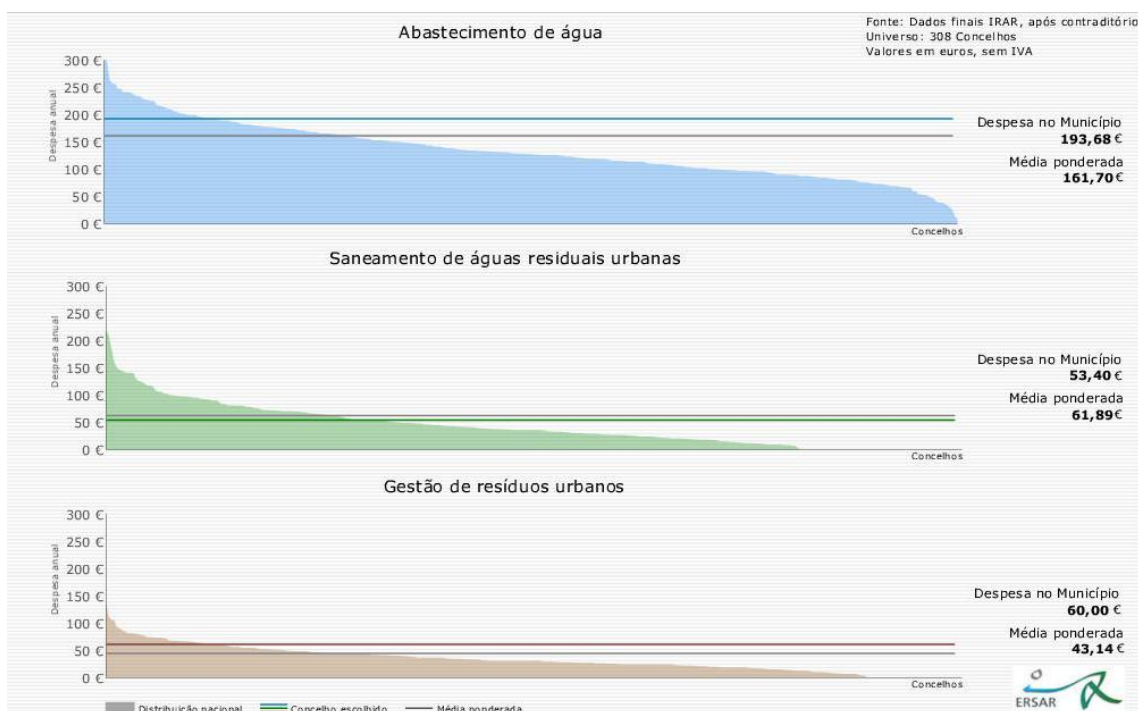
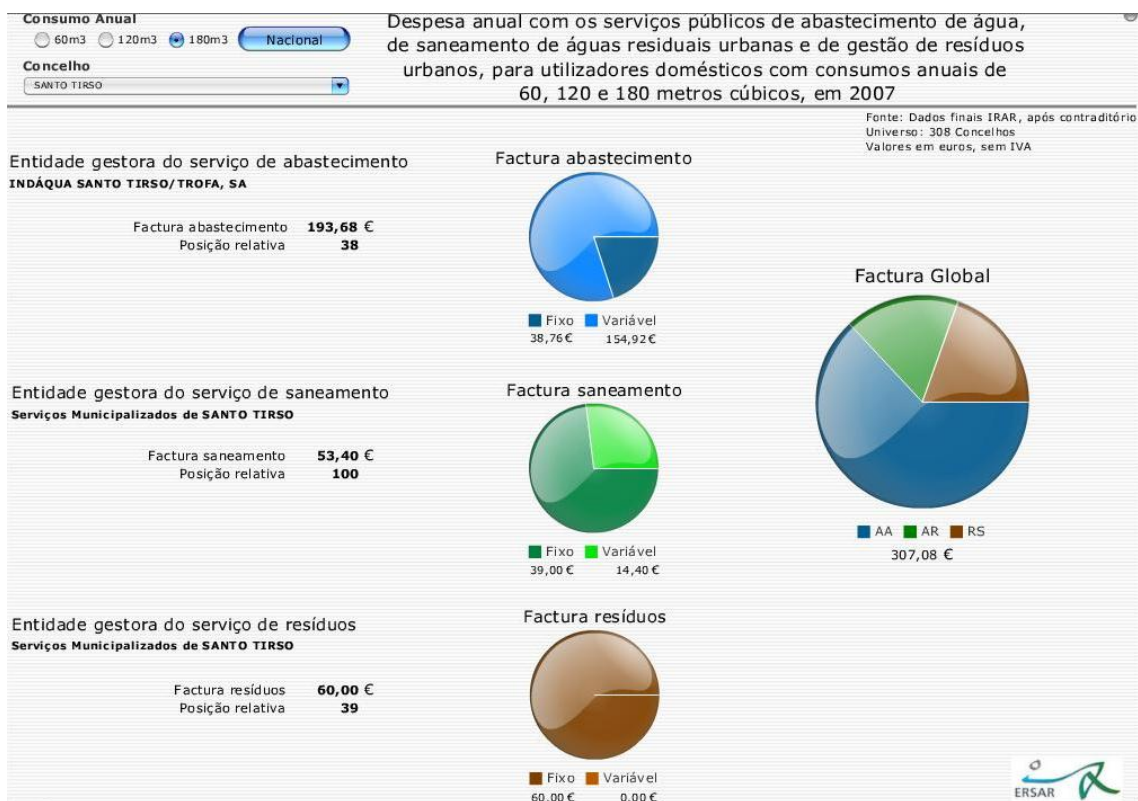
Fontes de informação

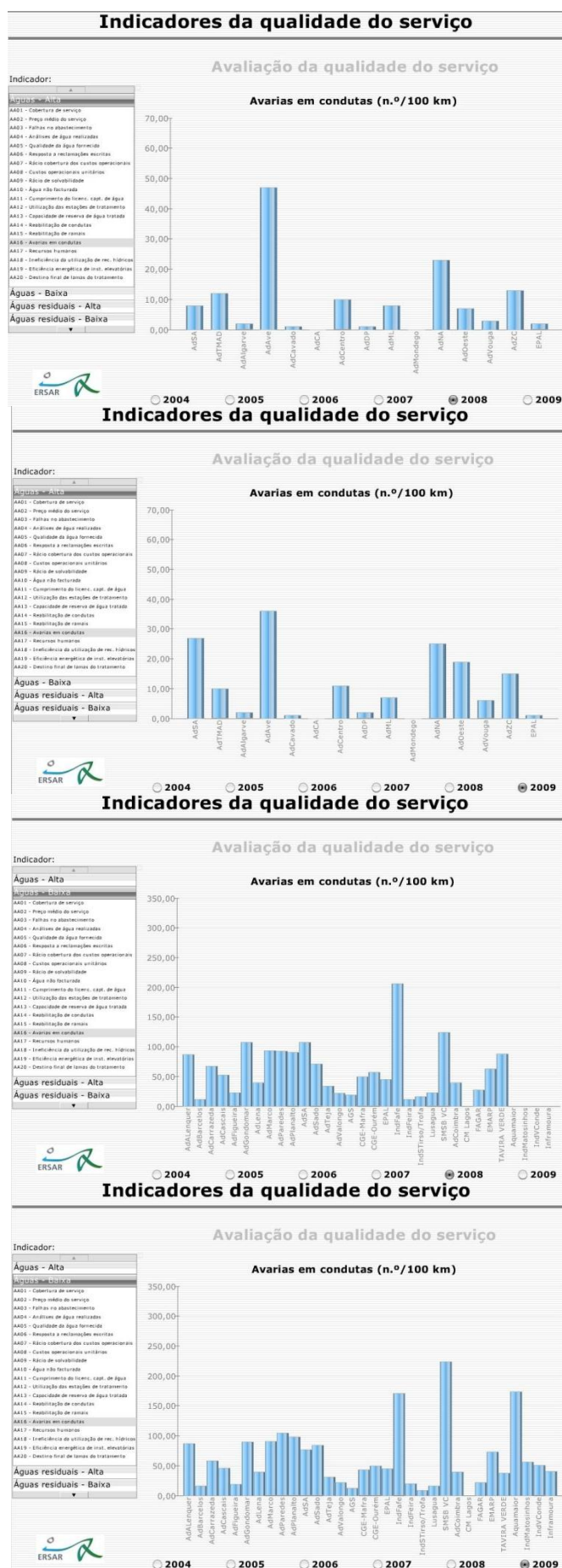
Tarifas - ERSAR
Volumes e quantidades - R&C
Taxas de inflação - IHPC M(12,12) até 2009, Banco de Portugal - Valor de 2010 constante do BE Inverno 2009 do Banco de Portugal.



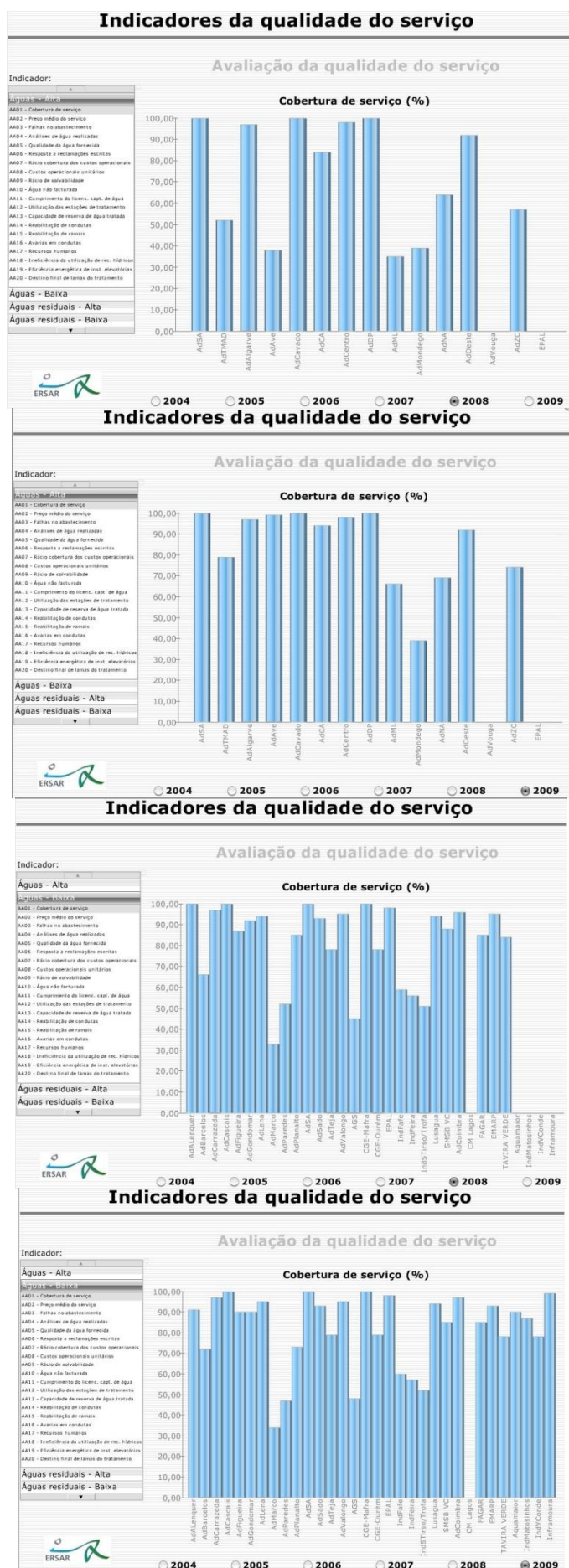


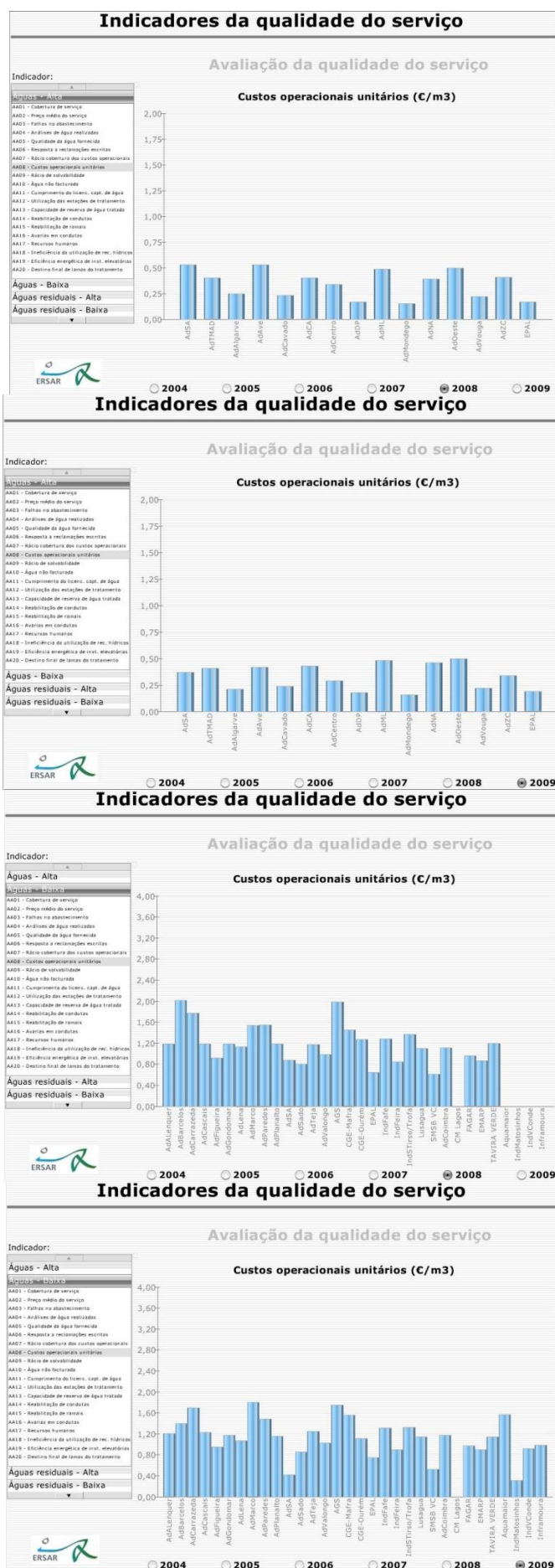


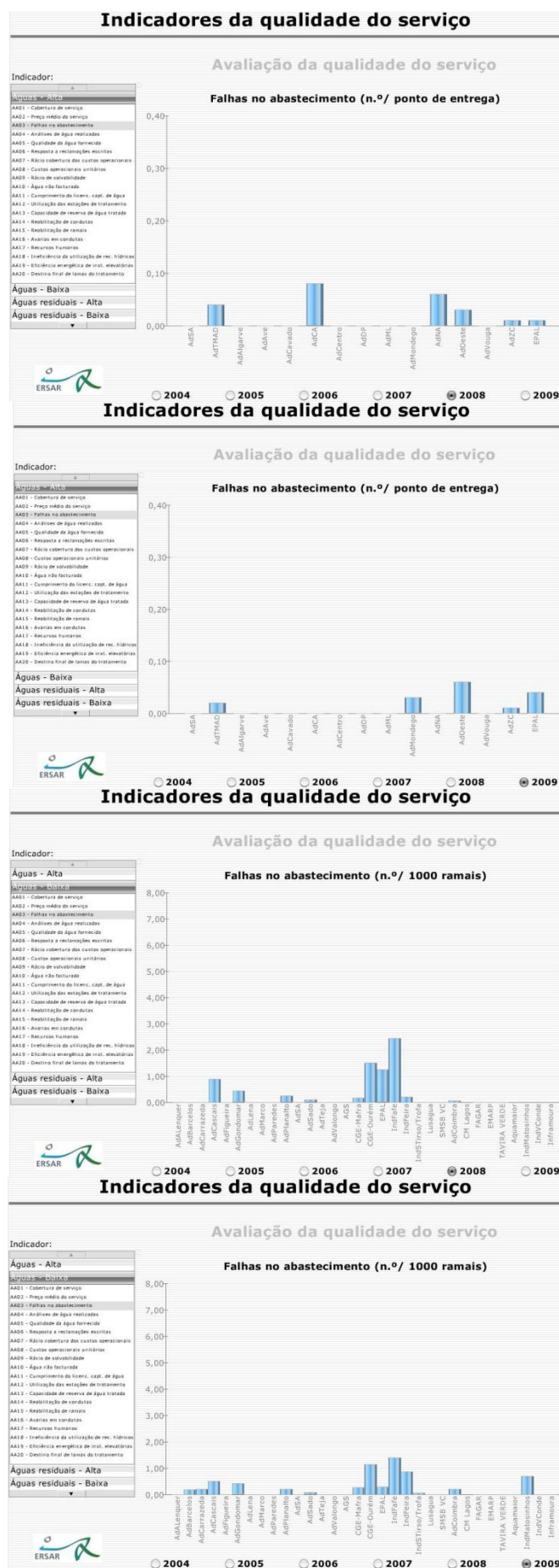


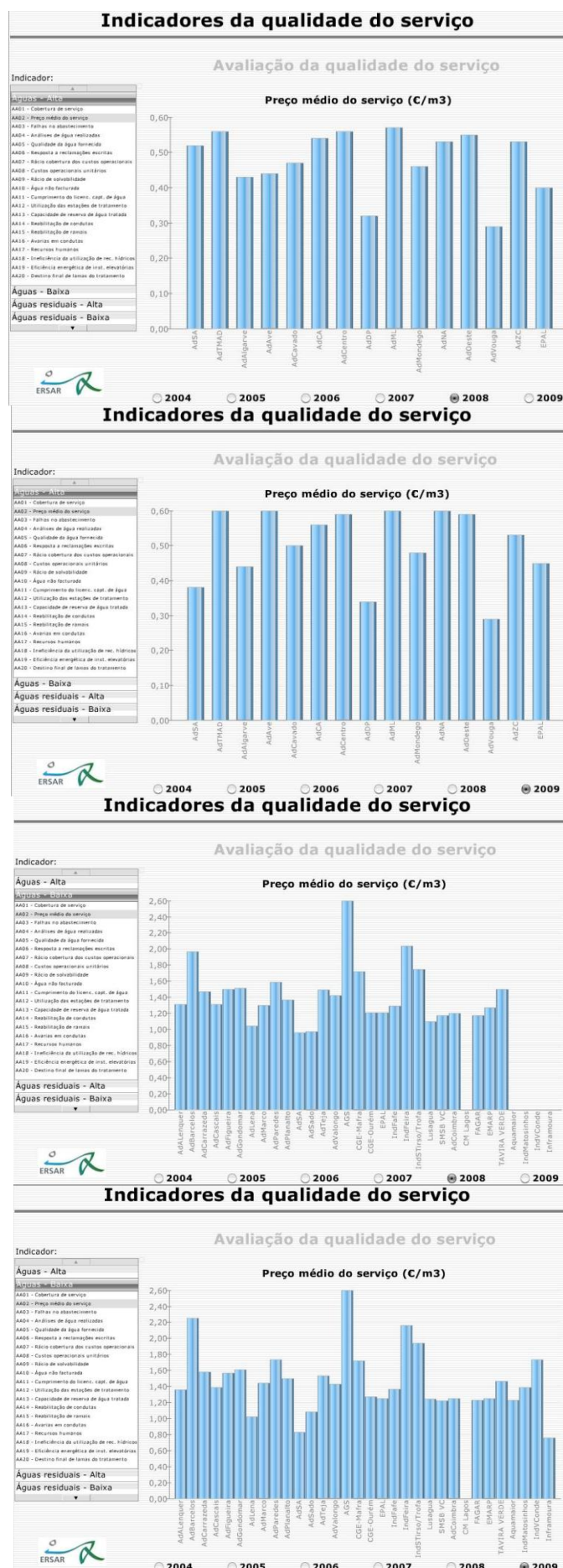




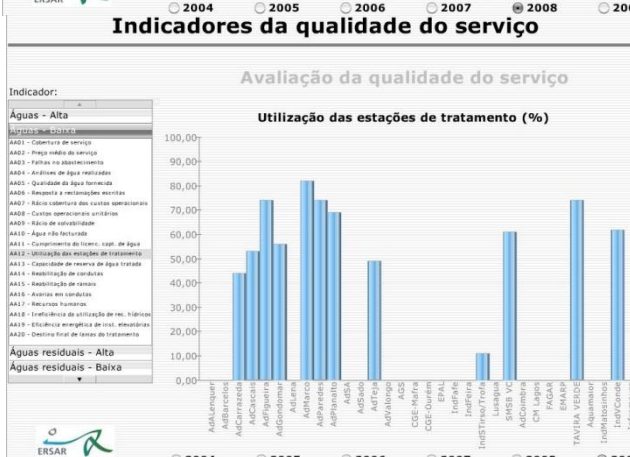














18.3. Anexo 3

Enquadramento Normativo

Encontra-se em vigor desde Outubro de 2006 uma nova directiva para a Metrologia Legal, 2004/22/CEE (Measuring Instruments Directive – MID), sendo esta transposta para a ordem jurídica portuguesa através do Decreto-Lei nº 192/2006, de 26 de Setembro. Segundo o Art.º 21.º deste decreto, referente a disposições transitórias sabe-se que: “No caso de aprovação de modelo com validade indefinida, a permissão referida no número anterior é válida por um período máximo de 10 anos, a partir de 30 de Outubro de 2006”, ou seja um instrumento de medida que tenha sido aprovado ainda com a legislação anterior é válido até 2016.

Em Portugal, o enquadramento normativo dos contadores da antiga abordagem era feito segundo a norma NP 2468:1997. Para contadores da nova abordagem, a norma passa a ser a NP EN 14154:2007. Devido à coexistência entre a antiga e a nova abordagem de contadores de água até 2016, e para uma melhor compreensão entre estas foi ainda publicada uma outra norma, a NP2938:2008.

Relativamente à legislação nacional, destaca-se a Portaria nº21/2007 de 5 de Janeiro, aplicável a “contadores de água limpa, fria ou quente para uso doméstico, comercial ou da indústria ligeira”, que vem revogar a Portaria nº 331/87 aplicável aos contadores de antiga abordagem.

18.4. Anexo 4

Características metrológicas dos contadores

Os contadores apresentam caudais típicos para funcionamento que permitem fazer um melhor controlo do equipamento.

Relativamente aos contadores da antiga abordagem, encontram-se definidos na norma NP 2468:1997 os seguintes caudais típicos ^[19]:

- “Caudal mínimo (Q_{min}) – O menor caudal ao qual o contador não deve exceder os erros máximos admissíveis. O seu valor é fixado em função do valor numérico da designação do contador”
- “Caudal de transição (Q_t) – Valor de caudal situado entre o caudal de sobrecarga e o caudal mínimo e que divide a gama de medição em duas zonas, “zona superior” e “zona inferior”, cada qual caracterizada pelo seu próprio erro máximo admissível.”

- “Caudal permanente (Q_p) – Caudal, ao qual é exigido que o contador funcione de modo satisfatório, em condições normais de uso, ou seja em condições de escoamento estacionário e/ou intermitente.” A este caudal também se pode designar caudal nominal (Q_n).

- “Caudal se sobrecarga (Q_s) – Caudal, ao qual é exigido que o contador funcione de modo satisfatório, por um período de tempo certo sem deterioração; o seu valor é o dobro do valor de Q_p .” A este caudal também se pode designar caudal máximo.

Ao caudal permanente da antiga abordagem também se pode designar por caudal nominal, servindo este para atribuir a designação do contador. Este representa metade do caudal de sobrecarga.

Relativamente aos contadores da nova abordagem, estão definidos, segundo a portaria nº 21 de 2007, os seguintes caudais típicos ^[18]:

“Caudal mínimo (Q_1) — o menor caudal ao qual o contador de água fornece indicações que satisfazem os requisitos relativos aos valores dos erros máximos admissíveis.”

“Caudal de transição (Q_2) — caudal que se situa entre os caudais permanente e mínimo e no qual a gama de caudais é dividida em duas zonas — a zona superior e a zona inferior —, cada uma com valores de erros máximos admissíveis característicos.”

“Caudal permanente (Q_3) — caudal máximo ao qual o contador funciona satisfatoriamente nas condições normais de utilização, isto é, com caudal estável ou intermitente.”

“Caudal de sobrecarga (Q_4) — caudal máximo ao qual o contador funciona satisfatoriamente durante um curto período de tempo sem se deteriorar.”

Como se pode observar, apesar de representados de forma diferente, a definição dos caudais típicos dos contadores não sofreu grandes alterações. De notar que pela nova abordagem a designação do contador é feita agora recorrendo ao Q_3 , sendo que este agora corresponde a 75% do caudal de sobrecarga. ^[mm]

Relativamente à gama de caudais que os novos contadores devem apresentar está definido que estes devem apresentar as seguintes características ^[18]:

$$Q3/Q1 \geq 10;$$

$$Q2/Q1 = 1,6;$$

$$Q4/Q3 = 1,25.$$

Relativamente à relação entre $Q2/Q1$, é definido também pela portaria nº21 de 2007 que até 2012 este quociente pode apresentar os seguintes valores: 1,5; 2,5; 4 ou 6,3.

A designação dos contadores é atribuída segundo o valor de $Q3$, e este pode apresentar os seguintes valores (em m^3/h) ^[20]:

1,0	1,6	2,5	4,0	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

Classes dos contadores

A designação das classes dos contadores da antiga abordagem era feita segundo os caudais Q_{min} e Q_t , como se pode ver na tabela seguinte: ^[mm] ^[19]

Classes	Contadores de Q_n	
	$< 15 m^3/h$	$\geq 15 m^3/h$
Classe A		
Valor de Q_{min}	0,04 Q_n	0,08 Q_n
Valor de Q_t	0,10 Q_n	0,30 Q_n
Classe B		
Valor de Q_{min}	0,02 Q_n	0,03 Q_n
Valor de Q_t	0,08 Q_n	0,20 Q_n
Classe C		
Valor de Q_{min}	0,01 Q_n	0,006 Q_n
Valor de Q_t	0,015 Q_n	0,015 Q_n
Classe D		
Valor de Q_{min}	0,0075 Q_n	----
Valor de Q_t	0,0115 Q_n	----

As melhores eficiências são obtidas com contadores das classes C e D.

Com a aplicação da nova abordagem, o conceito de classe de contador foi substituído pelo factor R , isto é, um intervalo de medição que nos indica a amplitude de funcionamento do contador entre $Q1$ e $Q3$. O valor de R definido por ^[20]:

$$R = \frac{Q_3}{Q_1}$$

Quanto maior o valor de R, ou seja a amplitude de funcionamento, melhor é o contador. É o factor R que vai estabelecer a comparação com as antigas classes, este é adimensional, e pode apresentar um dos seguintes valores ^[20]:

10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

Verificação periódica dos contadores

Como já foi referido anteriormente, os contadores não estão isentos de erros, e com o tempo a probabilidade de ocorrência destes é maior. Desta forma é importante fazer um controlo dos contadores domésticos instalados, através de uma verificação periódica aos mesmos, sendo o intervalo de tempo das verificações dependente do caudal permanente (Q3) de cada contador. A verificação é feita habitualmente pelo Instituto Português da qualidade (IPQ), no entanto esta tarefa pode ser atribuída à Direcção Regional da Economia da área do utilizador ou a outra entidade cuja qualificação esteja reconhecida. ^[18]

Na tabela seguinte é possível observar os prazos para efectuar as verificações, tendo em conta valor de Q3.

Q ₃ (m ³ /h)	Prazo (anos)
≤4	12
De 6,3 a 16	8
De 25 a 63	6
De 100 a 160	4

Erro do contador

Como já mencionado anteriormente, os valores medidos pelos contadores são afectados por factores como o tipo, calibre e classe metrológica do contador; as condições de instalação e de utilização; o tipo e frequência de anomalias na rede de distribuição; e a manutenção que lhe é efectuada.

O erro relativo (ε) de um contador é definido pela seguinte expressão ^{[mm] [20]}:

$$\varepsilon = \frac{(V_i - V_a)}{V_a} \times 100$$

Sendo V_i , o volume indicado e V_a , o volume real. Segundo a Portaria nº21 de 2007, estão definidos dois erros máximos admissíveis para contadores. Entre o caudal mínimo (Q1) e de transição (Q2) (sendo este último exclusivo), o valor do erro máximo admissível, positivo ou negativo, é de 5%, para qualquer temperatura da água. Entre o caudal de transição (Q2), agora inclusive, e o caudal de sobrecarga (Q4) o erro máximo admissível é de 2%, para temperaturas menores ou iguais a 30°C, e 3% para temperaturas superiores a 30°C.

Desta forma, a gama de medição está dividida entre uma zona superior, correspondente ao erro 2% e uma zona inferior, com erro de 5%. A separação entre estas é feita ao caudal de transição.

Tendo em conta que o erro relativo não é o mesmo para todos os caudais de funcionamento dos contadores é possível construir uma curva de erros para o contador. Para tal é necessário fazer a medição dos erros para os diferentes caudais e representá-los graficamente. Uma vez que o mesmo tipo e modelo de contador apresenta curvas de erro muito semelhantes, é possível representar-se a curva de erros características de um determinado modelo. ^[18] [mm]

18.5. Anexo 5

Os Step-Testing efectuados na Indaqua Santo Tirso/Trofa, consistem no fecho progressivo das válvulas de seccionamento (VS) dentro da ZMC, partindo das zonas hidráulicamente periféricas e caminhando no sentido do medidor existente, efectuando o registo de caudais em cada uma das fases do ensaio. Desta forma, vai-se isolando e medindo áreas progressivamente mais pequenas, centradas no ponto de medição da ZMC. Uma das dificuldades desta metodologia é a necessidade de ser efectuada nas horas de consumos mínimo, normalmente entre as 2 e as 4 horas da manhã, (as quais as indaqua estende para as 00h até às 8h) o que obriga a que todos os passos planeados sejam realizados num tempo limite. Estes testes envolvem sempre duas equipas de trabalho em horário extraordinário: uma equipa para fazer o registo dos caudais e outra para efectuar os fechos propriamente ditos.

O planeamento e realização de um Step-Test passa por:

- ✓ Analisar o cadastro da rede de abastecimento;

- ✓ Escolher as válvulas de seccionamento para os fechos;
- ✓ Analisar e simular, no cadastro, o fecho sequencial das VS escolhidas, em cada passo;
- ✓ Assinalar, no cadastro, os diferentes passos a realizar;
- ✓ Verificar o estado de funcionamento de cada uma das VS escolhidas;
- ✓ Fechar sequencialmente das VS;
- ✓ Registar as variações de caudal entre cada passo;
- ✓ Análise e confronto dos diversos dados obtidos pelo sistema de Telemetria;
- ✓ Analisar dos resultados obtidos.

Através destes ensaios, aplicados ao Sistema Público de Abastecimento gerido pela Indaqua de Santo Tirso/Trofa, foi possível localizar e reparar várias fugas de água.

18.6. Anexo 6

- Balanço hídrico obtido por cálculo em folha de Excel.

Poderá ter acesso ao ficheiro Excel recorrendo a um browser da Internet, seguindo o link que se apresenta de seguida para efectuar o download do ficheiro.

<http://feupload.fe.up.pt/get/SELqeY0pOomLtLE>

18.7. Anexo 7

Correspondência dos consumos (ramais de ligação à conduta) com as respectivas ruas (condutas), apresentam-se os Coeficientes de Ponderação de Consumo (cpc), consumo nos Nós, entre outros.

Poderá ter acesso ao ficheiro Excel recorrendo a um browser da Internet, seguindo o link que se apresenta de seguida para efectuar o download do ficheiro.

<http://feupload.fe.up.pt/get/8nhcTodu82GXhu9>

18.8. Anexo 8

Ficheiro Excel onde se apresenta o cálculo do 'cpp' que permite a distribuição do caudal de perdas por todos os Nós instalados tendo em conta os valores medidos de caudal à saída do reservatório, o comprimento das condutas e o respectivo número de ramais ligados a estas.

Poderá ter acesso aos ficheiros Excel recorrendo a um browser da Internet, seguindo os links que se apresentam de seguida para efectuar o download do ficheiro.

<http://feupload.fe.up.pt/get/24YBLwBYAJHHjer>

<http://feupload.fe.up.pt/get/k8wqmCSOvkO3OSS>

18.9. Anexo 8.1

Volumes de água recuperados em cada um dos cenários propostos, bem como para cada uma das ZGP. Apresentação de uma breve Análise Custo Benefício sobre um cenário representativo da média dos 3 cenários apresentados.

Poderá ter acesso ao ficheiro Excel recorrendo a um browser da Internet, seguindo o link que se apresenta de seguida para efectuar o download do ficheiro.

<http://feupload.fe.up.pt/get/qPiQzIE0B1dWP0L>

18.10. Anexo 9

Dados de Pressão para calibrar as 2 VRPs. Apresentação gráfica de factores médios da pressão máxima e mínimos obtidos do final do mês de Novembro e início do mês de Dezembro.

18.11. Anexo 10

Tarifário da INDAQUA Santo Tirso/Trofa 2009/2010 a vigorar desde 1 de Janeiro de 2009.

18.12. Anexo 11

Esquema representativo do número de reservatórios da INDAQUA Santo Tirso/Trofa.

18.13. Anexo 12

Cadastro da rede de abastecimento de água Sistema R12 – S. Romão e S. Mamede do Coronado.