



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

Controlo de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água - Aplicação ao Sistema de Distribuição de Verdelhos

Filipe Marcelo Gouveia Barata

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof.^a Doutora Cristina Maria Sena Fael

Covilhã, Outubro de 2010

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho beneficiou da contribuição de várias pessoas a quem desejo manifestar o meu profundo agradecimento.

À Prof^a. Cristina Fael, Professora Auxiliar da Universidade da Beira Interior, orientadora científica deste trabalho, pela sua total disponibilidade e apoio à elaboração do mesmo.

Às Águas da Covilhã, pelos dados disponibilizados. Em particular ao Eng. Maurício pelo apoio e tempo disponibilizados.

Aos meus amigos, pelo apoio e carinho ao longo desta fase.

Finalmente à minha família, pela confiança, incentivo e amizade que sempre demonstraram.

RESUMO

O estudo do controlo de perdas de água tem ganho relevância nas últimas décadas, não só pela escassez do próprio recurso, mas também por ser uma tarefa pouco eficiente para as entidades administradoras quando comparada com outras. A ineficiência no controlo das perdas de água tem consequências para as entidades gestoras de abastecimento de água e, por conseguinte, para os consumidores.

O presente trabalho tem como objectivo analisar os avanços que têm sido desenvolvidos na temática do controlo de perdas, avaliar o funcionamento do sistema de distribuição de água de Verdelhos e localizar as perdas de água existentes. Para o efeito, avaliaram-se indicadores de desempenho, calcularam-se as perdas de água e simulou-se o sistema de distribuição no programa EPANET.

Do estudo efectuado conclui-se que a rede analisada é pouco eficiente. Esta tem uma elevada percentagem de perdas, cerca de 70%, essencialmente perdas reais que envolvem fugas e roturas, estando dispersas ao longo de toda a rede. Consequentemente, o desempenho do sistema é fraco quando comparado com outras redes já estudadas e, para o melhorar, é imperativa a aplicação de medidas de redução de perdas.

PALAVRAS-CHAVE: Redes de distribuição de água; Controlo de perdas de água; Detecção de fugas; EPANET

ABSTRACT

The study on water loss control is becoming relevant through the last decades, not only for the lack of the resource itself but also, for being a little efficient task to the administrative entities when compared to others. The inefficiency in water loss control has some consequences to the managing organisms of water supply and therefore, to the consumers.

The present work aims to analyse the progress that has been done in the loss control, to evaluate the performance of the water distribution network of Verdelhos and, to detect water losses in it. For this purpose performance indicators and water losses were calculated as well as the use of the hydraulic simulator EPANET.

After this study we may conclude that the analysed network is of little efficiency. It shows a high percentage of losses, about 70%, which are essentially real losses implying leaks and disruptions scattered along the whole network. It is also proved that the system performance is weak when compared to other networks already studied. It is imperative and of high priority, the use of plans of loss reduction to improve it.

KEYWORDS: Water distribution networks; Water loss control; Leakage Detection; EPANET

ACRÓNIMOS

ADC	Águas da Covilhã
AEPSA	Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente
AFMD	Água Facturada Média Diária
ANFMD	Água Não Facturada Média Diária
AQA	Análise de Qualidade de Água
Cad	Computer-aided Design
CAD	Consumo Autorizado Doméstico
CAGC	Consumo Autorizado Grandes Clientes
CAN	Consumo Autorizado Nocturno
CAND	Consumo Autorizado Não Doméstico
CARL	Nível de Perdas Reais por Número de Ligações e Dias de Serviço por Ano
CZ	Consumo Médio Diário
ETA	Estação de Tratamento de Água
FND	Factor de Correção Noite-dia
IGU	Interface Gráfica com o Utilizador
ILI	Índice Infra-estrutural de Perdas
INAG	Instituto Nacional da Água
IWA	International Water Association
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Perdas Aparentes
PEASAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
PEAD	Poliétileno de Alta Densidade
PNA	Plano Nacional da Água
PR	Perdas Reais
PVC	Policloreto de Vinilo
RASARP	Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal
RNF	Reservatório de Nível Fixo

RNV	Reservatório de Nível Variável
UARL	Nível de Perdas Irrecuperáveis por Dia
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VFT	Volume de Água Facturada Total
VRP	Válvula Redutora de Pressão
WBI	World Bank Institute
ZMC	Zona de Medição e Controlo

SIMBOLOGIA

L_m	Comprimento das Linhas de Distribuição
N_c	Número de Ligações
L_p	Comprimento das Linhas de Distribuição desde o Medidor até ao Cliente
p	Pressão Média do Sistema
q_i^t	Consumo no Nó i no Instante t
q_i	Consumo-base no Nó i
p^t	Valor do Padrão de Consumo no Instante t
C	Coefficiente da fórmula de Hazen-Williams
ε	ε - Rugosidade absoluta
f	Factor de Darcy-Weibasch
n	Coefficiente de rugosidade de Manning
d	Diâmetro da tubagem
L	Comprimento da tubagem
Q	Caudal
h_L	Perda de carga
q	Caudal
A	Termo de Perda de carga
B	Expoente do caudal

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Acrónimos	vi
Simbologia	viii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2 Síntese de conhecimentos	3
2.1 Água	3
2.1.1 Água no mundo e reservas mundiais	3
2.1.2 Consumo de água e stress hídrico	4
2.1.3 Água em Portugal	4
2.1.4 Utilização eficiente da água	6
2.1.5 Economia da água	6
2.1.6 Entidades gestoras	7
2.2 Perdas de água	10
2.2.1 Caracterização de perdas, factores determinantes	10
2.2.2 Balanço hídrico	11
2.2.3 Indicadores de desempenho	16
2.2.4 Modelação de redes	20
2.2.5 Métodos de detecção e localização de fugas	22
2.2.6 Métodos de avaliação de perdas	30
2.2.7 Medidas para redução de perdas	32
2.2.8 Nível económico de perdas	33
3 Caso de estudo	35
	ix

3.1	Considerações gerais	35
3.2	Caracterização da rede	35
3.3	Aplicação do EPANET à rede	38
3.3.1	Concepção do modelo da rede a partir de desenhos Cad	39
3.3.2	Descrição de consumos e caudais	40
3.3.3	Padrão temporal	42
3.4	Calibração do modelo	44
3.5	Resultados obtidos	46
3.5.1	Estimativa das perdas reais pelo método dos caudais mínimos nocturnos	46
3.5.2	Cálculo de ILI	48
3.5.3	Análise de sensibilidade da rede	49
4	Conclusões	56
	Referências Bibliográficas	57
	ANEXOS	59
	Anexo 1.1 Dados relativos ao cenário 1	60
	Anexo 1.2 Dados relativos ao cenário 2	62
	Anexo 1.3 Dados relativos ao cenário 3	64
	Anexo 1.4 Dados relativos ao cenário 4	66
	Anexo 1.5 Dados relativos ao cenário 5	68
	Anexo 1.6 Dados relativos ao cenário 6	70
	Anexo 2.1 Envoltentes do caudal instantâneo ao longo da semana	72
	Anexo 2.2 Envoltentes do caudal instantâneo ao longo do dia	72
	Anexo 2.3 Padrões adimensionais de caudal	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Nível de perdas em vários países europeus (Duarte, 2009)	1
Figura 2- Bacias hidrográficas Luso-Espanholas (http://aguapublica.no.sapo.pt/lusesp/lusesp.htm) .	5
Figura 3- Distribuição geográfica dos diferentes modelos de gestão dos sistemas de abastecimento (PEAASAR, 2007)	8
Figura 4- Cobertura do abastecimento de água por concelho em Portugal (Costa, 2007).....	9
Figura 5- Exemplos de perdas de água em sistemas públicos de distribuição (Antunes <i>et al.</i> , 2009)	11
Figura 6- Exemplos de perdas de água em acessórios da rede de distribuição (Antunes <i>et al.</i> , 2009)	11
Figura 7- Componentes do balanço hídrico (Alegre <i>et al.</i> , 2005)	14
Figura 8- Resultados da aplicação do ILI a 27 sistemas de distribuição (Lambert e McKenzie, 2002)	18
Figura 9- Equipamentos utilizados para detecção e localização de fugas (Antunes <i>et al.</i> , 2009).....	22
Figura 10- Sistema de medição zonada, com 3 zonas principais, estando a zmc2 dividida em duas subzonas (Alegre <i>et al.</i> , 2005)	23
Figura 11- Localização aproximada por subzonamento (a) por fecho de válvulas (b) utilizando medidores (adaptado de Alegre <i>et al.</i> , 2005)	25
Figura 12- Dataloggers e sua colocação sobre uma válvula de seccionamento (Antunes <i>et al.</i> , 2009)	25
Figura 13- Sondagens acústicas: a) sondagem acústica directa; b) sondagem acústica indirecta.....	27
Figura 14- Ilustração esquemática do método de correlação acústica (Hunaidi, 2000).....	28
Figura 15- Exemplos de correladores acústicos portáteis (Antunes <i>et al.</i> , 2009)	28
Figura 16- Expoente N1 em função do ILI e do material da rede (adaptado de Duarte, 2009)	32
Figura 17- Nível económico de perdas (Alegre <i>et al.</i> , 2005)	34
Figura 18- Localização de Verdelhos	35
Figura 19- Freguesia de Verdelhos	36
Figura 20- Estação de tratamento e reservatório de armazenamento de 100 m ³	36
Figura 21- Reservatório de distribuição de 100 m ³	37
Figura 22- Esquema da rede com indicação da localização dos seus componentes.....	37
Figura 23- Rede no EPANET com indicação das cotas dos nós e diâmetros das tubagens.....	40
Figura 24- Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com os componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal (Coelho <i>et al.</i> , 2006)	40

Figura 25- Atribuição dos consumos na conduta aos nós inicial e final (Coelho et. al., 2006).....	41
Figura 26- Padrão adimensional do consumo da rede de Verdelhos	42
Figura 27 - Padrão de consumo adimensional inserido no EPANET	43
Figura 28- Padrão unitário inserido no EPANET	43
Figura 29- Localização dos pontos de medição de pressões utilizados na calibração do modelo	45
Figura 30- Padrão de consumo dimensional.....	46
Figura 31- Resultados da aplicação do ILI em diversos sistemas de abastecimento, com destaque para o resultado do sistema em estudo	48
Figura 32- Pressões obtidas com simulação do cenário 1.....	50
Figura 33- Pressões obtidas com simulação do cenário 2.....	50
Figura 34- Rede com destaque para os nós pelos quais se distribuiu a água perdida no cenário 3 ...	51
Figura 35- Pressões obtidas com simulação do cenário 3.....	51
Figura 36- Rede com destaque para os nós pelos quais se distribuiu a água perdida no cenário 4 ...	52
Figura 37- Pressões obtidas com simulação do cenário 4.....	52
Figura 38- Rede com destaque para os nós pelos quais se distribuiu a água perdida no cenário 5 ...	53
Figura 39- Pressões obtidas com simulação do cenário 5.....	53
Figura 40- Rede com destaque para os nós em que se aplicou a fuga e se mediram as pressões do .	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição de água no planeta (adaptado de Shiklomanov, 1993)	3
Tabela 2- Infra-estruturas de sistemas de distribuição de água em Portugal (adaptado de RASARP2008, 2009)	5
Tabela 3- Modelos de gestão em Portugal (adaptado de PEAASAR, 2007)	9
Tabela 4- Componentes do balanço hídrico (Alegre et al., 2005).....	15
Tabela 5- Indicadores de desempenho relativos a perdas de água, recomendados pelo IWA (Alegre <i>et al</i> , 2004).....	16
Tabela 6 Atribuição de ILIs ao sistema World Bank Institute Banding (Sistema de Bandas do Instituto do Banco Mundial) (Adaptado de Costa, 2007)	19
Tabela 7- Actividades prioritárias para as bandas WBI de A a D (Costa, 2007)	19
Tabela 8- Programas de modelação hidráulica (Vidigal, 2008)	21
Tabela 9- Comprimento, material e diâmetro das condutas.....	38
Tabela 10- Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos em pressão	39
Tabela 11 - Pressões medidas na rede	45
Tabela 12- Estimativa do consumo autorizado nocturno	47
Tabela 13- Estimativa das Perdas Reais	47
Tabela 14- Estimativa das perdas aparentes.....	47
Tabela 15- Componentes de cálculo do ILI	48
Tabela 16- Cenários para análise de sensibilidade da rede	49
Tabela 17- Registo das pressões antes e durante a aplicação do cenário 6	54
Tabela 18- Velocidades de escoamento máximas recomendadas para cada diâmetro.....	55

1 Introdução

1.1 Enquadramento geral

De acordo com Covas (1998) as perdas de água podem ser definidas como o volume de água perdido, avaliado pela diferença entre o volume de água entrado no sistema de abastecimento e o volume de água medido e estimado à saída, para os diferentes serviços de percurso.

O estudo do controlo de perdas de água tem ganho relevância nas últimas décadas, não só pela escassez do próprio recurso, mas também por ser uma tarefa pouco eficiente para as entidades administradoras quando comparada com outras.

A ineficiência no controlo das perdas de água tem consequências para as entidades gestoras de abastecimento de água e, por conseguinte, para os consumidores. A não facturação de toda a água captada, tratada e distribuída traduz-se na diminuição da rentabilidade dos sistemas e aumento dos custos operacionais devido a consumos desnecessários no processo de produção. Esta ineficácia do sistema obriga a tarifar o produto a preços mais elevados, com prejuízo para os consumidores finais.

Em Portugal estima-se que as perdas reais de água representem cerca de 40% da água fornecida aos sistemas de abastecimento, o que corresponde a cerca de 70 milhões de euros anuais (Alegre *et al.*, 2005). Na figura 1 estão representados valores de perdas de alguns países europeus.

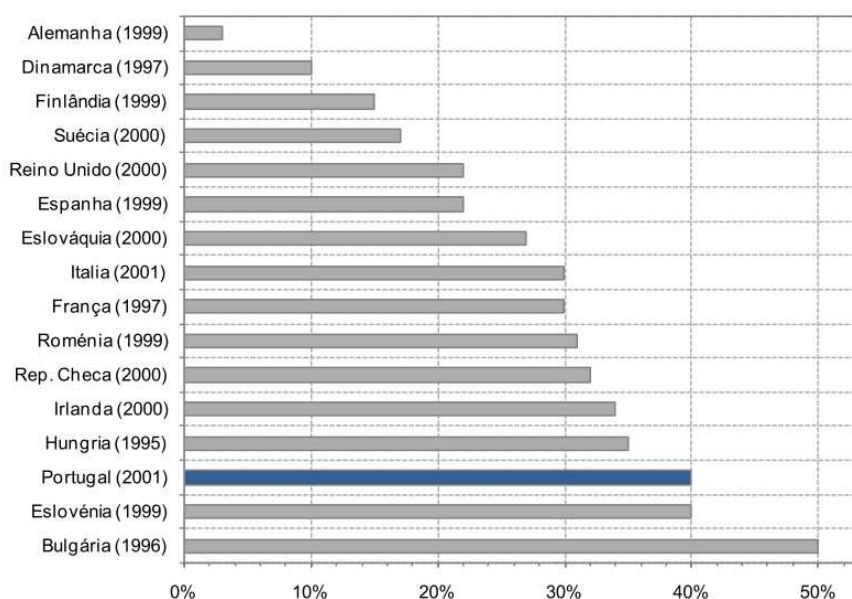


Figura 1- Nível de perdas em vários países europeus (Duarte, 2009)

Nos sistemas de distribuição de água as perdas não podem ser eliminadas totalmente. No entanto, podem ser minimizadas através de uma gestão adequada. Esta gestão adequada passa por fazer manutenção dos sistemas, modernizar as redes, haver um sistema de gestão de fugas e roturas, ter sistemas de leitura e cobrança eficientes, ter contadores adequados e em bom estado, etc.

Pelo exposto, o controlo das perdas de água nos sistemas de distribuição deve ser encarado como um objectivo a seguir pelas entidades gestoras, de modo a permitir um benefício económico para entidades e utilizadores, bem como vantagens ambientais e de eficácia das empresas gestoras.

1.2 Objectivos

Este trabalho pretende:

- Analisar os avanços que têm sido desenvolvidos na temática do controlo de perdas;
- Avaliar o desempenho do sistema de distribuição de água da localidade de Verdelhos e detectar fugas neste.

1.3 Estrutura do trabalho

A presente dissertação está dividida em quatro capítulos e anexos, sendo o presente capítulo a introdução.

No capítulo 2 apresenta-se, numa primeira parte, um conjunto de conceitos chave sobre a água, mencionando as reservas mundiais deste recurso, o consumo característico de água, aspectos sobre a economia da água e as entidades gestoras. Na segunda parte do capítulo, procede-se à revisão de conhecimentos mais relevantes existentes na literatura. Este capítulo, subdivide-se em sete sub-capítulos que abordam características das perdas, indicadores de desempenho, modelação de redes, detecção e localização de fugas, métodos de avaliação de perdas, métodos para redução de perdas e nível económico de perdas.

O caso de estudo é apresentado no capítulo 3. Neste descreve-se a rede, explica-se a aplicação do EPANET à rede, aborda-se a calibração do modelo e analisam-se os resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 4, expõem-se as principais conclusões obtidas com a realização do trabalho.

Apresentam-se ainda anexos com dados relativos aos vários cenários estudados e alguns outputs do software TradebXL4.0.

2 Síntese de conhecimentos

2.1 Água

2.1.1 Água no mundo e reservas mundiais

A água é um elemento vital para os seres vivos e para a conservação do equilíbrio da Natureza. Dela depende o Homem, cujo organismo é composto por 70% de água, as plantas, os animais e todas as actividades humanas como agricultura, indústria, saúde, desporto, cultura, produção de energia, transportes, etc.

Desde 1993 que se celebra anualmente, a 22 de Março, o Dia Mundial da Água, estabelecido pela Organização das Nações Unidas - ONU um ano antes. Este tem como objectivo salientar a importância deste tema central na situação actual, e promover o debate entre países sobre recomendações e medidas a tomar para a preservação e gestão da água.

Apesar de ser difícil quantificar com rigor a distribuição da água na Terra, estudos efectuados (Shiklomanov, 1993) permitem afirmar que 97% da água no nosso planeta é salgada e apenas 3% é doce. No entanto, a água doce não está toda disponível dado que grande parte se encontra nos glaciares sob estado sólido, sobrando assim apenas cerca de 1% da água total no planeta para ser utilizada pelo homem. É ainda de salientar que, esta reduzida quantidade disponível deve ser tratada antes de ser utilizada pelo homem.

Na tabela 1 apresenta-se a distribuição de água no planeta.

Tabela 1- Distribuição de água no planeta (adaptado de Shiklomanov, 1993)

Água	Água total (%)	Água doce (%)
Oceanos	96,5	
Subterrânea	1,69	0,76
Humidade no solo	0,0012	0,0012
Gelo	1,7	1,7
Lagos	0,013	0,007
Pântanos	0,0008	0,0008
Rios	0,0002	0,0002
Água biológica	0,0001	0,0001
Água atmosférica	0,001	0,001
Total	100	2,5

2.1.2 Consumo de água e stress hídrico

O consumo de água por habitante é um dos indicadores mais importantes para avaliar o nível de vida de uma sociedade (Peixoto, 1977), sendo este bastante superior nos países desenvolvidos em relação aos países em via de desenvolvimento. Nos países desenvolvidos da América, Oceânia e Europa os consumos variam, em média, entre os 300 e os 400 l/hab/dia, enquanto no Continente Africano este se situa entre os 10 e os 15 l/hab/dia.

Actualmente a oferta da água já é inferior à procura, mas a situação pode agravar-se bastante devido ao aumento da população e aos padrões de vida cada vez mais elevados. Vários estudos científicos prevêem, como certo, que até 2025 a procura de água aumentará 50% nos países em desenvolvimento e 18% nos países desenvolvidos, estimando-se que nessa altura dois terços da população viva em situação de escassez de água, facto que decorre do significativo crescimento da população, sobretudo nos países mais pobres, e da sua concentração em grandes cidades. Este significativo aumento na procura de água terá como consequência o aumento de população que sofre **stress hídrico**¹. As regiões mais afectadas por este fenómeno são as que são intensamente povoadas, com grande procura de água.

2.1.3 Água em Portugal

Devido à relevância da água para o Homem, desde sempre as sociedades tiveram tendência para se estabelecerem perto das zonas com água. Em Portugal tal facto também se verifica, visto que as principais cidades, tal como Lisboa, Porto, Coimbra, Aveiro e Faro, se encontram perto do mar ou de rios.

Apesar de Portugal ser um país com alguma abundância de água, principalmente quando comparado com outros países europeus, por vezes, também surgem casos críticos, devidos não só à quantidade como também à qualidade (poluição). A aparente riqueza hídrica do nosso país esconde casos de escassez localizados que ocorrem ciclicamente durante períodos secos. Tal, deve-se ao facto de Portugal passar por fases em que a precipitação é significativamente inferior à média, o que pode conduzir a situações em que a capacidade de armazenamento disponibilizada pelas albufeiras e pelos aquíferos explorados não é suficiente para satisfazer todas as necessidades de consumo de água. É de referir que as bacias hidrográficas sujeitas a maior stress hídrico estão maioritariamente localizadas a sul do Tejo (PNA, 2002). Para além dos problemas de quantidade existem ainda problemas associados à falta de qualidade da água, como acontece com a contaminação da Ria Formosa. Podem existir ainda problemas de disputas e conflitos com Espanha, já que uma larga percentagem dos recursos hídricos que afluem ao território português provém de Espanha, com quem partilha as bacias hidrográficas dos rios Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana (Figura 2).

¹ Stress hídrico refere-se às situações em que a água existente não é suficiente para toda a procura

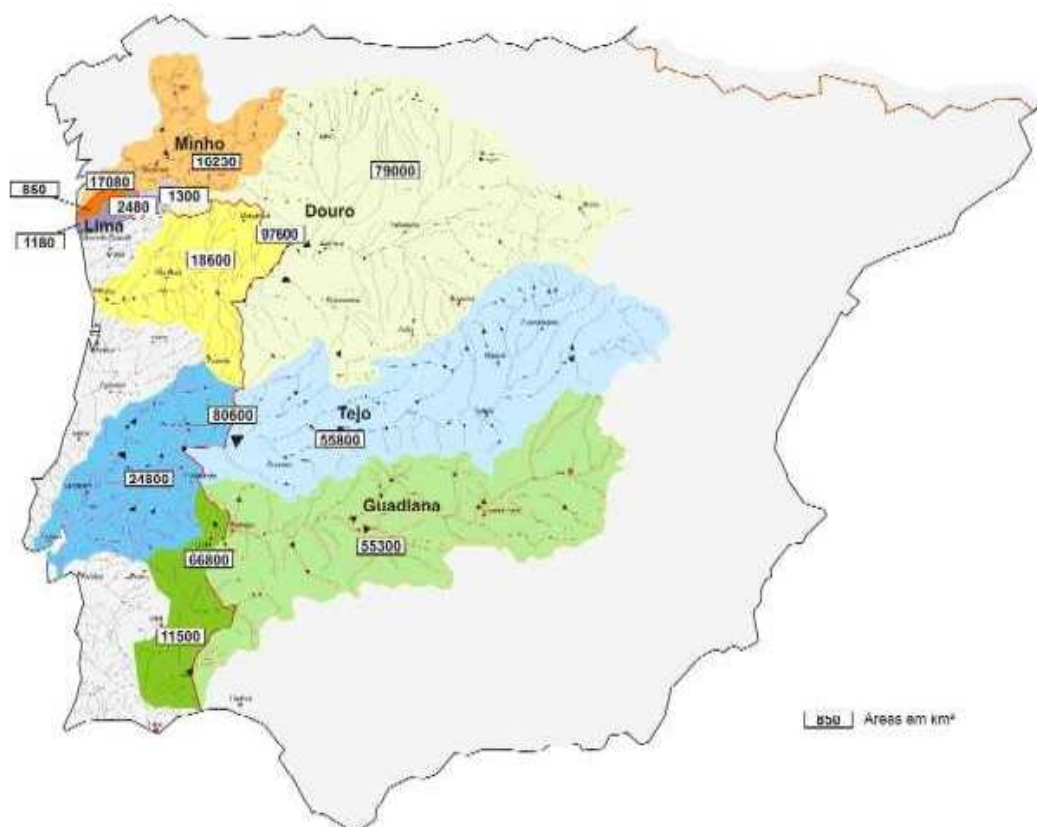


Figura 2- Bacias hidrográficas Luso-Espanholas (<http://aguapublica.no.sapo.pt/lusesp/lusesp.htm>)

Em termos de infra-estruturas, pese embora o País já esteja dotado de boas bases, persiste ainda uma fase de grande investimento, perspectivando-se a manutenção de elevado investimento nos próximos anos, para qualquer uma das actividades dos sectores das águas e resíduos. Na tabela 2 apresentam-se dados das infra-estruturas relativas a sistemas de distribuição de água em Portugal.

Tabela 2- Infra-estruturas de sistemas de distribuição de água em Portugal (adaptado de RASARP2008, 2009)

Nº de Captações	ETA (nº)	Estações Elevatórias (nº)	Condutas (Km)	Reservatórios (nº)
6338	2482	8397	32662	10115

A agricultura é, segundo dados do Instituto Nacional da Água - INAG, o sector que mais água consome em Portugal com cerca de 75% do total nacional consumido. Depois, com consumos bem menores, surgem os sectores energético com 14%, o doméstico com 7% e a indústria que não utiliza mais do que 4%. Há ainda o turismo, mas já com um consumo quase insignificante.

2.1.4 Utilização eficiente da água

Dada a importância deste recurso torna-se fundamental geri-lo eficazmente, de modo a não pôr em causa a vida no planeta. É assim necessário acabar com certos hábitos de má utilização e desperdício e implementar medidas de racionalização do seu uso, sob pena deste se esgotar.

Em Portugal está em vigor, desde 2005, o Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água, tendo como objectivo aumentar a sua eficiência. Este programa estabelece detalhadamente 87 medidas, divididas consoante o tipo de utilização (uso urbano, uso agrícola e uso industrial). Segundo o Programa, o maior desaproveitamento de água surge no sector da agricultura, com desperdícios de cerca de 88%, tornando-se assim o objectivo primordial deste.

As medidas técnicas, de interesse da Engenharia, passam pela redução de perdas de água e controlo de pressões nos sistemas de abastecimento; isolamento térmico do sistema de distribuição de água quente; instalação de sistemas de poupança de água nas redes prediais; racionalização do consumo doméstico, privilegiando a reutilização de água; e ainda aplicação de novas tecnologias de gestão de informação e controlo à distância, que possibilitam a avaliação instantânea das condições dos sistemas de produção, tratamento e distribuição de águas.

Salientam-se ainda algumas medidas que passam pelo uso de equipamentos domésticos mais eficientes, como autoclismos de dupla acção e chuveiros de menor consumo, que permitem uma redução importante no consumo de água. Para poupança de água pode também contribuir a alteração de diversos hábitos domésticos tais como optar pelo duche em vez de banho de imersão, reduzir o tempo deste, lavar dentes e fazer a barba com a torneira fechada, utilizar as máquinas da louça e da roupa sempre com carga máxima, colocar cobertura nas piscinas, etc.

2.1.5 Economia da água

O valor económico da água tem vindo a subir nas últimas décadas, por um lado resultante do aumento do consumo, devido a factores já referenciados, e por outro lado devido à escassez do recurso. Isto fez com que a utilização de instrumentos económicos e financeiros assumisse, importância crescente na gestão sustentável da água.

As políticas ambientais da União Europeia têm vindo a integrar gradualmente estes princípios económicos que incentivam a utilização sustentável dos recursos hídricos, com o objectivo de beneficiar, de modo geral, todos os agentes intervenientes.

A integração da água, no contexto de um mercado económico, faz com que seja possível recuperar grande parte dos custos de exploração, manutenção e gestão, incluindo o custo de escassez (PNA, 2002).

O valor económico da água está dependente do **mercado da água**, que deve ser caracterizado tendo em conta 3 aspectos fulcrais:

- A procura, que avalia as necessidades da água através dos volumes de água consumidos nos vários sectores;
- A oferta, que revela as disponibilidades hídricas, tanto de origem superficial como subterrânea, afectas aos vários sectores;
- Os custos de utilização deste recurso, com destaque para os custos dos serviços de utilização, custos de recurso ou escassez e custos ambientais.

Uma das medidas mais importantes que surgiu na política da água, foi a adopção pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da União Europeia, em Outubro do ano 2000, da **Directiva Quadro da Água** (Directiva 2000/60/CE). A União Europeia estabeleceu assim uma política da água com um enquadramento transparente, eficaz e coerente, baseado num conjunto de princípios de modo a garantir uma utilização mais eficaz. A norma prevê a implementação de uma política de tarifação que incentive o uso sustentável dos recursos hídricos e que seja capaz de cobrir os custos dos serviços de água.

Em Portugal, as entidades gestoras são livres de adoptar diferentes **políticas de preço** levando, por vezes, a grandes diferenças nos preços de água.

As despesas que as várias entidades têm nos diferentes processos, desde a captação da água até ao consumo desta pelos utilizadores, devem ser suportadas por todos. As receitas obtidas devem cobrir os custos de serviço. Para que o preço pago pelo utilizador seja justo devem-se adoptar os princípios do Utilizador / Pagador e Poluidor / Pagador, nos quais o utilizador suporta os custos de disponibilização do recurso, orçados de acordo com os volumes consumidos e/ou do quanto polui. Os esquemas tarifários devem assim discriminar os preços por tipo de utilização e sinalizar os comportamentos de utilização racional e imparcial deste recurso (Costa, 2007).

2.1.6 Entidades gestoras

Pode-se dizer que a gestão da água em Portugal está dividida em duas partes, a gestão dos recursos hídricos, regulada pelo Estado português com a colaboração do INAG e das Administrações das Regiões Hidrográficas, e a gestão dos sistemas públicos de abastecimento, podendo estes ser geridos de cinco formas diferentes, de acordo com Decreto-Lei n.º362/98 de 18 de Novembro:

- Municípios;
- Associações de municípios;
- Serviços municipalizados de água e saneamento;
- Empresas públicas municipais;
- Empresas concessionárias de sistemas multimunicipais e municipais.

Nos termos do Decreto-Lei n.º 379/93 de 5 de Novembro, os sistemas multimunicipais são distintos dos municipais. Os primeiros são sistemas em «alta» (a montante da distribuição de água ou a jusante da colecta de esgotos e sistemas de tratamento de resíduos sólidos), que circunscrevam a área de pelo menos dois municípios e imponham um investimento preponderante do Estado; os segundos são todos os sistemas em «baixa», independentemente de a sua gestão poder ser municipal ou intermunicipal, onde se incluem os sistemas geridos pelas associações de municípios.

Assim, as empresas municipais podem ser constituídas por um único município, por mais do que um município (empresa intermunicipal) e/ou por um ou mais municípios em parceria com uma terceira entidade, pública ou privada, sendo que esta terá de dispor de um capital minoritário, ou seja, inferior a 50% (Costa, 2007). Na tabela 3 apresentam-se números relativos aos diferentes modelos de gestão existentes em Portugal e na figura 3 a sua distribuição geográfica.

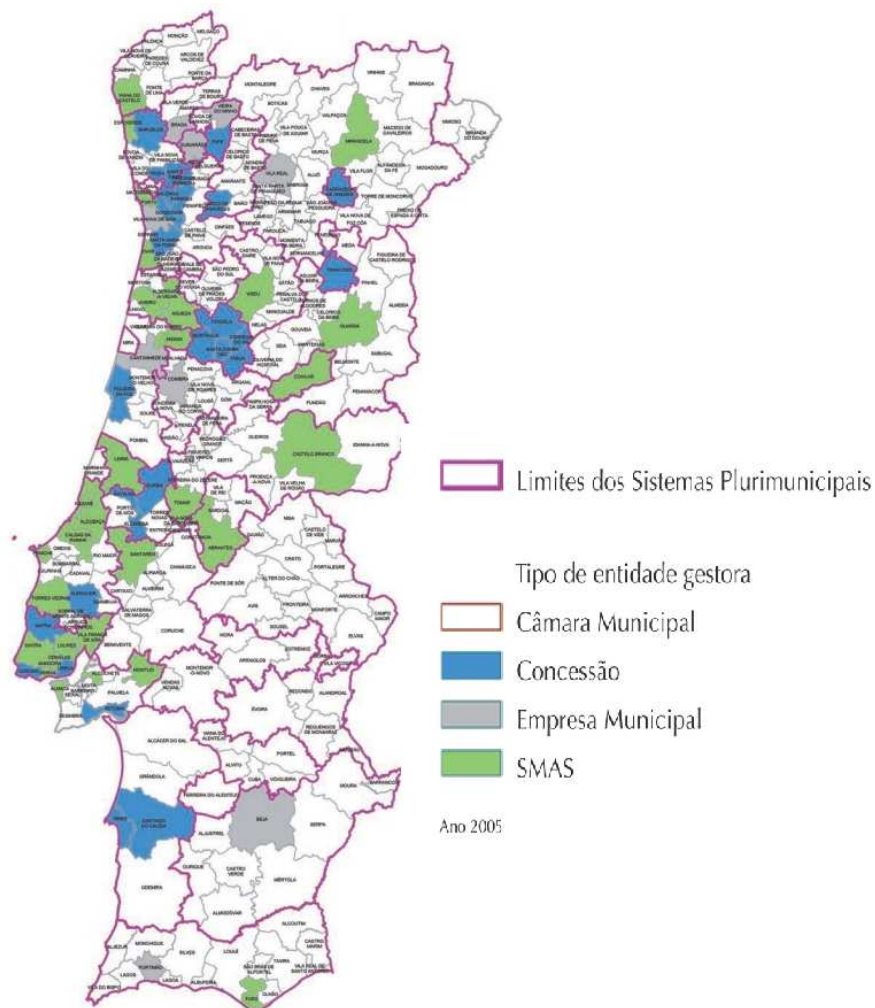


Figura 3- Distribuição geográfica dos diferentes modelos de gestão dos sistemas de abastecimento (PEASAR, 2007)

Tabela 3- Modelos de gestão em Portugal (adaptado de PEAASAR, 2007)

Modelos de Gestão	Nº
Serviços municipais	210
Serviços municipalizados	33
Empresas municipais	9
Concessões	26
TOTAL	278

De acordo Marques e Levy (2006), o abastecimento domiciliário de água em Portugal em finais de 2005 é da ordem dos 93%, valor próximo da média da Europa Comunitária, cerca de 95%. A figura 4 representa o grau de cobertura do serviço de abastecimento de água por concelho.

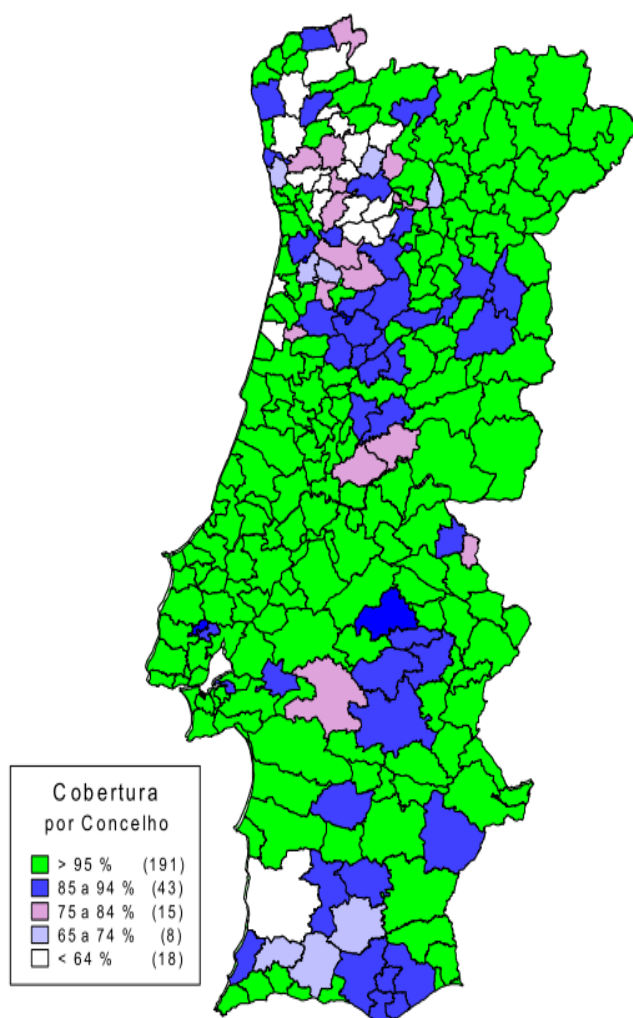


Figura 4- Cobertura do abastecimento de água por concelho em Portugal (Costa, 2007)

O estudo refere ainda que o país possuía cerca de 4,9 milhões de contadores instalados, sendo que 89% pertenciam a clientes domésticos, 7% a clientes industriais e 4% às restantes classes. Em Portugal o número médio de habitantes por contador doméstico é de 2.3.

2.2 Perdas de água

2.2.1 Caracterização de perdas, factores determinantes

As perdas de água dividem-se em reais e aparentes.

As perdas reais são as que se verificam na rede, até ao ponto de medição do cliente, envolvendo fugas e roturas. Estas podem ser influenciadas por diversos factores, tais como: o estado de conservação das condutas e seus componentes; a frequência de fugas e roturas; o comprimento dos ramais; a pressão média de serviço; e o tipo de solo e condições do terreno.

As perdas aparentes referem-se aos volumes consumidos mas não contabilizados, decorrentes de fraudes, ligações clandestinas ou erros de medição. Este tipo de perdas resulta da imprecisão dos equipamentos dos sistemas de medição, das ligações ilícitas, do uso fraudulento das bocas-de-incêndio (enchimento de tanques de veículos para rega ou lavagem de ruas nos marcos de incêndio por parte de pessoas não autorizadas, uma vez que estes só poderão ser operados pelos bombeiros), etc.

Covas (1998) analisou alguns dos factores que influenciam fugas de água:

- **Pressão na rede.** Quanto maior a pressão, maior tende a ser o consumo e as perdas de água. Em termos de uso eficiente da água torna-se portanto conveniente que a pressão não seja excessiva, limitando-se a valores que permitam uma utilização confortável. Quando atinge níveis altos pode provocar danos na tubagem e nos dispositivos de protecção, tais como: roturas por sobrepressão; avarias em bombas e válvulas; colapso de tubos, entre outros, aumentando o caudal perdido;
- **Frequência da ocorrência de roturas.** As redes que sofrem roturas frequentes têm mais probabilidades de sofrerem novas roturas, pois a origem da rotura pode não ser anulada aquando da reparação da rede;
- **Estado de conservação das condutas e elementos acessórios da rede.** Facilmente se compreende que as redes mais antigas sofrem, em geral, maiores problemas de fugas de água ou porque as borrachas das juntas deixam de vedar por envelhecimento, ou porque as condutas têm fendas ou estão em mau estado de conservação. A vida útil das condutas e acessórios depende do respectivo material, da pressão a que ficam sujeitas e do modo de operação do sistema;
- **Tipo de solo e condições de assentamento das tubagens.** As condutas assentes em solos arenosos têm cerca de 10 a 15% mais de perdas, dado que os grãos de areia espaçados permitem uma maior passagem de água e circulação de ar. Assim, uma pequena fuga pode provocar diferentes assentamentos da conduta e originar roturas,

por fendilhação ou torção das juntas, pois a água ao infiltrar-se no solo faz com que se soltem partículas, arrastando as mais finas.

- **Uso ilegal de água e erros de medição.** As ligações ilícitas, o uso fraudulento dos marcos de água e os erros de medição podem originar perdas consideráveis.

As figuras seguintes exemplificam perdas de água em sistemas de distribuição (figura 5) e seus acessórios (figura 6).



Figura 5- Exemplos de perdas de água em sistemas públicos de distribuição (Antunes *et al.*, 2009)



Figura 6- Exemplos de perdas de água em acessórios da rede de distribuição (Antunes *et al.*, 2009)

2.2.2 Balanço hídrico

O volume de água perdido é um indicador importante da eficiência de uma entidade gestora. Assim, a auditoria de perdas é, sem dúvida, um instrumento indispensável para a avaliação do desempenho das entidades gestoras. Esta deve ser realizada de um modo sistemático, uma

vez por ano, e incluir uma contabilização rigorosa de todos os volumes de água entrados e saídos no sistema em causa e o cálculo do balanço hídrico.

Antes de se apresentar o cálculo do balanço hídrico é conveniente expor as definições relativas às suas componentes (Alegre *et al.*, 2005):

- **Água captada:** volume anual de água obtida a partir de captações de água bruta para entrada em estações de tratamento de água (ou directamente em sistemas de adução e de distribuição);
- **Água bruta, importada ou exportada:** volume anual de água bruta transferido de ou para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento);
- **Água fornecida ao tratamento:** volume anual de água bruta que aflui às instalações de tratamento;
- **Água produzida:** volume anual de água tratada que é fornecida às condutas de adução ou directamente ao sistema de distribuição.
O volume anual de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como *água produzida*;
- **Água tratada, importada ou exportada:** volume anual de água tratada transferido de ou para o sistema (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto a jusante do tratamento).

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

- **Água fornecida à adução:** volume anual de água tratada que aflui ao sistema de adução;
- **Água fornecida para distribuição:** volume anual de água tratada que aflui ao sistema de distribuição;
- **Água fornecida para distribuição directa:** volume de água correspondente à diferença entre a *água fornecida para distribuição* e a *água tratada exportada* (sempre que não seja possível separar a adução da distribuição, a água fornecida para distribuição directa corresponde à diferença entre a *água fornecida à adução* e a *água tratada exportada*);
- **Água entrada no sistema:** volume anual introduzido na parte do sistema de abastecimento de água que é objecto do cálculo do balanço hídrico;
- **Consumo autorizado:** volume anual de água, medido ou não medido, facturado ou não, fornecido a consumidores registados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria entidade gestora. Inclui a *água exportada*;

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

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

- **Perdas de água:** volume de água correspondente à diferença entre a *água entrada no sistema* e o *consumo autorizado*. As perdas de água podem ser calculadas para todo o sistema ou para subsistemas, como sejam a rede de água não tratada, o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas do sistema de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo devem ser consideradas em conformidade com a situação. As *perdas de água* dividem-se em *perdas reais* e *perdas aparentes*;

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

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

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

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

- **Água não facturada:** volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da *água entrada no sistema* e do *consumo autorizado facturado*. A *água não facturada* inclui não só as *perdas reais* e *perdas aparentes*, mas também o *consumo autorizado não facturado*;

Na figura 7 ilustra-se a forma de cálculo do balanço hídrico nos sistemas de abastecimento de água.

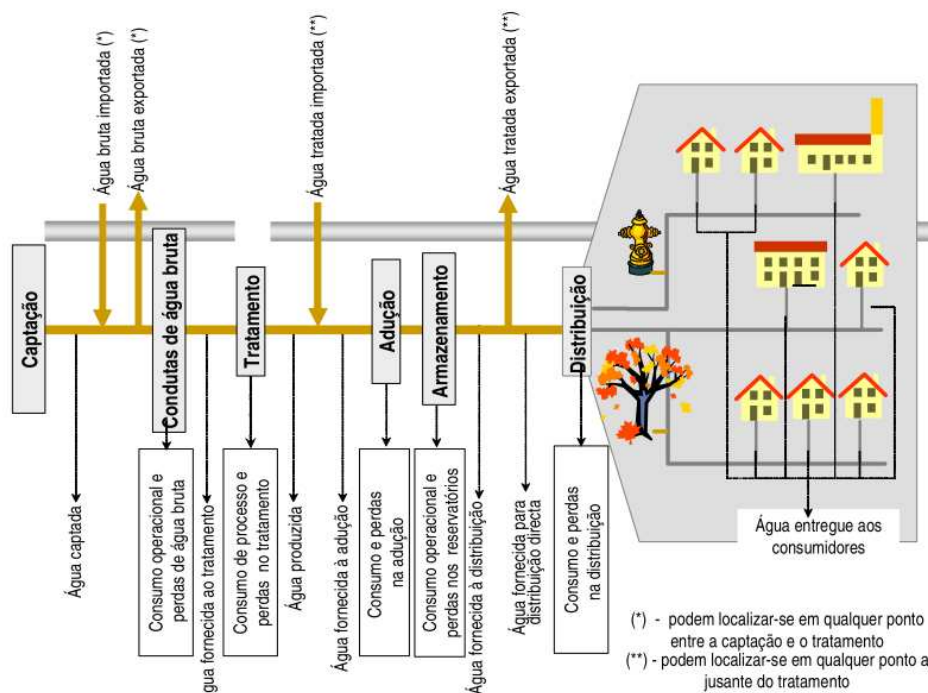


Figura 7- Componentes do balanço hídrico (Alegre *et al.*, 2005)

Assim, para calcular correctamente todos os volumes de água entrados e saídos do sistema recorre-se ao balanço hídrico (tabela 4), obedecendo aos seguintes passos (Alegre *et al.*, 2005):

- Passo 0:** Definir os limites exactos do sistema (ou sector de rede) a auditar; definir as datas de referência (definindo um período de um ano);
- Passo 1:** Determinar o volume de água entrada no sistema e introduzi-lo na Coluna A;
- Passo 2:** Determinar o consumo facturado medido e o consumo facturado não medido e incluir na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado facturado (Coluna C) e como água facturada (Coluna E);
- Passo 3:** Calcular o volume de água não facturada (Coluna E) subtraindo a água facturada (Coluna E) à água entrada no sistema (Coluna A);
- Passo 4:** Definir o consumo não facturado medido e o consumo não facturado não medido na Coluna D; registar o total em consumo autorizado não facturado na Coluna C;
- Passo 5:** Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado facturado e ao consumo autorizado não facturado da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (Coluna B);
- Passo 6:** Calcular as perdas de água (Coluna B) como a diferença entre a água entrada no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B);

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

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

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

Tabela 4- Componentes do balanço hídrico (Alegre et al., 2005)

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

2.2.3 Indicadores de desempenho

Num contexto actual e global de crescente competitividade, os indicadores de desempenho assumem-se, em todo o mundo, como instrumentos comuns em muitos sectores da indústria, sendo inquestionáveis as suas potencialidades na indústria da água. No final da década de 90, membros da International Water Association (IWA) definiram directrizes relativas à adopção de indicadores no contexto do abastecimento de água e à recolha de informação relevante para a sua avaliação. O objectivo foi criar um quadro de referência comum para os indicadores de desempenho, organizados de forma a satisfazer as necessidades, principalmente, das entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água. Para o efeito Alegre *et al.* (2004), definiram um conjunto de indicadores que representam, portanto, uma ferramenta auxiliar para avaliar a eficácia das entidades gestoras. Este documento contempla 128 indicadores dividindo-os em 6 grupos, são estes, indicadores de recursos hídricos, de recursos humanos, infra-estruturais, operacionais, de qualidade de serviço e económico-financeiros e em 3 níveis de acordo com a importância, dos quais 28 estão no topo da escala de prioridade. Na tabela 5 apresentam-se os indicadores relativos às perdas de água.

Tabela 5- Indicadores de desempenho relativos a perdas de água, recomendados pelo IWA (Alegre *et al.*, 2004)

Tipo de indicadores	Indicadores	Unidades
Ambiental	Ineficiência na utilização dos recursos hídricos	%
Operacionais	Perdas de água por ramal	m ³ /ramal/ano
	Perdas aparentes	%
	Perdas reais por ramal	l/ramal/dia
	Índice infra-estrutural de fugas	-
	Água não medida	%
Financeiros	Água não facturada em termos de volume	%
	Água não facturada em termos de custo	%

No entanto, este conjunto de indicadores tem limitações, dado que não contabiliza vários parâmetros que são importantes na gestão do controlo de perdas, tais como: continuidade do fornecimento, comprimento da rede, número de ligações, localização do medidor, pressão média de serviço, etc.

A IWA, em 2000, propôs o índice infra-estrutural de perdas, ILI^2 , para melhor comparação de desempenhos entre organismos e consideração de mais parâmetros que implicam fugas, que corresponde ao rácio entre o nível de perdas reais por número de ligações e dias de serviço por ano, $CARL^3$, e o nível de perdas irrecuperáveis por dia, $UARL^4$.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

O objectivo do CARL é a quantificação do volume de perdas, dadas as condições de conservação e de operação de um sistema, permitindo verificar os níveis de eficiência operacional do mesmo. Este indicador permite também a comparação entre vários sistemas de funcionamento de características diferentes: sistemas de fornecimento contínuo (24 horas por dia) ou sistemas de fornecimento faseado, sistemas com níveis de consumo distintos, sistemas com pressões de distribuição altas e baixas, e pode ser calculado através da equação,

$$CARL = \frac{V_{PReais}}{\text{dias}} \quad (2)$$

em que V_{PReais} é o volume de perdas reais de água com base no balanço hídrico e dias corresponde ao número médio de dias por ano em que se dá o serviço de abastecimento usando a rede de distribuição.

O UARL representa a quantidade de água que se perde na rede e que é tecnicamente impossível recuperar, pode ser determinado através da seguinte equação empírica:

$$UARL = (18L_m + 0,8N_c + 25L_p) \times P \quad (3)$$

em que L_m é o comprimento das linhas de distribuição (Km), N_c é o número de ligações, L_p é o comprimento das linhas de distribuição (Km), desde o medidor até ao cliente (Km) e P representa a pressão média do sistema (m).

Este índice infra-estrutural de perdas foi estimado, pela IWA, em 27 sistemas de distribuição de 20 países, apresentado os seguintes resultados:

² Corresponde a Infrastructure Leakage Index na literatura de língua inglesa

³ Corresponde a Current Annual Volume of Real Losses na literatura de língua inglesa

⁴ Corresponde a Unavoidable Annual Real Losses na literatura de língua inglesa

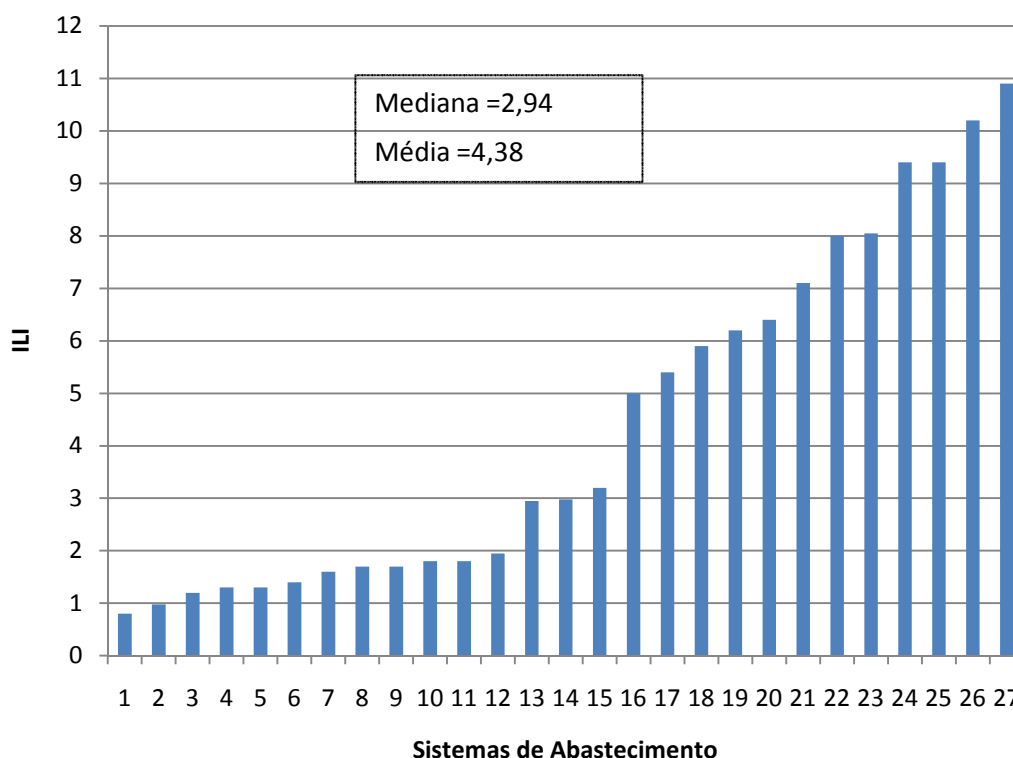


Figura 8- Resultados da aplicação do ILI a 27 sistemas de distribuição (Lambert e McKenzie, 2002)

Os resultados apresentados na figura 8 apresentam um valor médio de 4,38 e variam entre 0,7 e 10,8. É de referir que todos os resultados dos sistemas apresentados foram obtidos através de dados fiáveis, e que os sistemas já tinham medidas em prática para o combate às perdas reais. Nos últimos anos, este indicador foi avaliado em dezenas de países, resultando em muitos casos acima de 50 e, até alguns, superiores a 100, em sistemas bastante deteriorados (Lambert e McKenzie, 2002).

Valores de ILI próximos de 1 significam que o nível de perdas reais está perto do nível de perdas inevitáveis ou do valor mínimo tecnicamente alcançável. No entanto, estes só são economicamente legítimos quando o custo marginal da água é relativamente elevado, ou esta é considerada um recurso escasso.

O WBI, World Bank Institute, definiu um sistema de bandas que permite identificar mais facilmente as prioridades para uma melhor gestão das perdas. Definiram quatro bandas (de A a D), correspondendo a cada uma um certo intervalo de valores de ILI, como pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6 Atribuição de ILIs ao sistema World Bank Institute Banding (Sistema de Bandas do Instituto do Banco Mundial) (Adaptado de Costa, 2007)

Valores de ILI		Banda	Descrição geral das categorias do desempenho de gestão de perdas reais
Países em desenvolvimento	Países desenvolvidos		
ILI<4	ILI<2	A	Uma redução adicional da perda pode não ser económica, a menos que haja falta de água;
4≤ILI<8	2≤ILI<4	B	Potencial para melhorias; considerar gestão de pressão, melhores práticas activas do controlo de perdas e melhor manutenção da rede
8≤ILI<16	4≤ILI<8	C	Registo pobre de perdas; tolerado apenas se a água for abundante e barata; mesmo assim deve ser analisado o nível e natureza das perdas e intensificar esforços na sua redução
ILI≥16	ILI≥8	D	Uso muito ineficiente dos recursos; é imperativo e de elevada prioridade o uso de programas de redução de perdas

Após identificar a banda a que o sistema pertence, as actividades prioritárias a realizar podem ser analisadas através da tabela 7.

Tabela 7- Actividades prioritárias para as bandas WBI de A a D (Costa, 2007)

Recomendações WBI para as bandas	A	B	C	D
Investigar opções de gestão de pressão	Sim	Sim	Sim	
Investigar a velocidade e a qualidade de reparação	Sim	Sim	Sim	
Verificar a frequência económica da intervenção	Sim	Sim		
Introduzir/melhorar o controlo activo de perdas		Sim	Sim	
Identificar opções para melhorar a manutenção		Sim	Sim	
Avaliar o nível económico das perdas	Sim	Sim		
Rever a frequência de roturas		Sim	Sim	
Revisão das vantagens da política de gestão		Sim	Sim	Sim
Tratar das deficiências dos recursos humanos, no treino e nas comunicações			Sim	Sim
Um plano de 5 anos para conseguir atingir a seguinte banda mais baixa			Sim	Sim
Revisão fundamental de todas as actividades				Sim

Como se observa há uma grande variedade de indicadores de desempenho, que aumenta anualmente, o que obriga a ponderar cuidadosamente a quantidade e o tipo de indicador, de forma a obter uma avaliação de desempenho adequada. É por vezes enganador e não tem significado utilizar apenas um único indicador para fazer um diagnóstico. Contudo, é possível reunir um conjunto coerente de indicadores relacionados com um determinado elemento, que possibilitem a análise e compreensão do seu desempenho (Alegre *et al.*, 2004).

2.2.4 Modelação de redes

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem analisar e prever o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade da água do sistema, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos (Coelho *et al.*, 2006). Permitem assim a rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação dos cenários mais variados, com suficiente aproximação, sem ser necessário interferir com o sistema em causa ou arriscá-lo a modos de operação desconhecidos.

De acordo com Coelho *et al.* (2006), um modelo de simulação hidráulica de um sistema de abastecimento de água é composto por:

- um conjunto de dados descritivos das características físicas do sistema, das suas solicitações - os consumos - e das suas condições operacionais;
- um conjunto de equações matemáticas (na sua maioria não-lineares) que reproduzem o comportamento hidráulico dos componentes individuais e do sistema como um todo, expressas em termos das principais variáveis de estado - por exemplo, o caudal nas condutas ou a pressão nos pontos notáveis - e instanciadas pelos dados descritivos mencionados no ponto anterior;
- os algoritmos numéricos necessários para a resolução desse conjunto de equações matemáticas.

O número de aplicações disponíveis nesta matéria tem vindo a aumentar nos últimos anos. Naturalmente, tem havido também desenvolvimento dos vários programas, que incorporam cada vez mais funcionalidades, o que os vai tornando ainda mais úteis para os técnicos desta área.

Apresentam-se na tabela 8 programas disponíveis no mercado, com indicação para cada um deles da presença ou não da Análise de Qualidade de Água (AQA) e da Interface Gráfica com o Utilizador (IGU), da existência de versão de demonstração e da sua natureza.

Tabela 8- Programas de modelação hidráulica (Vidigal, 2008)

Programa	AQA	IGU	Demo Disponível	Natureza
AquaNet	x	x	-	Comercial
Archimed	x	x	x	Comercial
Branch/Loop	-	-	-	Gratuito
Cross	x	x	-	Comercial
Epanet 2.0	x	x	-	Gratuito
Eraclito	x	x	x	Comercial
H2O net/ H2O map	x	x	-	Comercial
Helix delta - Q	-	x	-	Comercial
Mike Net	x	x	x	Comercial
Netis	x	-	-	Gratuito
Opti Designer	-	-	x	Comercial
Pipe 2000	x	x	x	Comercial
Stanet	x	x	x	Comercial
Wadisco SA	x	x	x	Comercial
WaterCAD 5.0	x	x	x	Comercial

O programa seleccionado para a realização deste trabalho foi o EPANET versão 2.0, dado que possui as características adequadas para a simulação dos vários parâmetros pretendidos, é gratuito e é um dos programas mais utilizados pelas entidades gestoras em Portugal. Foi desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América e traduzido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para a versão portuguesa. Pode ser utilizado na análise de planos estratégicos de desenvolvimento, como seja a alteração de origens de água num sistema composto por múltiplas origens, modificação do funcionamento operacional de grupos elevatórios e reservatórios para minimização de custos energéticos e tempos de percurso, selecção de pontos de recloragem, avaliação do custo-benefício de programas de limpeza e substituição de tubagens, planeamento de campanhas de amostragem ou estudos de decaimento do desinfectante e formação de sub-produtos da desinfecção. O EPANET pode também ser utilizado para planear e melhorar o desempenho hidráulico de um sistema, seja no projecto, seja na operação diária ou no estudo de cenários de emergência, em particular, o combate a incêndios e a vulnerabilidade a falhas de elementos do sistema.

2.2.5 Métodos de detecção e localização de fugas

O combate às perdas de água é extremamente importante e é, numa fase inicial, a primeira medida a ser tomada juntamente com algumas das medidas de exploração, já que as de concepção, execução e reabilitação carecem de maiores investimentos e portanto só mesmo a médio e longo prazo poderão ser implementadas.

Os vários tipos de fugas já referidos podem ser caracterizados, de forma simplificada como: perdas provocadas por grandes roturas nas condutas, as quais não contribuem necessariamente para um grande volume de água perdida, particularmente se a água for visível à superfície, já que a reparação ocorre praticamente logo que são detectadas; as perdas de água provocada por pequenos orifícios, que podem conduzir a um maior volume de água perdida se ocorrerem por períodos de tempo longos. Ironicamente, as fugas pequenas são mais fáceis de detectar porque são mais ruidosas e mais fáceis de se ouvir usando sensores acústicos. De seguida, serão apresentadas algumas metodologias existentes para controlo, detecção e localização de fugas, assim como métodos, técnicas e equipamentos disponíveis (figura 9) para as implementar.



Figura 9- Equipamentos utilizados para detecção e localização de fugas (Antunes *et al.*, 2009)

O processo de controlo de fugas em redes de distribuição de água pode dividir-se em três fases distintas:

- i. Identificação e caracterização da fuga;
- ii. Detecção e localização;
- iii. Reparação das anomalias.

Na primeira fase, é efectuado o levantamento das características topológicas e operacionais da rede e obtida uma primeira estimativa do volume de perdas face à dimensão da rede. Na segunda fase, definem-se e implementam-se estratégias de actuação para a detecção das fugas a nível geral da rede e a nível de zonas particulares com maiores problemas. Finalmente, actua-se tendo em vista a diminuição ou eliminação das fugas (Alegre, 1994).

De seguida expõem-se alguns dos métodos de detecção de fugas.

- **Sistema de medição zonada**

A medição zonada, embora não incorpore directamente o controlo de perdas em si, é essencial para conhecer a distribuição espacial das perdas reais e para proceder à sua quantificação numa perspectiva de estabelecimento de níveis de zonamento progressivamente mais detalhado.

O sistema de medição zonada é um método que permite detectar fugas e outras perdas a nível da macro escala da rede, de forma contínua ou periódica. Esta técnica consiste na divisão da rede de distribuição num conjunto de sub-redes de fronteiras conhecidas e bem delimitadas, onde se controlam rigorosamente todas as entradas e saídas de caudal, de modo a efectuar o balanço periódico entre os caudais afluentes e efluentes na rede e consumidos pelos utilizadores. Estas sub-redes designam-se por zonas de medição e controlo (ZMC). Cada zona poderá conter entre 2000 a 5000 ligações ou um número inferior nas zonas rurais .

A medição zonada constitui assim um ponto de partida para a aplicação de outros métodos, como sejam a gestão de pressões e as técnicas de localização e reparação de fugas. Este sistema pode ser aplicado, consoante os objectivos que se pretendam alcançar e os meios disponíveis, segundo dois métodos distintos: método volumétrico e método dos caudais mínimos nocturnos.

Na figura 10 exemplifica-se um sistema de medição zonada com 3 zonas.

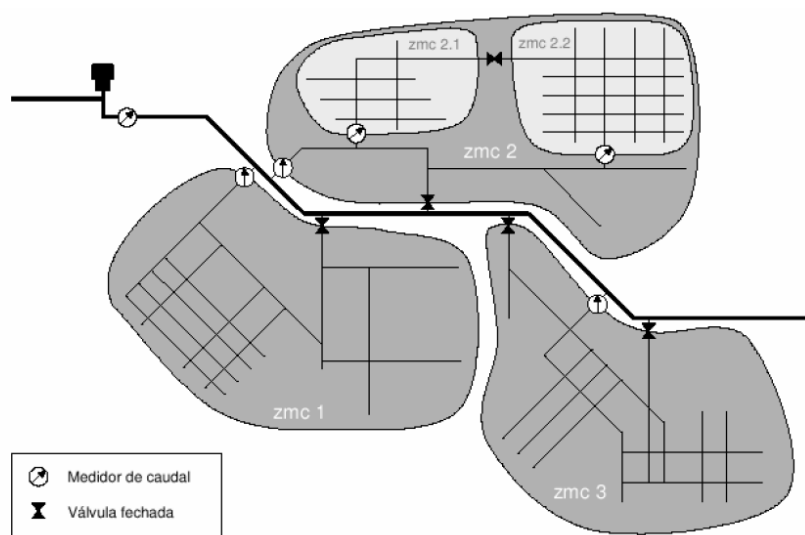


Figura 10- Sistema de medição zonada, com 3 zonas principais, estando a zmc2 dividida em duas subzonas (Alegre *et al.*, 2005)

Método volumétrico

Este método consiste na medição de todas as afluições à zona de medição e controlo durante um determinado período de tempo (semana ou mês), sendo a estimativa do volume

de perdas obtida pela diferença entre o volume total de água colocada em rede e o volume total de água consumida. Neste caso, as perdas podem ser expressas em percentagem relativamente à totalidade das aflúncias ou ao caudal médio diário registado nesse intervalo.

Método dos caudais mínimos nocturnos

A vazão mínima nocturna é outro indicador da ocorrência de fugas no sistema e ocorre geralmente no período de menor consumo, entre 2 e as 4 horas da madrugada. A medição da vazão mínima parte do princípio que o consumo durante a noite se aproxima de zero, excepto em determinadas ligações bem identificadas. Neste período, o caudal medido na rede de distribuição de água deve-se sobretudo às ligações pontuais identificáveis, como é o caso das ligações industriais e das perdas na rede. Deduzindo-se os consumos nocturnos identificados torna-se possível determinar às vazões nocturnas devido às perdas. É importante no processo de medição da vazão mínima nocturna ter conhecimento de todas as singularidades de consumo que podem influenciar os dados. Por exemplo, no caso de uma indústria com consumo nocturno, pode medir-se a sua vazão de consumo durante o período de medição e deduzi-lo do valor macro medido. Alternativamente, pode ser possível manter essa ligação fechada durante o ensaio.

A avaliação dos dados permite otimizar as acções de combate às fugas. A partir do caudal médio que aflui à rede, define-se a faixa máxima admitida para a vazão mínima nocturna e caso a medida passe deste limite, acciona-se a procura e a reparação das roturas identificadas.

- **Métodos de localização aproximada**

Em qualquer fase de implementação do sistema de medição zonada (fase preliminar e fase de monitorização), sempre que se detectem perdas no sistema de distribuição de água é necessário recorrer a técnicas mais apuradas para a sua localização aproximada, a nível da zona de medição e controlo, e para a sua localização quase exacta a nível da conduta.

O princípio base para a localização aproximada de fugas consiste no refinamento da malha abrangida pela zona de medição, quer pela divisão em subzonas de medição mais restritas, quer pelo fechamento sequencial de válvulas de seccionamento. Qualquer um destes métodos tem por objectivo encaminhar a equipa de detecção para o mais próximo possível da zona de fuga. Os métodos de localização aproximada terminam no troço de conduta onde não existem mais válvulas que possam ser fechadas. Nesse ponto, devem ser aplicadas outras técnicas de detecção mais precisas que usualmente recorrem a métodos acústicos.

Subzonas de medição mais restritas

O subzonamento consiste na divisão temporária da zona de medição e controlo onde se detectou a fuga, sendo que os seus princípios de aplicação são em tudo idênticos aos de medição zonada. Também nas subzonas, a medição de caudais é efectuada para o período nocturno, especialmente se esta operação tiver consequências no funcionamento da rede. De

qualquer forma, o subzonamento é uma operação de duração limitada que termina logo que os objectivos tenham sido alcançados.

Fecho progressivo de válvulas

Este método consiste no fecho progressivo de válvulas de seccionamento, caminhando no sentido de um medidor de caudal existente no limite da zona de medição e controlo, ou de um equipamento de medição móvel utilizado especialmente para esta operação, e no respectivo registo de caudais. A eficácia deste método exige que se organize um plano de fecho de válvulas, com definição dos respectivos instantes de fecho, começando pela válvula mais afastada do medidor de caudal. Ao medidor de caudal, deverá estar associado um datalogger ou um sistema de telemetria de forma a registar a diminuição de caudal sempre que se feche uma válvula. Este método é aplicado também em períodos nocturnos, de modo que qualquer alteração significativa de caudal seja indício da presença de uma fuga.

Na figura 11 estão representados dois exemplos de localização aproximada por subzonamento, um por fecho de válvulas e outro utilizando medidores.

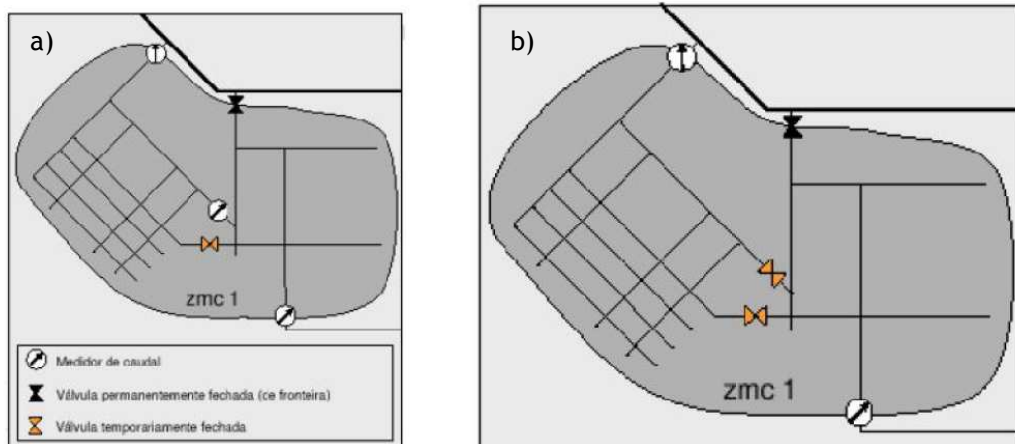


Figura 11- Localização aproximada por subzonamento (a) por fecho de válvulas (b) utilizando medidores (adaptado de Alegre *et al.*, 2005)

A figura 12 mostra dataloggers usados neste método e a sua colocação sobre uma válvula de seccionamento.



Figura 12- Dataloggers e sua colocação sobre uma válvula de seccionamento (Antunes *et al.*, 2009)

- **Métodos de localização exacta**

Uma vez detectado o troço da rede com fuga de caudal, é necessário determinar a sua localização quase exacta (ordem dos metros) de forma a minimizar os trabalhos de escavação, existindo para tal diversas técnicas: com base na propagação do som emitido pela fuga; recorrendo à injeção de traçadores (gás, água com corantes ou substâncias radioactivas); análise das características do solo; inspecção por câmara de vídeo; fotografia por infravermelhos e por radar de penetração no solo.

Nenhuma das técnicas apresenta eficácia absoluta, mas em cada situação de utilização será possível distinguir técnicas mais apropriadas do que outras, sendo, no entanto, todas elas muito dependentes da perícia, experiência e capacidade de análise do operador.

Métodos Acústicos

Nas zonas identificadas como tendo fugas excessivas, de acordo com os métodos anteriormente referidos, a localização exacta desse ponto emissor é feita recorrendo, geralmente, a dispositivos acústicos. Estes dispositivos detectam o som ou a vibração induzida pela água que se escapa das fugas e que apresentam uma certa 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. O ruído produzido é difundido ao longo da tubagem, e em certos casos através do solo, a uma velocidade dependente das características da água e do material da tubagem. Ao ser difundido, o ruído altera-se, sendo atenuadas as altas-frequências e possivelmente amplificadas outras frequências devido a cavidades ou equipamentos subterrâneos. O som detectado dependerá, portanto, das posições relativas do local de “escuta” e da fuga. No que se refere aos problemas relacionados com o ruído de fundo, estes podem ser atenuados efectuando a sondagem durante o período nocturno.

De seguida são apresentados os três métodos de detecção acústica, designadamente: a) sondagem acústica directa; b) sondagem acústica indirecta e c) método de correlação acústica.

a) Sondagem acústica directa

A sondagem acústica directa constitui o método mais comum para identificação do posicionamento de uma fuga numa rede de distribuição de água. Esta técnica consiste em sondar directamente pontos de fácil acesso da tubagem, acessórios metálicos, bocas de incêndios e bocas de rega, através de um equipamento próprio dotado de um amplificador e de um filtro de ruído. A eficácia deste método depende fortemente da acuidade acústica e da experiência do inspector.

b) Sondagem acústica indirecta

Esta técnica é análoga à anterior mas sendo a escuta efectuada à superfície do solo, por cima da conduta, quando as características do terreno o permitem. Esta técnica é mais limitada do

que a anterior uma vez que, muitas vezes, se desconhece a localização da conduta, e as características do solo não permitem a realização deste ensaio ou existem outras condutas na proximidade.

A figura 13 apresenta a utilização das sondagens acústicas directa e indirecta.



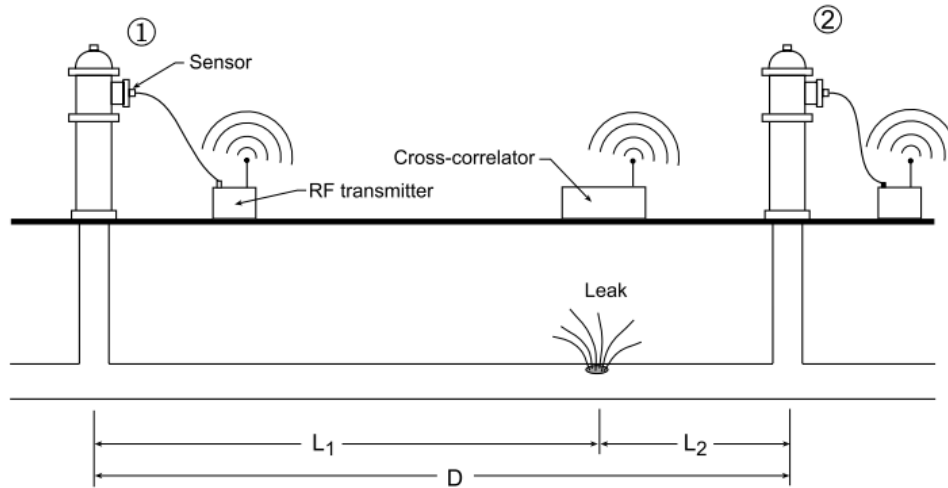
Figura 13- Sondagens acústicas: a) sondagem acústica directa; b) sondagem acústica indirecta
(Antunes *et al.*, 2009)

c) Método de correlação acústica

Alternativamente às sondagens acústicas, as fugas podem ser localizadas de forma automática usando correlatores modernos do ruído, que nos últimos anos se tornaram populares.

Normalmente, os correlatores do ruído são mais eficientes e mais exactos do que os dispositivos apresentados anteriormente. No entanto, a sua eficácia depende da experiência do inspector.

Neste método, efectua-se a escuta em dois pontos diferentes da conduta através de um correlator acústico. A posição relativa da fuga é dada por correlação cruzada da diferença de tempo na chegada de duas frequências iguais, como demonstrado na figura 14.



D é a distância entre os pontos 1 e 2

L_1 é a distância da fuga ao ponto 1 e L_2 é a distância da fuga ao ponto 2

Tempo de chegada do sinal ao ponto 1 = $T_1 = L_1/V$, onde V é a velocidade de propagação do som na conduta

Tempo de chegada do sinal ao ponto 2 = $T_2 = L_2/V$

Intervalo de tempo entre sinal 1 e 2 = $\Delta T = T_2 - T_1 = (L_2 - L_1)/V$

$L_2 = D - L_1 \rightarrow \Delta T = (D - 2L_1)/V \rightarrow L_1 = (D - V \Delta T)/2$

Figura 14- Ilustração esquemática do método de correlação acústica (Hunaidi, 2000)

Na figura 15 apresentam-se diversos correladores acústicos.

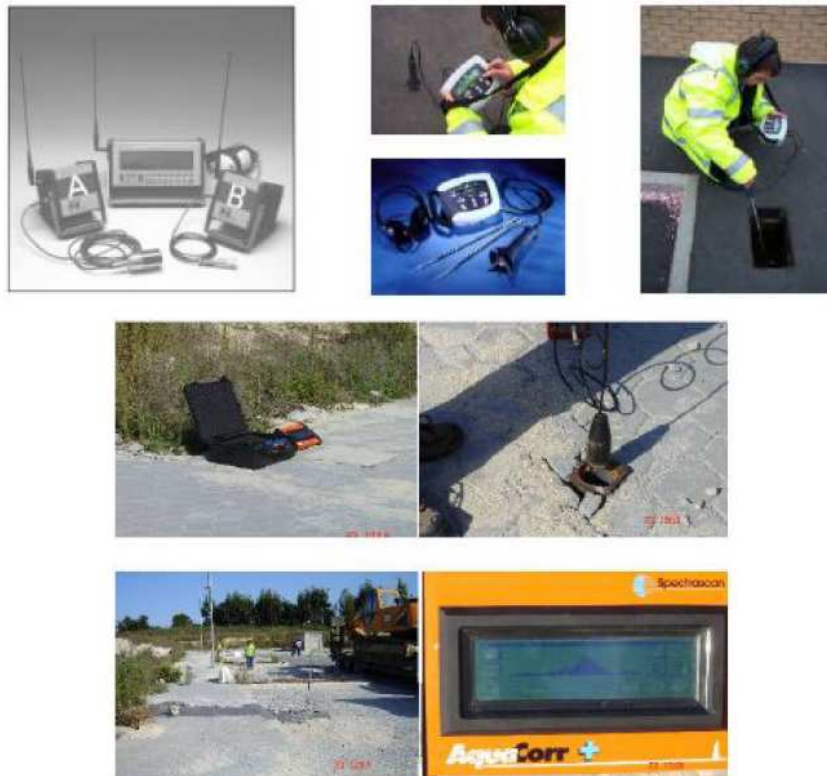


Figura 15- Exemplos de correladores acústicos portáteis (Antunes *et al.*, 2009)

Métodos não acústicos

a) Injecção de traçadores

Quando a fuga não produz ruído suficiente para ser detectada acusticamente, pode recorrer-se à injecção de traçadores, a montante do troço em causa, em geral com gás não tóxico, ar de corantes ou substâncias radioactivas, sendo a fuga um ponto de efluência do traçador facilmente detectável à superfície. A localização da fuga depende muito das condições atmosféricas, por exemplo, na utilização de um gás como traçador, a presença de ventos pode conduzir a uma localização errada da fuga. No entanto, é um método muito útil quando associado a outros métodos.

b) Propriedades do solo

As redes de distribuição de água caracterizam-se por serem infra-estruturas enterradas e não visitáveis. No entanto, existem troços da rede onde a partir da observação directa da superfície do solo, é possível identificar afloramentos irregulares de água, nascimento de vegetação ou musgo e humidade anormal do solo.

c) Inspeção visual

A inspeção por meio do ensaio visual constitui uma das mais antigas actividades nos sistemas de distribuição de água, dada a simplicidade de realização e o seu baixo custo operacional. É o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de tubagem ou acessório. Utilizando uma tecnologia avançada, hoje a inspeção visual torna-se num meio rápido de verificação de alterações dimensionais, do padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais em materiais e produtos em geral, tais como resistência, presença de defeitos, corrosão, deformação, alinhamento, cavidades, porosidade, montagem de sistemas electromecânicos e muitos outros.

A inspeção por câmara de vídeo controlada remotamente é uma técnica potencialmente utilizada no âmbito de programas de reabilitação de sistemas. Trata-se de uma técnica bastante sofisticada, exigindo equipamento dispendioso e operadores especializados. A tubagem é isolada e uma abertura efectuada, normalmente numa junta, por onde se introduz uma pequena câmara móvel que percorre o troço até se identificar e localizar o problema. Esta técnica poderá ser necessária na caracterização de situações excepcionais, mas não constitui habitualmente uma opção utilizada em programas de detecção de fugas.

d) Sensores térmicos

O uso de sensores térmicos para detecção e localização de perdas de água em sistemas de abastecimento de água ainda não se encontra muito difundido. No entanto, a sua utilização, tem a vantagem de permitir identificar as zonas de rotura de condutas subterrâneas dado que as características térmicas do solo ficam alteradas. Essas anomalias podem ser captadas posteriormente, por exemplo, por câmaras de infravermelhos instaladas em aviões.

e) Radar de penetração no solo

O radar pode ser utilizado para encontrar fugas em condutas de água enterradas a partir da detecção do vácuo no solo provocado pela circulação da água perto da conduta ou detectar segmentos de conduta que pareçam mais escavados, na zona de rotura. As ondas do radar que penetram no solo são reflectidas parcialmente quando encontram uma alteração das propriedades do solo, dando uma imagem do tamanho e da forma da cavidade encontrada. O tempo entre ondas transmitidas e reflectidas do radar determina a profundidade a que se encontra a cavidade reflectida.

A monitorização activa necessita de uma fonte emissora para efectuar a inspecção do local, quer seja por radar quer por outra fonte de ondas electromagnéticas. Podendo ser realizado no local, por via aérea ou por satélite, é um método de inspecção a grande escala e amplamente utilizado noutros países.

2.2.6 Métodos de avaliação de perdas

Os modelos matemáticos utilizados na modelação de redes de distribuição de água não permitem precisar o nível de perdas reais de água, o que torna impossível o cálculo do nível económico de perdas. Para estimar o nível de perdas recorre-se então dois métodos, a abordagem “bottom-up” e a abordagem “top-down”.

- **Abordagem “top-down”**

A “abordagem “top-down” consiste na avaliação das necessidades de intervenção, inicialmente para a globalidade do sistema, depois por grandes subsistemas e progressivamente em menores áreas que abasteçam de 2000 a 6000 habitantes-equivalente”.

- **Abordagem “bottom-up”**

A aplicação desta abordagem fundamenta-se na selecção de zonas prioritárias, com base em vários critérios, tais como a frequência actual de roturas, a idade e materiais da rede, o tipo de solo (permeabilidade), o nível freático e o tipo de ocupação sócio-demográfica (Alegre *et al.*, 2005).

O nível de perdas pode ser calculado através do método dos caudais totais ou pelo método dos caudais mínimos nocturnos (descritos em 2.2.5).

Estimativa do caudal autorizado nocturno

Para aplicação do método dos caudais mínimos nocturnos é necessário estimar o caudal autorizado nocturno. O consumo autorizado nocturno é dado pela seguinte expressão:

$$CAN = CAD + CAND + CAGC \quad (4)$$

sendo, CAN - Consumo Autorizado Nocturno;

CAD - Consumo Autorizado Doméstico;

CAND - Consumo Autorizado Não Doméstico;

CAGC - Consumo Autorizado Grandes Clientes.

As três parcelas do CAN determinam-se da seguinte forma:

a) Utilização Nocturna Doméstica

Quando esta componente não é medida, pode ser estimada do seguinte modo:

$$\text{CAD} = \text{N}^\circ \text{ de locais de consumo doméstico} \times \text{ocupação} \times \text{consumo nocturno per capita} \quad (5)$$

b) Utilização Nocturna Não Doméstica

O consumo não doméstico pode ser estimado, de forma simplificada, da seguinte forma:

$$\text{CAND} = \text{N}^\circ \text{ de locais de consumo não domésticos} \times 8 \text{ litros/hora} \quad (6)$$

c) Utilização Nocturna Excepcional

Os consumidores nocturnos (domésticos ou não-domésticos) que apresentem um consumo médio que exceda a definição de fuga (500l/h) são considerados “excepcionais”, devendo ser individualizados e monitorizados em contínuo.

Factor de correcção noite-dia, FND

É o factor pelo qual as perdas nocturnas devem ser multiplicadas para se obterem as perdas diárias.

Este factor é calculado de acordo com a variação de pressão diária, e representa o número diário de horas proporcionais ao caudal que se perderia se a pressão se mantivesse constante e igual à pressão do caudal mínimo nocturno, sendo geralmente menor que 24 devido às baixas pressões registadas durante o dia.

O FND depende ainda do expoente N1 que pode ser determinado através da relação do ILI e do tipo de material predominante na rede (figura 16).

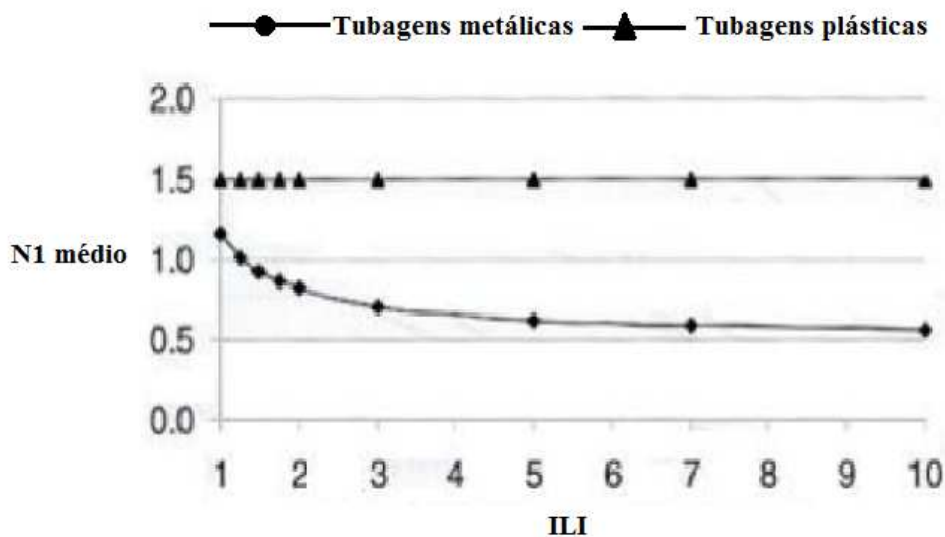


Figura 16- Expoente N1 em função do ILI e do material da rede (adaptado de Duarte, 2009)

2.2.7 Medidas para redução de perdas

A redução de perdas pode ser feita através da aplicação de um conjunto de medidas, entre os quais se destacam:

- Controlo de pressões;
- Manutenção e reabilitação de condutas, ramais e equipamentos;
- Vigilância e utilização de sistemas de detecção de fugas;
- Aplicação de medidas que visam a reparação imediata das avarias detectadas e a minimização dos tempos de interrupção do abastecimento de água;
- Assegurar, às equipas directamente envolvidas nesta área, acções de formação específicas em metodologias, técnicas e equipamentos de controlo de perdas e detecção de fugas;
- Cálculo e análise anual do balanço hídrico. Aplicação de medidas que visam a melhoria dos sistemas;
- Campanhas de verificação das instalações particulares e de eventuais ligações clandestinas. Aplicação de medidas coactivas e de sanções no caso de detecção de fraudes.

As medidas atrás expostas são essencialmente de carácter de exploração do sistema, excepto o controlo de pressões, sendo importante abordar este mais profundamente.

O controlo da pressão de funcionamento nos sistemas públicos de abastecimento de água, quer no que se refere ao seu valor médio quer à sua variação temporal e espacial, assume

cada vez mais um papel determinante no bom desempenho técnico e económico do sistema e na satisfação dos consumidores. Se por um lado, o controlo da pressão garante um nível de serviço mais uniforme para os consumidores, para a empresa responsável pelo abastecimento de água permite adoptar materiais e acessórios de classes de resistências mais adequadas às pressões de serviço.

No que se refere às fugas, quanto maior a pressão, maior tende a ser o consumo e as perdas de água. Em termos de uso eficiente da água torna-se portanto conveniente que a pressão não seja excessiva, limitando-se a valores que permitam uma utilização confortável. Segundo Cabrera e Vela (1995), o volume de perdas tende a aumentar com o tempo, mais do que com a pressão e a probabilidade de ocorrência de uma rotura aumenta mais com a frequência de oscilações de pressão do que com a sua amplitude.

Para efectuar o controlo da pressão na rede, poderão ser adoptadas diferentes alternativas, entre as quais, a sectorização das redes e o uso de válvulas redutoras de pressão, explicadas de seguida.

a) Sectorização das redes

Uma forma de controlar a pressão num sistema de abastecimento de água consiste na sua sectorização, frequentemente com recurso a operação de válvulas, de forma a estabelecer “andares” de pressão. Sistemas com abastecimento de água por gravidade podem ter a sectorização relacionada com a topografia enquanto, em sistemas com alimentação por elevação, a sectorização estará dependente do nível dos reservatórios (Thornton, 2002). A sectorização deve ser concebida considerando não só a garantia da pressão mínima, mas também a pressão máxima e a manutenção de um nível de pressões estáveis. Devem ainda ser encontradas soluções adequadas para os edifícios altos e instalações industriais e deve estar associada ao estabelecimento de zonas de medição e controlo de forma a compatibilizar os seus limites.

b) Válvulas redutoras de pressão

As válvulas redutoras de pressão (VRP) são acessórios que permitem obter uma pressão pretendida a jusante da sua instalação, podendo funcionar para um dado valor de pressão ou garantir um determinado caudal.

2.2.8 Nível económico de perdas

Para o estabelecimento de uma estratégia de controlo de perdas de água é necessário ponderar a partir de que nível de perdas é economicamente rentável implementar medidas de controlo. Este valor deve ser definido caso a caso, tendo em conta que a partir de um determinado momento, será necessário um forte investimento para obter uma pequena redução das perdas. Esta análise de custo/benefício define o nível económico de perdas, a

partir do qual não há interesse, do ponto de vista económico, efectuar mais esforços na redução das perdas de água.

A Figura 17 apresenta graficamente, de forma simplificada, o conceito de nível económico de perdas em termos de custos totais *versus* nível de perdas. Com o aumento das perdas, o custo total da água perdida aumenta. Por outro lado, os custos do controlo activo de perdas diminuem com a relaxação (aumento) dos níveis permitidos (deve notar-se o crescimento exponencial desses custos quando os níveis de perdas tendem para zero). A curva total, obtida pela soma das duas, tem um mínimo que corresponderá ao nível económico de perdas.

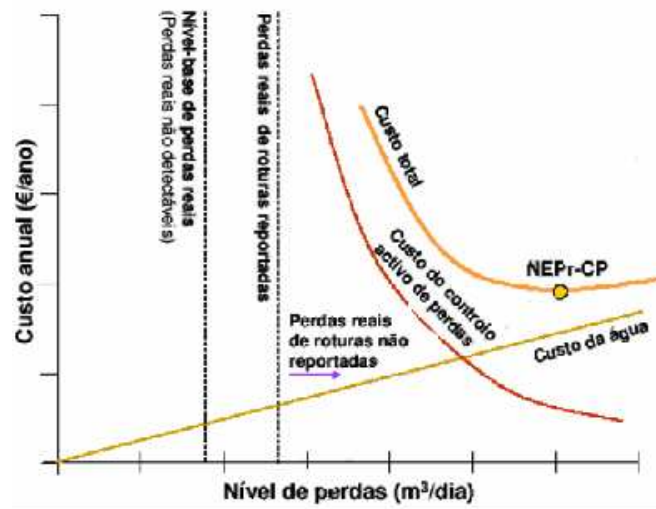


Figura 17- Nível económico de perdas (Alegre *et al.*, 2005)

3 Caso de estudo

3.1 Considerações gerais

O presente capítulo destina-se ao estudo do sistema de distribuição de água da freguesia de Verdelhos, gerido pelas Águas da Covilhã (ADC). A escolha desta rede para o presente trabalho deve-se ao facto de ser uma rede problemática, com cerca de 75% de perdas.

A análise da rede consiste na sua caracterização, na aplicação do EPANET, na estimativa das perdas reais, no cálculo do ILI, na análise de sensibilidade através de diversos cenários estudados e na análise dos resultados obtidos.

3.2 Caracterização da rede

O caso de estudo refere-se ao sistema de distribuição de água da localidade de Verdelhos, concelho da Covilhã, norte do distrito de Castelo Branco (figura 18). Trata-se de uma freguesia com cerca de 875 habitantes (Censos, 2001), que varia em termos altitude entre 550 e os 650m.



Figura 18- Localização de Verdelhos



Figura 19- Freguesia de Verdelhos

O sistema é de captação subterrânea e é composto por:

- Poço de captação;
- Estação e conduta elevatória;
- Estação de tratamento com reservatório de armazenamento de 100 m³;
- Adutora gravítica;
- Reservatório de distribuição de 100 m³.



Figura 20- Estação de tratamento e reservatório de armazenamento de 100 m³



Figura 21- Reservatório de distribuição de 100 m³

A figura 22 apresenta um esquema simplificativo da rede e dos seus componentes.

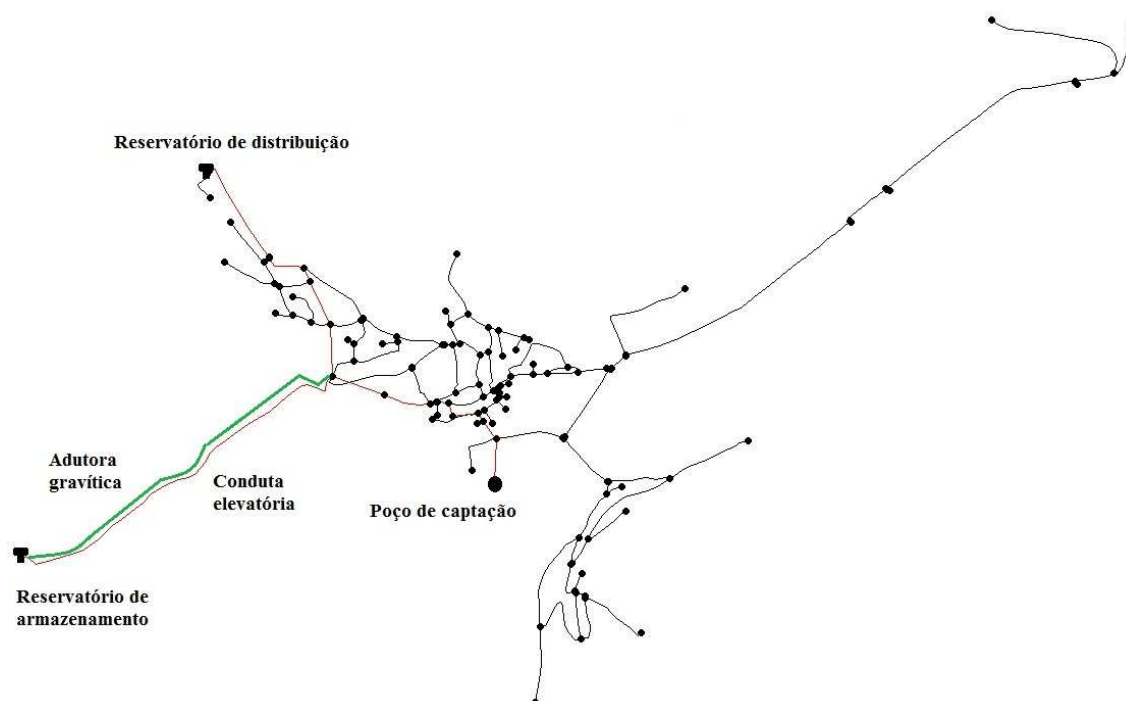


Figura 22- Esquema da rede com indicação da localização dos seus componentes

Este estudo está apenas concentrado na distribuição de água, desde o reservatório de distribuição até aos pontos de consumo, desprezando assim os restantes elementos da rede, como o poço de captação, as condutas elevatórias, o reservatório de armazenamento e a adutora gravítica.

As condutas da rede de distribuição datam de 1987 e são em Policloreto de Vinilo (PVC), excepto em alguns locais pontuais que sofreram reparações, tendo sido aplicado Polietileno de Alta Densidade (PEAD). A rede conta com 467 contadores e tem 7139,03 m de comprimento distribuídos por três diâmetros diferentes, conforme se observa na tabela 9 (dados retirados do cadastro das ADC).

Tabela 9- Comprimento, material e diâmetro das condutas

Material e diâmetro [mm]	Comprimento [m]
PVC 63	6327,34
PVC 75	867,59
PVC 90	544,10

3.3 Aplicação do EPANET à rede

Como referido anteriormente, o programa de modelação hidráulica escolhido para a simulação da rede foi o EPANET v2.0.

O EPANET modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de troços ligados a nós, que expressam os componentes físicos de um sistema de distribuição de água. Os troços representam as tubagens, bombas e válvulas de controlo, enquanto os nós representam junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV) (Coelho e Loureiro, 2002). Os componentes físicos presentes neste trabalho são têm, resumidamente, as seguintes características:

NÓS- São os pontos da rede onde os troços se ligam entre si e onde a água entra e sai da rede. Os principais dados de entrada para os nós são: a cota acima de determinado nível de referência. Em cada instante da simulação, obtêm-se os seguintes resultados para os nós da rede: carga hidráulica total, pressão e qualidade da água.

RNF- Os RNF são nós que representam um volume de armazenamento de água de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. Os principal parâmetro a inserir nas propriedades é o nível de água.

TUBAGENS- As tubagens são troços que transportam água entre os vários pontos da rede. Os principais parâmetros a inserir nas propriedades das tubagens são: nó inicial e final, diâmetro, comprimento, coeficiente de rugosidade (cálculo da perda de carga contínua) e estado (aberto, fechado ou contendo válvula de retenção). Em resultado da simulação obtêm-se as seguintes grandezas: caudal, velocidade, perda de carga.

A perda de carga hidráulica na tubagem pode ser determinada pelas seguintes fórmulas (tabela10):

Tabela 10- Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos em pressão

Fórmula	Termo de Perda de Carga (A)	Expoente do caudal (B)
Hazen-Williams	$10,7C^{-1,852}d^{-4,87}L$	1,852
Darcy-Weibasch	$0,083f(\epsilon,d,q)d^{-5}L$	2
Chezy-Manning	$10,3n^2d^{-5,33}L$	2

sendo, C- Coeficiente da fórmula de Hazen-Williams

ϵ - Rugosidade absoluta, em mm

f- Factor de Darcy-Weibasch (depende de ϵ , d e q)

n- Coeficiente de rugosidade de Manning

d- Diâmetro da tubagem, em mm

L- Comprimento da tubagem, em m

Q- Caudal, em m³/s

As fórmulas referidas anteriormente baseiam-se na expressão

$$h_L = Aq^B \quad (7)$$

sendo, h_L - Perda de Carga

q- caudal

A- Termo de perda de carga

B- Expoente do caudal

A fórmula usada no presente trabalho foi a de Hazen-Williams, por ser a mais usada nos sistemas em pressão. Para a referida fórmula e para o tipo de material da rede, os coeficientes de carga variam entre 140 e 150, usando-se 140 no trabalho. Optou-se por desprezar as perdas de carga singulares.

A aplicação da rede no EPANET foi feita da seguinte forma:

3.3.1 Conceção do modelo da rede a partir de desenhos Cad

A concepção do modelo teve por base um levantamento topográfico da freguesia de Verdelhos, onde estavam representados a rede de distribuição e todos os seus componentes. Estes elementos foram fornecidos pela ADC.

De forma a permitir uma correcta conversão do ficheiro Cad para o EPANET, houve necessidade de fazer algumas alterações e simplificações no desenho Cad. A partir deste obteve-se o traçado da rede apenas em termos de condutas e nós. De seguida introduziram-se as cotas nos nós, o diâmetro e rugosidade nas tubagens e definiram-se os reservatórios.

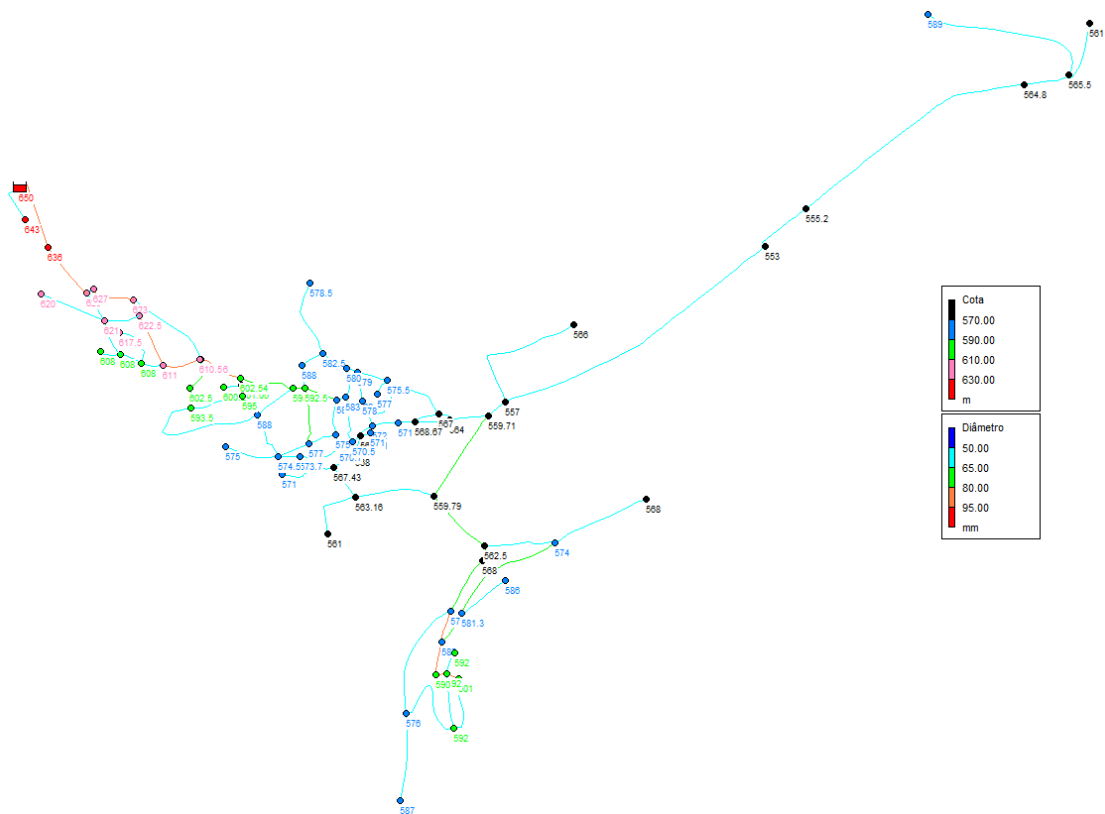


Figura 23- Rede no EPANET com indicação das cotas dos nós e diâmetros das tubagens

3.3.2 Descrição de consumos e caudais

É de extrema importância o cuidado na obtenção das estimativas de consumo não só para efeitos de modelação mas sobretudo pelo incremento das capacidades de análise e gestão da rede, incluindo a avaliação de perdas. Para correcta obtenção dos consumos, estes devem ser medidos nos locais convenientes (figura 24).

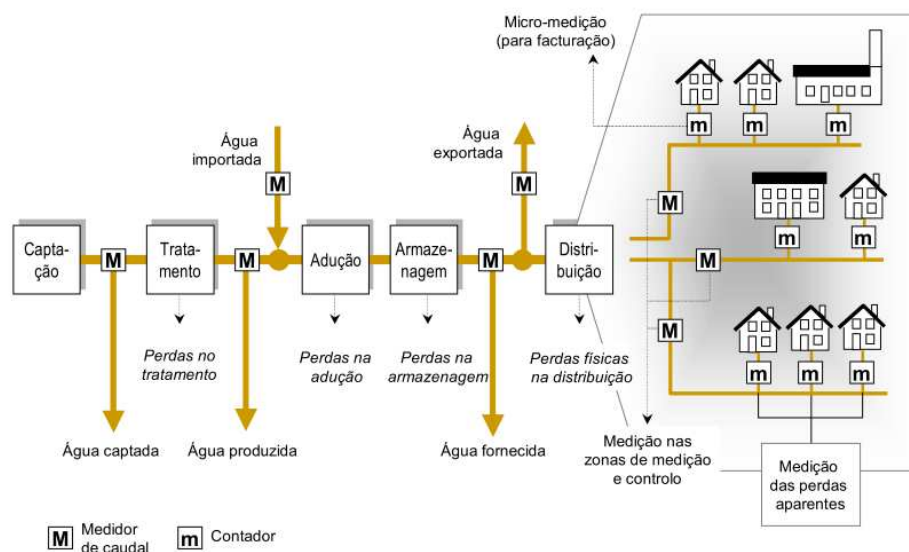


Figura 24- Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com os componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal (Coelho et. al., 2006)

Apesar de os consumos estarem distribuídos ao longo das condutas, os modelos de simulação utilizam, por simplificação, o consumo como estando concentrado nos nós que delimitam as condutas. É convencional que os consumos que ocorrem em cada semi-comprimento de uma conduta são concentrados no nó respectivo (figura 25).

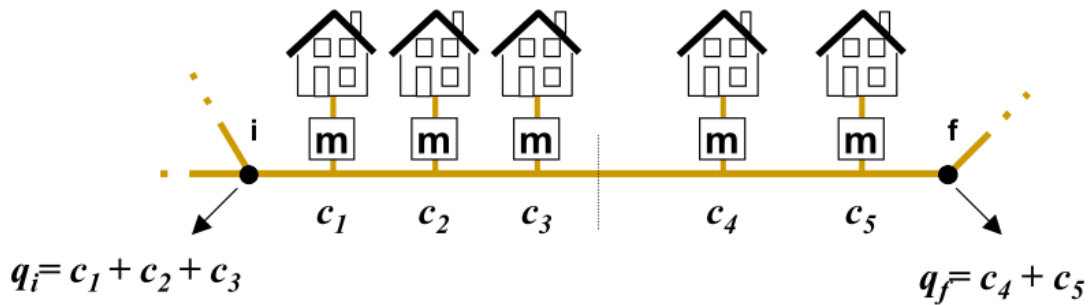


Figura 25- Atribuição dos consumos na conduta aos nós inicial e final (Coelho et. al., 2006)

Esta simplificação pode fazer com que a perda de carga calculada ao longo dos troços das condutas esteja subestimada ou sobrestimada (caudal utilizado pode ser maior ou menor do que o que realmente circula na conduta). No entanto a diferença não é significativa, o que torna a simplificação aconselhável, dado que permite modelos menos complexos e assim reduzir o volume de trabalho na construção do modelo.

Usualmente, para especificar os consumos nos modelos de simulação atribuem-se valores nominais a cada nó, designados por consumo-base. Para a distribuição destes consumo-base pelos nós existem diversos métodos, dos quais se destacam 3 tipos:

- a) os métodos que estimam os consumos nos nós a partir da análise da informação cartográfica;
- b) os métodos que recorrem à construção de tabelas de correspondência entre os valores registados no sistema de facturação e os nós do modelo;
- c) os métodos que realizam uma ligação funcional entre o sistema de facturação, o sistema de informação geográfica e o modelo, por forma a contabilizarem os consumos associados aos nós do modelo.

No presente estudo foi utilizado um método do tipo da alínea b), ou seja, baseado nos dados de facturação. Para tal, criaram-se tabelas de correspondência entre os valores registados no sistema de facturação (valores dos consumos por cliente e por rua) e os nós do modelo, que permitem obter o consumo em cada local e associá-lo aos nós do modelo. Para cada nó do modelo registaram-se as ruas que lhe concorrem e a percentagem de consumo de cada rua. Estas percentagens são auferidas por análises de sensibilidade, variando conforme a distribuição de consumidores por rua. Quando esta é homogénea considera-se que há 50% de consumo em cada nó da rua, quando não é aumenta-se a percentagem no nó que tem mais

consumidores e diminui-se no que tem menor. Criaram-se nós para os grandes consumidores, ou seja, consumidores com consumos médios muito altos, de modo a poder individualizar estes consumos-base, que são medidos individualmente.

O carregamento de consumos nos nós e a atribuição de padrões temporais pode ser feita de duas formas:

- a) atribuir a cada nó o consumo-base dimensional, e utilizar padrões de consumo adimensionais;
- b) atribuir a cada nó um consumo-base adimensional (peso), e utilizar padrões de consumo dimensionais.

Optou-se pela primeira forma descrita, de forma a facilitar a distribuição da quantidade de água perdida pelos nós, nos diversos teste realizados.

A caracterização dos consumos foi feita com base nos dados de facturação de 2009 e os registos de caudais e pressões foram realizados no presente ano, o que pode levar a discrepâncias entre os consumos aplicados na simulação e os realmente existentes.

3.3.3 Padrão temporal

Usualmente o consumo de água não é uniforme, isto é, varia ao longo do tempo, havendo períodos com consumos elevados e períodos com consumos praticamente nulos, como durante a noite. Porém, na rede em análise, o consumo é atípico, dado que não existem grandes variações ao longo do dia, como se observa na figura 26. Para se poder contar com estas variações temporais recorre-se à **simulação em período alargado**⁵, também designada por simulação dinâmica. Neste caso a simulação ocorre com um passo temporal de 15 minutos.

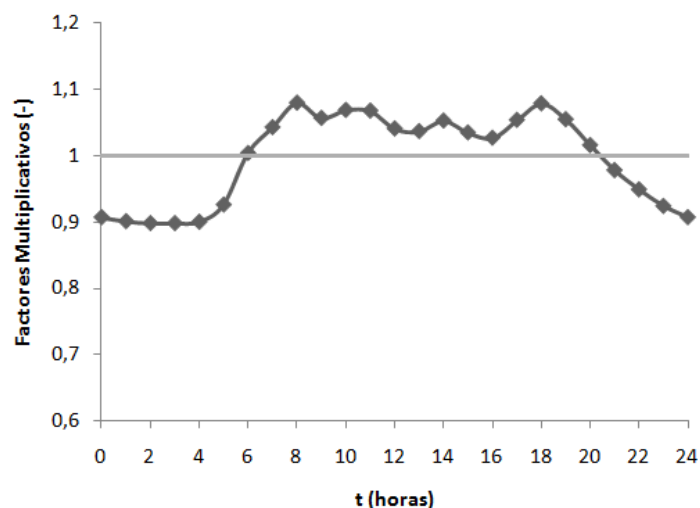


Figura 26- Padrão adimensional do consumo da rede de Verdelhos

⁵ Corresponde a “Extended-period simulation” na literatura de língua inglesa

Para obter o padrão recorreu-se ao software TradebXL4.0, que consiste numa folha de cálculo de MS Excel que trata estatisticamente séries de dados de caudal resultantes de um ponto de medição na rede, com o objectivo de caracterizar o consumo humano em termos de um cenário típico de abastecimento. O programa gera assim padrões de consumo normalizados bem como estatísticas básicas, histogramas de caudal e gráficos de caudais médios diários para os diferentes dias da semana. Em anexo estão alguns dos dados que se podem retirar deste software.

O consumo em cada nó, para determinada hora, é resultado do produto do consumo-base no nó pelo valor do padrão de consumo escolhido, nessa mesma hora.

$$q_t^i = P^t \times q_i \quad (8)$$

em que q_t^i é o consumo no nó i no instante t , P^t é o valor do padrão de consumo no instante t e q_i é o consumo-base no nó i .

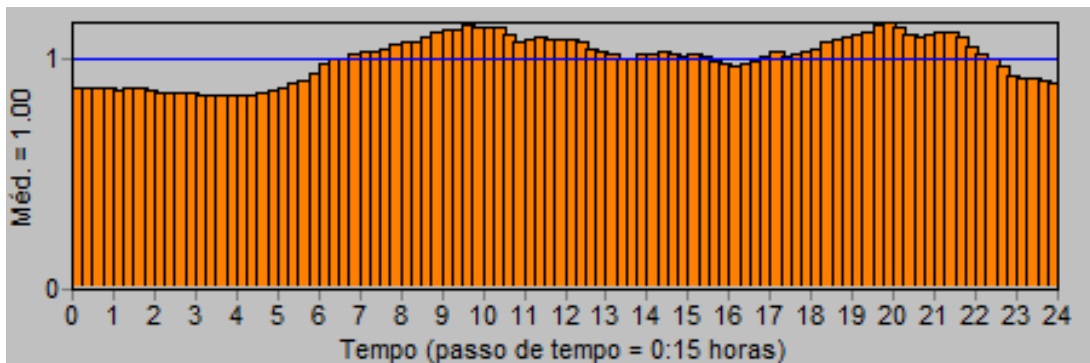


Figura 27 - Padrão de consumo adimensional inserido no EPANET

Nos nós correspondentes aos grandes consumidores (fontes e lavadores públicos) foi aplicado um padrão unitário, dado que a água é consumida de forma constante ao longo do dia (figura 28).

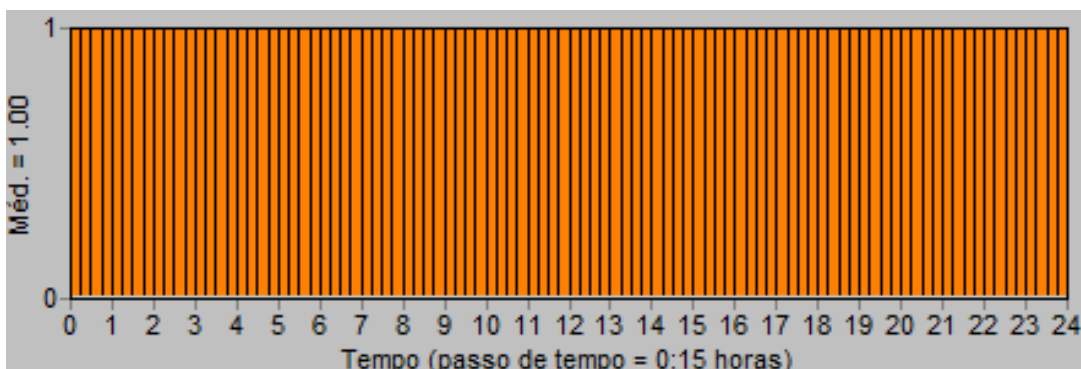


Figura 28- Padrão unitário inserido no EPANET

3.4 Calibração do modelo

Os modelos devem ser calibrados de modo a representarem a realidade. A calibração de modelos consiste na aferição e validação do modelo para diversas condições de funcionamento, de forma a poder ser utilizado com confiança. Esta é realizada com base na comparação entre os resultados do modelo e os resultados de medições realizadas no sistema real, o que implica que este processo pode ser tanto melhor quanto maior o número de observações das grandezas que reflectem o comportamento do sistema físico a que corresponde.

Para os sistemas de abastecimento de água em pressão, as principais grandezas que reproduzem o comportamento hidráulico são o caudal e a pressão. Neste caso apenas foram medidas pressões, o possível com o equipamento disponível nas Águas da Covilhã. A medição de pressões é em geral menos dispendiosa e tecnicamente mais fácil do que a de caudais. Os principais critérios relativos à calibração de pressões, de acordo com o WRc, Water Research Center do Reino Unido (1989), são:

- 85% dos valores medidos na rede deverão satisfazer a maior das duas tolerâncias: ± 0.50 m ou $\pm 5\%$ da maior perda de carga verificada na rede.
- 95% dos valores medidos na rede deverão satisfazer a maior das duas tolerâncias: ± 0.75 m ou $\pm 7.5\%$ da maior perda de carga verificada na rede.
- 100% dos valores medidos na rede deverão satisfazer a maior das duas tolerâncias: ± 2 m ou $\pm 15\%$ da maior perda de carga verificada na rede.

De acordo com Walski (2001), um modelo considera-se calibrado quando os resultados podem ser utilizados com confiança para se tomar decisões relativas a manutenção, exploração e projecto de sistemas de distribuição de água e que o aumento de custo para desenvolver o modelo não possa ser justificado.

As principais fontes de erro na modelação dos sistemas de distribuição de água são os coeficientes de rugosidade das condutas, a atribuição de consumos aos nós, o diâmetro considerado, os registos de cadastro, os erros de conectividade, a simplificação da rede e os níveis e condições de operação de reservatórios e instalações elevatórias.

Para a escolha dos locais de medições de pressões existem várias abordagens possíveis, tendo-se optado neste estudo pelo método mais clássico, que se baseia em localizar os medidores de pressão perto de locais com concentrações de consumos, e em zonas periféricas da rede, longe dos pontos de abastecimento de forma a aumentar a sensibilidade das perdas de carga aos caudais (Coelho *et al.*, 2006) (figura 29). Estas medições foram feitas no período de maior consumo.

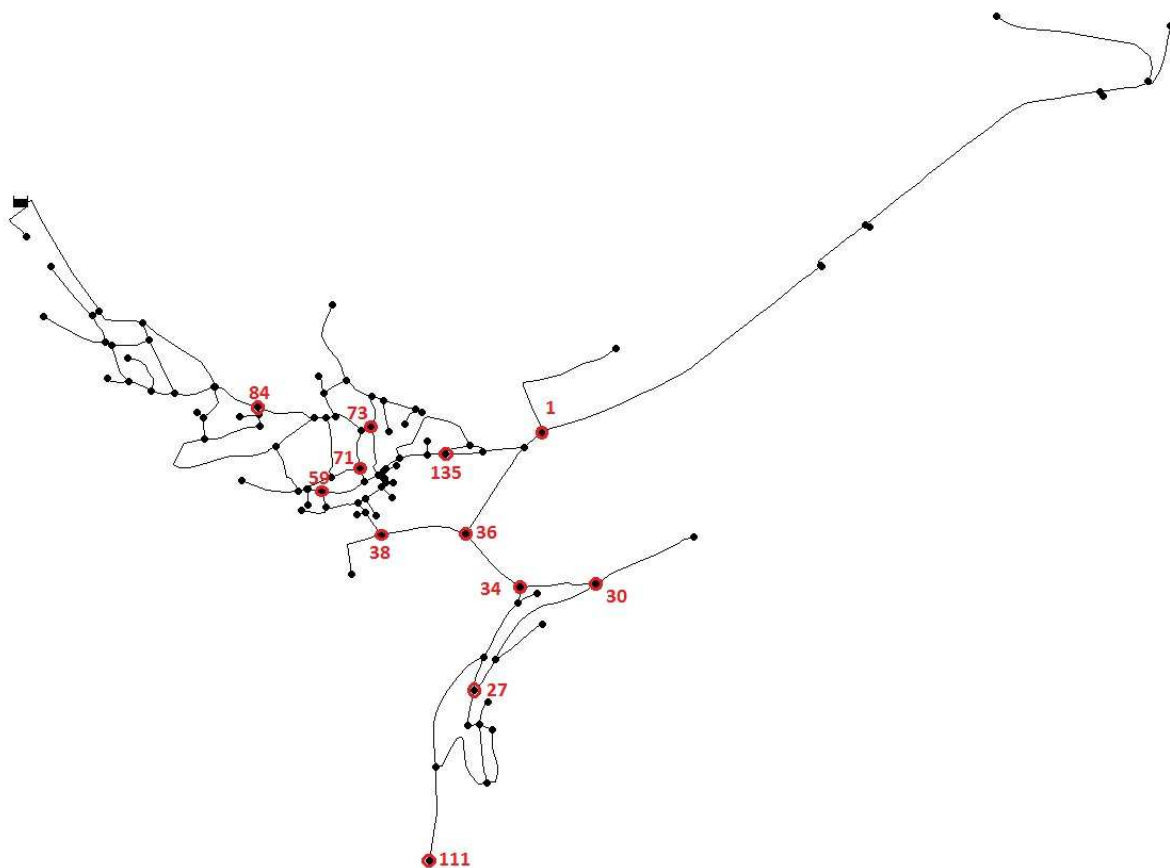


Figura 29- Localização dos pontos de medição de pressões utilizados na calibração do modelo

As pressões foram medidas durante 2 horas, das 9h às 11h com intervalos de tempo de 15 minutos, obtendo-se os seguintes valores médios:

Tabela 11 - Pressões medidas na rede

Nós	Pressões (m)
34	79,00
27	60,25
30	67,93
111	54,48
135	73,25
38	85,50
36	82,85
1	82,90
73	63,72
59	70,57
71	70,30
84	42,50

3.5 Resultados obtidos

3.5.1 Estimativa das perdas reais pelo método dos caudais mínimos nocturnos

De modo a estimar as perdas reais da rede em estudo, aplicou-se o método dos caudais mínimos nocturnos, descrito em 2.2.5.

Este método tem por base os consumos médios nocturnos autorizados (estimados) e os dados dos caudais mínimos nocturnos. A diferença entre estes dois valores permite estimar o volume de água perdido durante o período nocturno (PRN), que ao ser afectado por um coeficiente (Factor de correcção Noite-Dia, FND) se converte num volume equivalente diário.

$$(CmN) = (CAN) + (PRN) \quad (9)$$

Caudal Mínimo Nocturno

O primeiro passo para a estimativa das perdas consiste na determinação do CmN.

O CmN corresponde ao menor caudal de alimentação da rede no período nocturno (entre as 2h e as 4h). De forma simplificada pode-se dizer que o CmN é a soma do consumo autorizado nocturno com as perdas reais nocturnas.

Analisaram-se então os registos dos consumos da rede em questão, concluindo-se que o CmN tem um valor de 16,3 m³/hora (figura 30).

A figura seguinte ilustra o padrão de consumo dimensional da rede de Verdelhos.

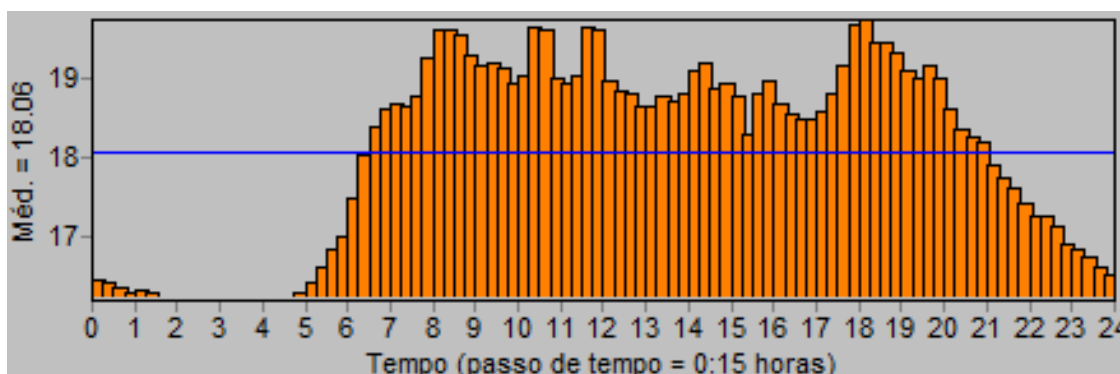


Figura 30- Padrão de consumo dimensional

Consumo Autorizado Nocturno

O consumo autorizado nocturno resulta, como descrito em 2.2.6, da soma de três parcelas: o consumo autorizado doméstico que é calculado pela equação (5) considerando como taxa de ocupação 2 pessoas por local de consumo e capitação de 1,5 l/h por local de consumo, o consumo não doméstico que se determina através da equação (6) e os grandes consumidores, que são 3.

Resumidamente, na tabela 12, apresentam-se os valores estimados.

Tabela 12- Estimativa do consumo autorizado nocturno

CAD (m ³ /h)	CAND (m ³ /h)	CAGC (m ³ /h)	CAN (m ³ /h)
1,36	0,08	0,78	2,22

Estimativa das perdas reais

As PRN são calculadas, como referido anteriormente, pela diferença entre o CmN e o CAN.

Para o FND, e dado que não existem dados das variações das pressões ao longo do dia, estimou-se o valor 24, pois é o valor mais comum nos estudos onde foi possível o seu cálculo.

Na tabela 13 apresentam-se os valores obtidos para o CAN e PR.

Tabela 13- Estimativa das Perdas Reais

CmN (m ³ /h)	CAN (m ³ /h)	FND (-)	PR (m ³ /h)
16,3	2,22	24	14,08

Face aos resultados obtidos verifica-se que o valor das perdas reais está próximo do valor do caudal médio diário, 18,06 m³/h, o que evidencia a enorme quantidade de perdas na rede.

O valor das PA, bem como de vários parâmetros necessários ao seu cálculo, apresentam-se na tabela 14

Tabela 14- Estimativa das perdas aparentes

VFT (m ³)	dias	CZ (m ³ /dia)	AFMD (m ³ /h)	ANFMD (m ³ /h)	PA (m ³ /h)
39450	365	432	4,50	13,49	-0,58

sendo, VFT - Volume de água facturada total

CZ - Consumo médio diário

AFMD - Água facturada média diária = VFT/ Período de análise

ANFMD - Água não facturada = CZ - AFMD

PA - Perdas Aparentes = ANFMD - PR

Os valores das captações assumidos, podem não corresponder aos reais e assim alterar os resultados das perdas reais e, por conseguinte, das perdas aparentes.

No entanto, constata-se que as perdas reais são muito superiores às aparentes.

3.5.2 Cálculo de ILI

De forma a poder avaliar o desempenho do sistema em estudo, em comparação com outros, calculou-se o ILI através das fórmulas descritas em 2.2.3.

Tabela 15- Componentes de cálculo do ILI

Volume de perdas de água (m ³ /ano)	Dias de Serviço	Lm (Km)	Nc (-)	Lp (Km)	P (m)	CARL (l/dia)	UARL (l/dia)	ILI (-)
118230	365	7,14	467	0,05	65,2	323917,80	32819,72	9,86

A classificação do sistema em estudo num valor de 9,86 no ILI, significa que:

- As correntes perdas reais anuais são avaliadas como sendo cerca de 10 vezes maiores que o nível de perdas irrecuperáveis de água (UARL) para um sistema com esse comprimento de rede, número de ligações e iguais distâncias desde o medidor até ao cliente, sob o mesmo regime de gestão de pressão do sistema analisado;
- É possível reduzir as perdas reais anuais para cerca de um décimo (1/10) do nível actual de perdas reais (CARL), sem alterações no regime de gestão de pressão;
- Alterações adicionais no nível de perdas reais resultarão em mudanças no regime de gestão de pressão.

Ao comparar-se o ILI do sistema em estudo com outros sistemas analisados pela IWA, constata-se que este é dos mais altos, havendo apenas dois sistemas pior classificados. A introdução deste sistema no estudo da IWA faz com que a média do ILI suba de 4,38 para 4,58.

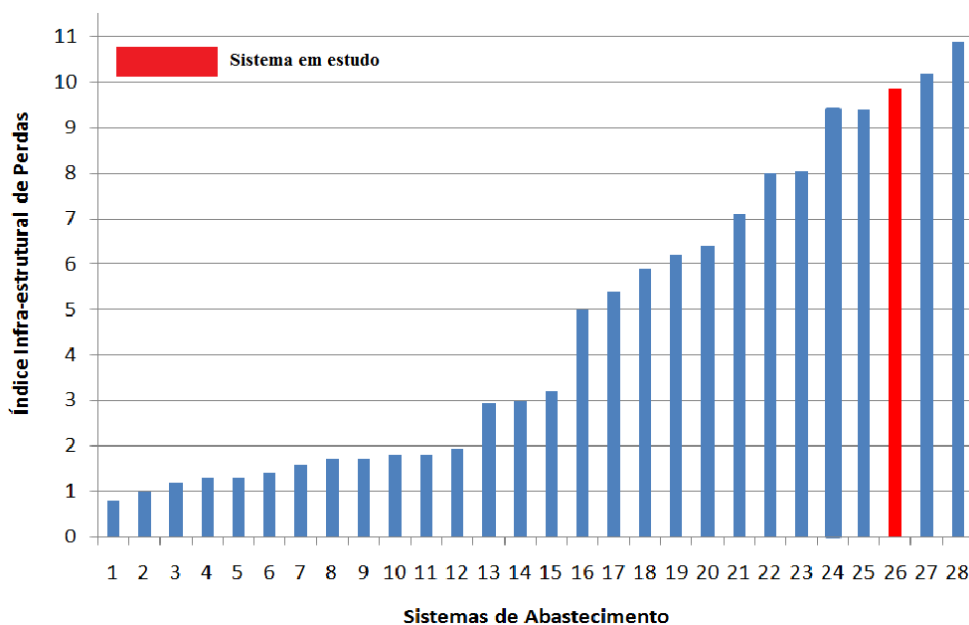


Figura 31- Resultados da aplicação do ILI em diversos sistemas de abastecimento, com destaque para o resultado do sistema em estudo

A classificação do ILI em 9,86 permite identificar o sistema em estudo na banda D do sistema de bandas do WBI (tabela 6).

3.5.3 Análise de sensibilidade da rede

Procedeu-se a uma análise de sensibilidade da rede de forma a tentar localizar as fugas de água, que consistiu no estudo de diferentes cenários de consumo e na comparação entre as pressões existentes na rede e as obtidas na simulação no programa EPANET. Foram estudados dois tipos de cenário, um que consiste em distribuir a quantidade de água perdida por vários nós, e outro que aplica uma fuga de caudal conhecido num determinado nó. Na tabela 16 apresenta-se um resumo dos diversos cenários estudados.

Tabela 16- Cenários para análise de sensibilidade da rede

Tipo de cenário	Cenário nº	Descrição do cenário
Água facturada nos nós	1	Colocação da quantidade de água facturada em cada nó
Localização da quantidade de água perdida em nós	2	Colocação da quantidade de água facturada em cada nó e distribuição das perdas por todos os nós de igual forma
	3	Colocação da quantidade de água facturada em cada nó e distribuição das perdas pelos nós N1, N12, N103 e N111
	4	Colocação da quantidade de água facturada em cada nó e distribuição das perdas pelos nós N1, N41, N89 e N111
	5	Colocação da quantidade de água facturada em cada nó e distribuição das perdas pelos nós N27, N63, N86 e N135
Aplicação de fuga com caudal conhecido num nó	6	Aplicação de fuga no nó N31

Os cenários que se baseiam na distribuição das perdas de água por nós são apresentados através de uma figura com a localização dos nós por onde as perdas foram distribuídas e por um relatório de calibração obtido do EPANET. Este relatório fornece o número de observações de pressão observadas, a média das pressões observadas, a média das pressões simuladas, o erro médio, o desvio padrão e a correlação entre os valores médios. Foram testados dezenas de cenários deste tipo, apresentando-se apenas aqueles cujos resultados são mais próximos dos reais.

O cenário de aplicação de fuga num nó é exposto pela localização dos nós da fuga e das pressões medidas, e também por uma tabela que compara as várias pressões medidas e simuladas. Este teste consistiu na abertura de uma boca-de-incêndio, no cálculo do seu caudal após estabilizar e na medição das pressões noutros pontos antes e durante a fuga. É de referir que as pressões durante a fuga também só foram registadas após estabilizarem.

Cada um dos seis cenários analisados tem ainda, em anexo, uma tabela com o comprimento e diâmetro de todas as tubagens, bem como velocidades, caudais e perdas de carga nas horas de menor e maior consumo.

Apresentação dos cenários

a) Cenário 1

Nesta primeira hipótese os consumos introduzidos nos nós correspondem aos facturados, obtendo-se o seguinte relatório de calibração da figura 32.

Localização	Num Obs	Méd Obs	Méd Sim	Erro Méd	Desv Pad
N34	4	79.00	86.97	7.970	7.986
N27	4	60.25	67.46	7.211	7.224
N30	4	67.93	75.46	7.540	7.564
N111	4	54.48	62.46	7.985	8.024
N135	4	73.25	79.55	6.300	6.315
N38	4	85.50	89.52	4.021	4.052
N36	4	82.85	89.73	6.875	6.891
N1	4	82.90	89.82	6.919	6.929
N73	4	63.72	66.35	2.627	2.627
N59	4	70.57	75.93	5.357	5.373
N71	4	70.30	74.63	4.328	4.349
N84	4	42.50	47.14	4.635	4.635
Rede	48	69.44	75.42	5.981	6.229

Correlação entre Valores Médios: 0.991

Figura 32- Pressões obtidas com simulação do cenário 1

b) Cenário 2

No cenário 2 distribuiu-se a quantidade de água perdida por todos os nós de igual forma, obtendo-se o relatório de calibração da figura 33.

Localização	Num Obs	Méd Obs	Méd Sim	Erro Méd	Desv Pad
N34	4	79.00	80.60	1.597	1.680
N27	4	60.25	60.98	0.729	0.840
N30	4	67.93	69.02	1.100	1.243
N111	4	54.48	55.96	1.484	1.672
N135	4	73.25	74.14	0.904	1.037
N38	4	85.50	83.76	1.742	1.818
N36	4	82.85	83.89	1.040	1.137
N1	4	82.90	84.15	1.248	1.286
N73	4	63.72	61.86	1.855	1.857
N59	4	70.57	71.51	0.931	1.026
N71	4	70.30	70.15	0.384	0.441
N84	4	42.50	43.22	0.725	0.726
Rede	48	69.44	69.94	1.145	1.304

Correlação entre Valores Médios: 0.996

Figura 33- Pressões obtidas com simulação do cenário 2

c) Cenário 3

No cenário 3 introduziram-se os consumos facturados em todos os nós e repartiu-se a quantidade de água perdida por quatro nós (N1, N12, N103, N111) (figura34), obtendo-se o relatório de pressão apresentado na figura 35.

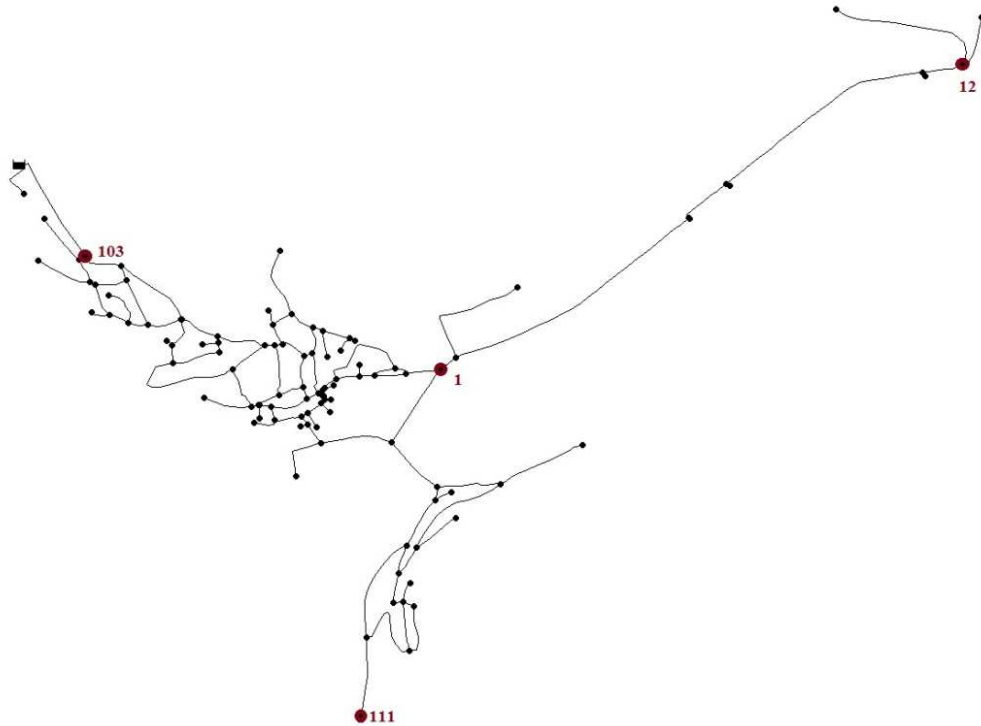


Figura 34- Rede com destaque para os nós pelos quais se distribuiu a água perdida no cenário 3

Relatório de Calibração - Pressão

Estadísticas | Gráfico de Correlação | Comparação de Valores Médios

Tratamento Estatístico dos Dados de Calibração para Pressão

Localização	Num Obs	Méd Obs	Méd Sim	Erro Méd	Desv Pad
N34	4	79.00	77.20	1.799	1.869
N27	4	60.25	57.52	2.730	2.764
N30	4	67.93	65.60	2.320	2.396
N111	4	54.48	51.62	2.854	2.961
N135	4	73.25	71.32	1.927	1.981
N38	4	85.50	81.11	4.391	4.419
N36	4	82.85	80.35	2.501	2.544
N1	4	82.90	80.43	2.472	2.499
N73	4	63.72	60.21	3.507	3.507
N59	4	70.57	69.91	0.675	0.789
N71	4	70.30	68.50	1.798	1.848
N84	4	42.50	42.51	0.012	0.013
Rede	48	69.44	67.19	2.249	2.552

Correlação entre Valores Médios: 0.996

Figura 35- Pressões obtidas com simulação do cenário 3

d) Cenário 4

No cenário 4 introduziram-se os consumos facturados em todos os nós e repartiu-se a quantidade de água perdida por quatro nós (N1, N41, N89, N111) (figura 36), obtendo-se o relatório de pressão apresentado na figura 37.

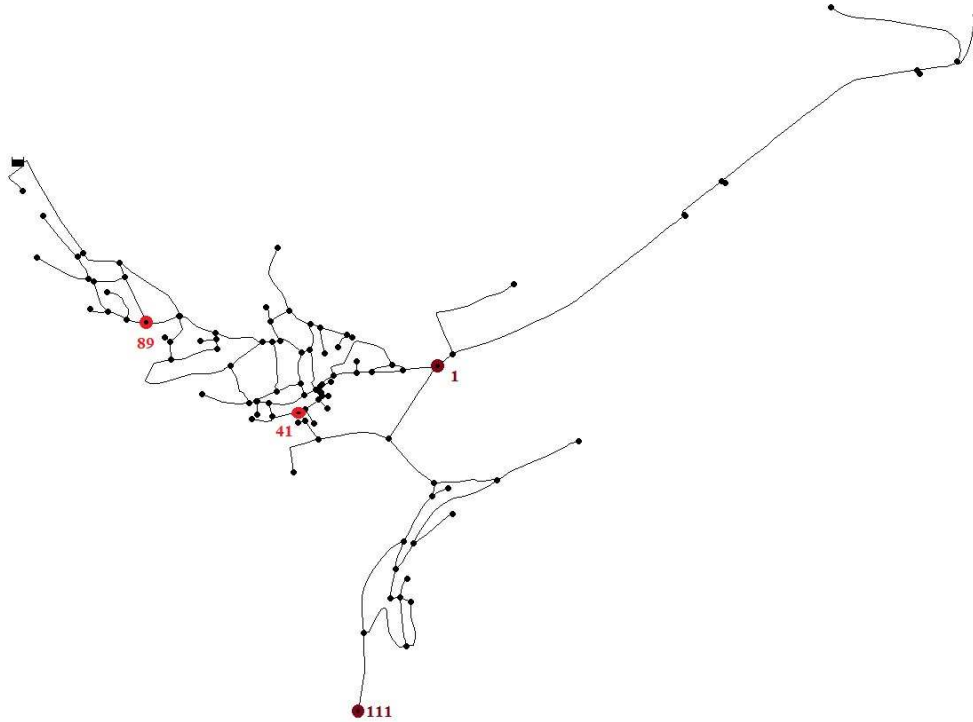


Figura 36- Rede com destaque para os nós pelos quais se distribuiu a água perdida no cenário 4

Relatório de Calibração - Pressão

Estadísticas | Gráfico de Correlação | Comparação de Valores Médios

Tratamento Estatístico dos Dados de Calibração para Pressão

Localização	Num Obs	Méd Obs	Méd Sim	Erro Méd	Desv Pad
N34	4	79.00	77.46	1.536	1.617
N27	4	60.25	57.78	2.467	2.504
N30	4	67.93	65.87	2.057	2.142
N111	4	54.48	51.88	2.590	2.708
N135	4	73.25	71.29	1.963	2.017
N38	4	85.50	80.72	4.784	4.811
N36	4	82.85	80.61	2.238	2.286
N1	4	82.90	80.79	2.106	2.138
N73	4	63.72	59.84	3.878	3.878
N59	4	70.57	69.53	1.041	1.122
N71	4	70.30	68.13	2.170	2.211
N84	4	42.50	42.14	0.361	0.361
Rede	48	69.44	67.17	2.266	2.568

Figura 37- Pressões obtidas com simulação do cenário 4

e) Cenário 5

No cenário 5 introduziram-se os consumos facturados em todos os nós e repartiu-se a quantidade de água perdida por quatro nós (N27, N63, N86, N135) (figura 38), obtendo-se o relatório de pressão apresentado na figura 39.

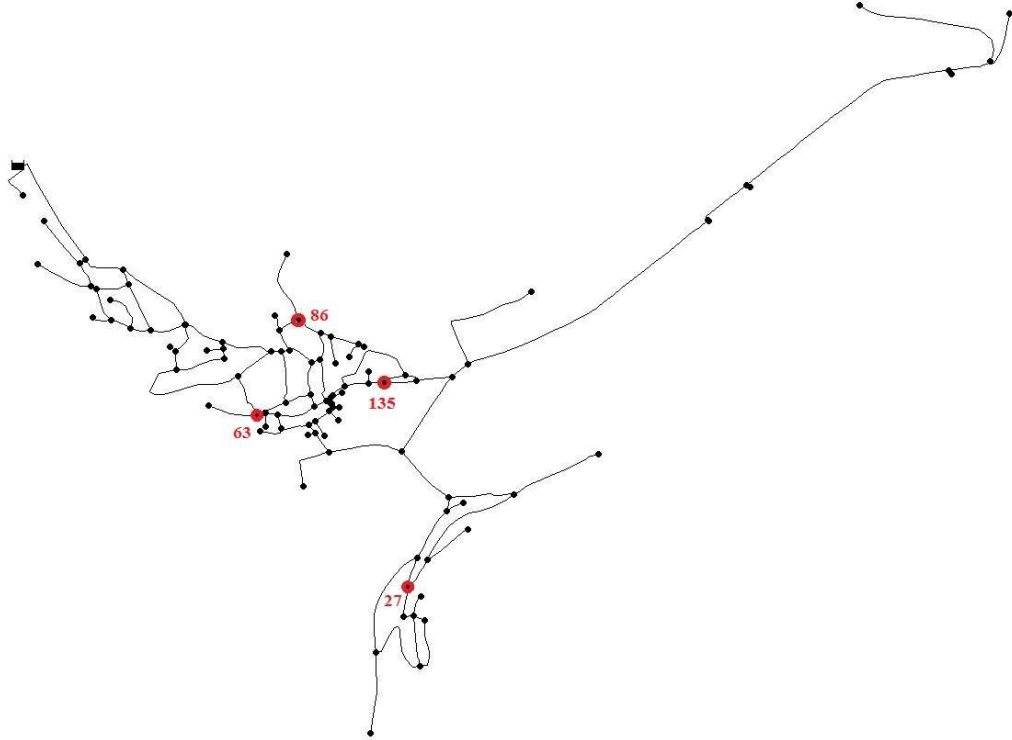


Figura 38- Rede com destaque para os nós pelos quais se distribuiu a água perdida no cenário 5

Relatório de Calibração - Pressão

Estadísticas | Gráfico de Correlação | Comparação de Valores Médios

Tratamento Estatístico dos Dados de Calibração para Pressão

Localização	Num Obs	Méd Obs	Méd Sim	Erro Méd	Desv Pad
N34	4	79.00	77.58	1.422	1.510
N27	4	60.25	57.89	2.364	2.402
N30	4	67.93	65.98	1.949	2.039
N111	4	54.48	52.90	1.580	1.767
N135	4	73.25	70.71	2.544	2.586
N38	4	85.50	80.85	4.647	4.674
N36	4	82.85	80.72	2.129	2.179
N1	4	82.90	80.89	2.009	2.042
N73	4	63.72	58.71	5.009	5.009
N59	4	70.57	68.40	2.172	2.212
N71	4	70.30	67.05	3.253	3.281
N84	4	42.50	41.76	0.741	0.741
Rede	48	69.44	66.95	2.485	2.800

Correlação entre Valores Médios: 0.995

Figura 39- Pressões obtidas com simulação do cenário 5

f) Cenário 6

Foi realizado a partir do cenário 2, por este ser o único modelo calibrado.

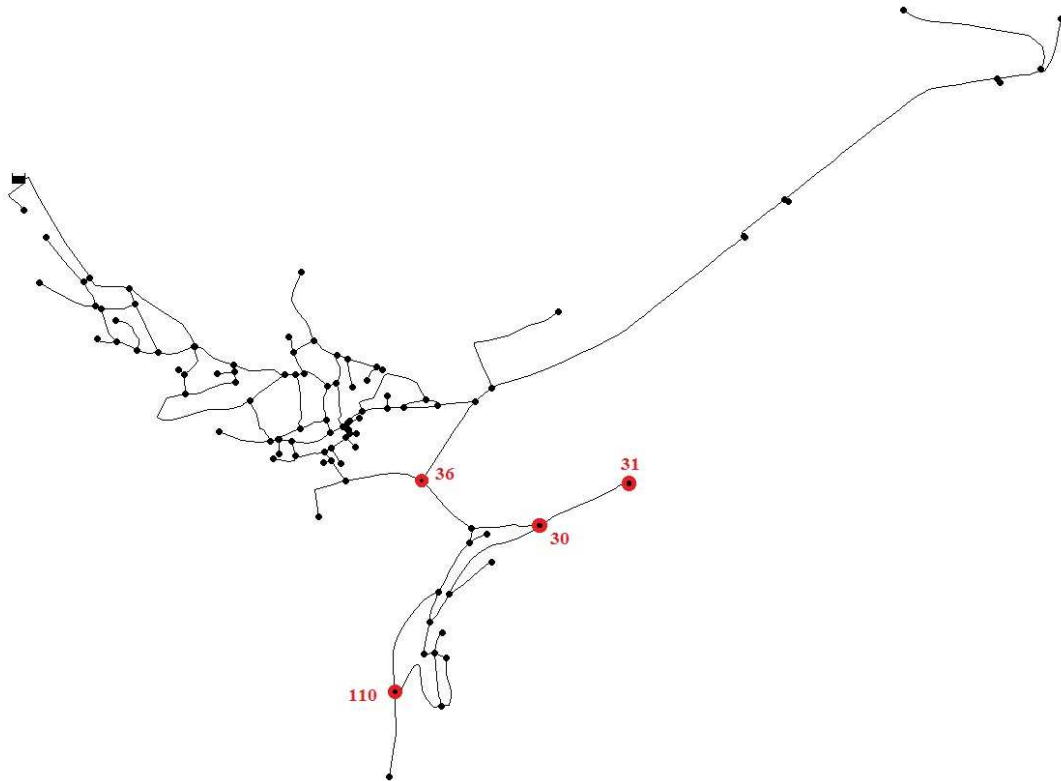


Figura 40- Rede com destaque para os nós em que se aplicou a fuga e se mediram as pressões do cenário 6

Tabela 17- Registo das pressões antes e durante a aplicação do cenário 6

Nó	Antes da fuga		Durante a fuga	
	Pmedida (m)	Psimulada (m)	Pmedida (m)	Psimulada (m)
N36	82	83,89	66	67,56
N110	67	69,15	50	49
N30	66	68,77	49	49

Discussão de resultados

Em termos de pressões, no cenário 1, observa-se, como era esperado, que as pressões simuladas são bastante superiores às observadas na rede, dado que as observadas se devem à água que realmente circula na rede (facturada e perdas) e as simuladas apenas à água facturada. No cenário 2 as pressões obtidas na simulação aproximam-se bastante das pressões observadas, com erro médio de 1,15m e todas com diferenças inferiores a dois metros, o que permite considerar o modelo calibrado. Nos cenários 3, 4 e 5 as pressões resultantes da simulação são próximas das pressões observadas, mas não tanto como no cenário 2. Do

cenário 6 resultam pressões simuladas também bastante próximas das observadas, permitindo afirmar que o cenário 2 se aproxima muito da realidade.

As velocidades de escoamento máximas para cada diâmetro foram avaliadas, de acordo com o Decreto-lei nº23/95, através da seguinte fórmula

$$v = 0,127D^{0,4} \quad (10)$$

em que v é a velocidade, em m/s, e D o diâmetro das tubagens, em mm.

Da análise das tabelas em anexo verifica-se que as velocidades de escoamento têm valores aceitáveis, excepto para o cenário 1 pois o consumo é baixo, e andam abaixo das máximas recomendadas (tabela 18) em praticamente todos os troços dos vários cenários.

Tabela 18- Velocidades de escoamento máximas recomendadas para cada diâmetro

Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)
63	0,66
75	0,71
90	0,77

As perdas de carga são também muito baixas no cenário 1, mais uma vez explicadas pelo baixo consumo, e têm valores aceitáveis para os restantes cenários.

Apesar do consumo da rede não variar muito ao longo do tempo e, por conseguinte, o caudal da hora de maior consumo ser relativamente próximo do caudal da hora de menor consumo, observam-se diferenças significativas nalguns troços em termos de velocidades e perdas de carga.

4 Conclusões

O presente trabalho teve como objectivo avaliar o desempenho do sistema de abastecimento de água de Verdelhos e localizar as fugas de água existentes, recorrendo ao simulador hidráulico EPANET.

No decorrer do trabalho registaram-se algumas dificuldades, entre as quais: o facto do cadastro disponibilizado não se encontrar actualizado, devido a melhoramentos efectuados na mesma; a falta de dados que possibilitassem o cálculo do balanço hídrico e, conseqüentemente, a determinação exacta dos diferentes tipos de perdas e de mais indicadores de desempenho; e ainda o facto dos consumos facturados e as pressões e caudais medidos não terem sido registados no mesmo período.

Do estudo efectuado conclui-se que a rede analisada é pouco eficiente. Esta tem uma elevada percentagem de perdas, cerca de 70%, essencialmente perdas reais que envolvem fugas e roturas, estando dispersas ao longo de toda a rede. Constatou-se ainda, através do cálculo do ILI, que o desempenho do sistema é fraco quando comparado com outras redes já estudadas. A sua aplicação no sistema de bandas do WBI permite, também, afirmar que os recursos são usados de forma ineficiente e, que para o melhorar, é imperativo e de elevada prioridade o uso de programas de redução de perdas.

O facto dos diferentes cenários de distribuição de perdas testados conduzirem a valores de pressões semelhantes permite afirmar que a rede é pouco sensível à localização dos consumos.

Recomendações futuras

De modo a permitir estudos futuros fidedignos, é absolutamente necessário proceder ao levantamento rigoroso do cadastro.

Apesar das ZMCs serem recomendadas para zonas com pelo menos 2000 ligações, e neste caso haver apenas 467 ligações, poder-se-iam também definir zonas na rede e aplicar este método, o que permitiria vantagens directas no combate eficiente às perdas de água. Para tal, seria necessário instalar medidores de caudal nos nós de fronteira de cada zona, cujos registos seriam enviados para uma central, permitindo identificar fugas e roturas, com possibilidades de quantificar os volumes de água perdida e analisar informações sobre consumos.

Referências Bibliográficas

- ALEGRE, H. (1994). *Instrumentos de Apoio à Gestão Técnica de Sistemas de Distribuição de Água*, LNEC, Lisboa.
- ALEGRE, H. (2002). *Modelos de Simulação de Sistemas de Distribuição de Água - Métodos de Avaliação e Distribuição de Consumos na Rede. Informação Técnica e Científica de Hidráulica*, LNEC, Lisboa.
- ALEGRE, H., HIRNER, W., BAPTISTA, J.M., PARENA, R. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de água, Manual de boa prática*, (versão portuguesa), IRAR e LNEC, Lisboa.
- ALEGRE, H., COELHO, S. T., ALMEIDA, M. C., VIEIRA, P. (2005). *Controlo das Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição*, Série Guias Técnicos 3. IRAR, INAG, LNEC.
- ANTUNES, A. et al.,(2009). *Controlo de Perdas e Fugas de Água nos de Sistemas de Distribuição de Água*, GEPAL
- CABRERA, E., VELA, A. (1995). *Improving Efficiency and Reliability in Water Distribution Systems*, Water Science and Technology Library.
- COELHO, S. T., LOUREIRO, D. (2002). *EPANET 2.0 em português - Manual do Utilizador*, LNEC, Lisboa.
- COELHO, S. T., LOUREIRO, D., ALEGRE, H. (2006). *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água. Série: Guias Técnicos 4*, LNEC e IRAR, Lisboa.
- COSTA, A. (2007). *Controlo de Perdas de Água no Sistema Público de Distribuição do Concelho de Vila Real*, UTAD, Vila Real.
- COVAS, D. (1998). *Detecção e Localização de Fugas em Redes de Distribuição de Água: Método de Análise Hidrodinâmica*, IST, Lisboa.
- DUARTE, A. (2009) *Controlo e Gestão de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água*, IST, Lisboa
- FANTOZZI, M., LALONDE A., LAMBERT, A., WALDRON, T. (2006). *Some International experience in promoting the recent advances in practical leakage management*. Water Practice & Technology, Vol. 1 N. ° 2, IWA Publishing.
- HUNAIDI, O. (2000). *Detecting Leaks in Water-Distribution Pipes*. Construction Technology Uptade No. 40.
- LAMBERT, A., MCKENZIE, R. (2002). *Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index*. International Water Association Conference “Leakage Management: A Practical Approach”, Cyprus.

- MARQUES, R.; LEVY, J. (2006). *A qualidade de serviço de abastecimento de água. O parecer do consumidor*, Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente (AEPSA), Lisboa.
- PEIXOTO, J.P. (1977). *O ciclo da água em escala global*, Secretaria de Estado do Ambiente, Lisboa.
- PEAASAR (2007). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional.
- PNA (2002). *Plano Nacional da Água*, Ministério do Ambiente.
- RASARP2008 (2009). *Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal 2008*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- SEAGO, C. et al (2005). International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems, IWA Leakage Conference, Halifax (Canada). (visto em Costa, 2007)
- SHIKLOMANOV, I. (1993). Capítulo “*World fresh water resources*” em Peter H. Gleick “*Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*”, Oxford University, New York.
- TAYLOR, R. (2009). *What is the infrastructure leakage index (ILI) and how did Waitakere City Council manage to achieve an ILI of 1.0?*, EcoWater.
- THORNTON, J. (2002). *Water Loss Control Manual*, McGraw-Hill.
- THORNTON, J., LAMBERT, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships, IWA Leakage Conference, Halifax (Canada).
- VIDIGAL, P. (2008). *Análise Alargada de Parâmetros Técnico-Hidráulicos e Avaliação de Desempenho de Sistemas de Abastecimento de Água*, IST, Lisboa
- WALSKI T. (2001). *Acceptable levels of calibration. Current Methods, Vol 1, No. 1*, Haestad Press Publication.
- WRc (1989). *Network analysis - a code of practice*. Water Research Centre, Reino Unido.

ANEXOS

Anexo 1.1- Dados relativos ao cenário 1

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T3	144,14	75	0,2	0,06	0,08	0,23	0,06	0,1
T5	210,72	63	0	0	0	0	0	0
T6	2,11	63	0	0	0	0	0	0
T7	32,84	63	0,03	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01
T8	91,15	63	0	0	0	0	0	0
T11	18,98	90	0,01	0	0	0,01	0	0
T12	90,1	75	0,18	0,05	0,07	0,2	0,05	0,08
T14	81,1	63	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0
T17	52,63	75	0,07	0,02	0,01	0,07	0,02	0,01
T18	150,19	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T19	81,94	63	0	0	0	0	0	0
T20	28,75	63	0	0	0	0,01	0	0
T22	106,43	63	0,09	0,04	0,05	0,1	0,04	0,05
T25	89,63	63	0,04	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
T26	37,3	63	0,29	0,11	0,36	0,35	0,14	0,51
T27	11,94	63	0,29	0,11	0,36	0,35	0,14	0,52
T28	22,37	63	0,14	0,06	0,1	0,17	0,07	0,13
T29	18,85	63	0	0	0	0	0	0
T30	155,5	63	0,11	0,04	0,06	0,13	0,05	0,08
T31	15,88	63	0	0	0	0	0	0
T32	11,32	63	0	0	0	0	0	0
T33	20,44	63	0	0	0	0	0	0
T34	27,03	63	0	0	0	0	0	0
T35	12,23	63	0	0	0	0	0	0
T36	81,81	63	0	0	0	0	0	0
T37	22,96	63	0	0	0	0	0	0
T38	22,04	63	0	0	0	0	0	0
T39	63,21	63	0,16	0,06	0,13	0,2	0,08	0,18
T40	71,36	63	0,19	0,07	0,16	0,23	0,09	0,24
T42	208,61	63	0,21	0,08	0,2	0,26	0,1	0,3
T43	25,82	63	0	0	0	0	0	0
T44	65,82	63	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0
T45	39,23	63	0	0	0	0	0	0
T46	20,75	63	0,22	0,09	0,22	0,27	0,11	0,32
T47	14,34	63	0,13	0,05	0,09	0,17	0,06	0,12
T48	70,46	63	0,23	0,09	0,23	0,28	0,11	0,33
T49	10,27	63	0	0	0	0	0	0
T50	25,81	63	0	0	0	0	0	0
T51	43,78	63	0	0	0	0	0	0
T52	43,69	63	0,21	0,08	0,19	0,25	0,1	0,28
T53	12,18	75	0,34	0,09	0,21	0,41	0,11	0,3
T55	9,93	63	0,15	0,06	0,1	0,14	0,05	0,09
T56	36,36	63	0,12	0,05	0,07	0,14	0,06	0,1
T57	35,34	63	0,11	0,04	0,07	0,14	0,05	0,09
T58	84,67	75	0,18	0,05	0,07	0,22	0,06	0,09
T59	65,78	90	0,68	0,13	0,31	0,8	0,15	0,42
T60	56,44	90	0,76	0,15	0,38	0,89	0,17	0,51
T61	189,49	90	1,13	0,22	0,79	1,33	0,26	1,08
T62	66,25	63	0	0	0	0,01	0	0
T64	136,89	63	0,28	0,11	0,33	0,33	0,13	0,45
T65	50,34	75	0,34	0,1	0,21	0,4	0,11	0,29
T66	12,14	63	0	0	0	0	0	0
T67	32,62	63	0,19	0,08	0,17	0,23	0,09	0,23
T68	55,79	63	0,2	0,08	0,19	0,24	0,09	0,26
T69	11,61	63	0,34	0,13	0,49	0,4	0,16	0,67
T70	53	63	0,1	0,04	0,05	0,12	0,05	0,07
T71	93,91	63	0	0	0	0	0	0
T72	65,9	63	0	0	0	0	0	0
T73	4,28	63	0	0	0	0	0	0

Anexo 1.1- Dados relativos ao cenário 1(cont.)

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T74	130,74	63	0	0	0	0,01	0	0
T75	9,17	63	0	0	0	0	0	0
T76	5,46	63	0	0	0	0	0	0
T78	5,85	90	1,13	0,22	0,8	1,34	0,26	1,09
T80	88,7	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T81	66,63	90	0,78	0,15	0,4	0,92	0,18	0,54
T82	25,65	90	0,5	0,1	0,17	0,59	0,11	0,24
T83	42,02	63	0,32	0,13	0,44	0,38	0,15	0,6
T84	9,87	63	0,31	0,12	0,42	0,37	0,15	0,63
T85	32,18	63	0	0	0	0	0	0
T86	33,88	63	0,2	0,08	0,18	0,23	0,09	0,25
T87	904	90	0,59	0,11	0,24	0,7	0,13	0,33
T89	1,73	90	0,41	0,08	0,13	0,48	0,09	0,13
T90	29,36	75	0,34	0,09	0,21	0,4	0,11	0,28
T91	82	63	0,12	0,05	0,07	0,13	0,05	0,09
T93	81,56	63	0	0	0	0	0	0
T94	11,73	63	0,18	0,07	0,15	0,22	0,08	0,21
T95	20,51	63	0,17	0,07	0,13	0,2	0,08	0,19
T96	41,66	63	0,18	0,07	0,15	0,22	0,08	0,21
T97	81,12	75	0,53	0,15	0,48	0,65	0,18	0,71
T98	16,07	75	0,53	0,15	0,48	0,65	0,18	0,7
T99	24,2	63	0	0	0	0	0	0
T100	114,1	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T101	16,22	63	0,29	0,11	0,36	0,35	0,14	0,52
T102	20,07	63	0,38	0,15	0,6	0,46	0,18	0,87
T103	9,7	63	0,61	0,24	1,43	0,74	0,29	2,05
T104	5,11	63	0,31	0,12	0,39	0,37	0,15	0,58
T105	24,15	63	0,3	0,12	0,39	0,37	0,14	0,56
T106	9,41	63	0,3	0,12	0,37	0,36	0,14	0,55
T107	6,28	63	0,29	0,12	0,38	0,36	0,14	0,53
T108	7,99	63	0,29	0,11	0,37	0,36	0,14	0,53
T109	27,13	63	0,29	0,11	0,37	0,35	0,14	0,53
T110	119,04	63	0,1	0,04	0,05	0,1	0,04	0,05
T111	104,66	75	0,29	0,08	0,16	0,32	0,09	0,19
T112	22,75	75	0,19	0,05	0,07	0,21	0,06	0,08
T113	47,12	90	0,13	0,03	0,01	0,14	0,03	0,02
T114	179,68	75	0,08	0,02	0,02	0,09	0,02	0,02
T115	65,27	90	0,2	0,04	0,03	0,2	0,04	0,03
T116	34,22	63	0	0	0	0	0	0
T118	178,24	63	0,04	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01
T119	141,3	63	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
T121	84,64	63	0,01	0,01	0	0,01	0	0
T122	38,91	63	0,17	0,07	0,14	0,21	0,08	0,19
T123	24,98	63	0,16	0,06	0,13	0,2	0,08	0,18
T124	51,99	63	0,1	0,04	0,06	0,12	0,05	0,07
T125	37,73	63	0,06	0,02	0,02	0,07	0,03	0,03
T126	63,02	63	0,24	0,09	0,25	0,28	0,11	0,34
T127	452,3	63	0,03	0,01	0	0,03	0,01	0,01
T128	43,14	63	0,11	0,04	0,06	0,13	0,05	0,08
T129	17,31	63	0	0	0	0,01	0	0
T130	44,98	63	0	0	0	0	0	0
T131	44,38	63	0,1	0,04	0,05	0,12	0,05	0,08
T132	52,54	63	0,05	0,02	0,01	0,06	0,03	0,02
T133	86,91	63	0,02	0,01	0	0,03	0,01	0
T134	381,3	63	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0
T135	68,75	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T137	263,46	63	0	0	0	0	0	0
1	1,25	63	0,17	0,07	0,18	0,21	0,08	0,24
6	12	90	0,02	0	0	0,01	0	0

Anexo 1.2- Dados relativos ao cenário 2

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T3	144,14	75	0,8	0,22	1,03	0,92	0,26	1,34
T5	210,72	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
T6	2,11	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
T7	32,84	63	0,13	0,05	0,08	0,17	0,07	0,13
T8	91,15	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
T11	18,98	90	0,03	0,01	0	0,02	0	0
T12	90,1	75	0,73	0,2	0,86	0,78	0,22	0,98
T14	81,1	63	0,06	0,02	0,02	0,05	0,02	0,01
T17	52,63	75	0,29	0,08	0,16	0,3	0,08	0,17
T18	150,19	63	0,02	0,01	0	0,03	0,01	0
T19	81,94	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T20	28,75	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T22	106,43	63	0,38	0,15	0,59	0,41	0,16	0,69
T25	89,63	63	0,15	0,06	0,1	0,19	0,08	0,18
T26	37,3	63	1,15	0,45	4,67	1,39	0,55	6,67
T27	11,94	63	1,16	0,45	4,76	1,41	0,55	6,82
T28	22,37	63	0,63	0,22	1,25	0,67	0,26	1,72
T29	18,85	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T30	155,5	63	0,43	0,17	0,77	0,52	0,21	1,09
T31	15,88	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T32	11,32	63	0	0	0	0	0	0
T33	20,44	63	0	0	0	0	0	0
T34	27,03	63	0	0	0	0	0	0
T35	12,23	63	0	0	0	0	0	0
T36	81,81	63	0	0	0	0	0	0
T37	22,96	63	0	0	0	0	0	0
T38	22,04	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T39	63,21	63	0,65	0,26	1,64	0,79	0,31	2,36
T40	71,36	63	0,75	0,29	2,11	0,92	0,36	3,08
T42	208,61	63	0,85	0,33	2,67	1,04	0,41	3,89
T43	25,82	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T44	65,82	63	0,05	0,02	0,01	0,06	0,02	0,02
T45	39,23	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T46	20,75	63	0,89	0,35	2,89	1,08	0,42	4,19
T47	14,34	63	0,54	0,21	1,14	0,66	0,26	1,68
T48	70,46	63	0,91	0,35	3	1,1	0,43	4,33
T49	10,27	63	0	0	0	0	0	0
T50	25,81	63	0	0	0	0	0	0
T51	43,78	63	0	0	0	0	0	0
T52	43,69	63	0,82	0,32	2,5	1	0,39	3,59
T53	12,18	75	1,35	0,37	2,69	1,65	0,46	3,91
T55	9,93	63	0,59	0,23	1,34	0,56	0,22	1,23
T56	36,36	63	0,47	0,18	0,88	0,63	0,22	1,28
T57	35,34	63	0,46	0,18	0,85	0,56	0,22	1,23
T58	84,67	75	0,72	0,2	0,85	0,88	0,24	1,23
T59	65,78	90	2,72	0,52	4,05	3,19	0,61	5,44
T60	56,44	90	3,03	0,58	4,95	3,56	0,68	6,67
T61	189,49	90	4,51	0,87	10,34	5,32	1,02	14,05
T62	66,25	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T64	136,89	63	1,11	0,43	4,35	1,3	0,51	5,89
T65	50,34	75	1,37	0,38	2,79	1,61	0,45	3,76
T66	12,14	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T67	32,62	63	0,77	0,3	2,23	0,9	0,35	3
T68	55,79	63	0,82	0,32	2,48	0,97	0,38	3,39
T69	11,61	63	1,36	0,53	6,37	1,6	0,63	8,64
T70	53	63	0,41	0,16	0,69	0,48	0,19	0,93
T71	93,91	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T72	65,9	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T73	4,28	63	0	0	0	0	0	0

Anexo 1.2- Dados relativos ao cenário 2 (cont.)

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T74	130,74	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T75	9,17	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
T76	5,46	63	0,01	0	0,01	0,02	0,01	0
T78	5,85	90	4,54	0,87	10,48	5,36	1,03	14,26
T80	88,7	63	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,02
T81	66,63	90	3,1	0,6	5,18	3,67	0,71	7,07
T82	25,65	90	1,98	0,38	2,26	2,35	0,45	3,09
T83	42,02	63	1,28	0,5	5,68	1,51	0,59	7,79
T84	9,87	63	1,25	0,49	5,47	1,48	0,58	7,46
T85	32,18	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T86	33,88	63	0,8	0,31	2,37	0,94	0,37	3,22
T87	904	90	2,36	0,45	3,13	2,79	0,54	4,26
T89	1,73	90	1,65	0,32	1,63	1,93	0,37	2,15
T90	29,36	75	1,35	0,37	2,71	1,59	0,44	3,64
T91	82	63	0,49	0,19	0,97	0,53	0,21	1,12
T93	81,56	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T94	11,73	63	0,71	0,28	1,9	0,86	0,34	2,73
T95	20,51	63	0,66	0,26	1,69	0,81	0,32	2,44
T96	41,66	63	0,71	0,28	1,93	0,87	0,34	2,77
T97	81,12	75	2,12	0,59	6,25	2,62	0,72	9,21
T98	16,07	75	2,12	0,59	6,24	2,6	0,72	9,11
T99	24,2	63	0	0	0	0	0	0
T100	114,1	63	0,02	0,01	0	0,03	0,01	0,01
T101	16,22	63	1,15	0,45	4,71	1,4	0,55	6,75
T102	20,07	63	1,52	0,6	7,85	1,85	0,73	11,3
T103	9,7	63	2,42	0,95	18,58	2,95	1,16	26,74
T104	5,11	63	1,23	0,48	5,29	1,5	0,59	7,6
T105	24,15	63	1,21	0,47	5,12	1,47	0,63	7,34
T106	9,41	63	1,18	0,46	4,91	1,44	0,56	7,05
T107	6,28	63	1,18	0,46	4,87	1,43	0,56	7
T108	7,99	63	1,17	0,46	4,83	1,42	0,56	6,94
T109	27,13	63	1,17	0,46	4,8	1,42	0,56	6,88
T110	119,04	63	0,4	0,16	0,66	0,4	0,16	0,65
T111	104,66	75	1,17	0,32	2,08	1,28	0,35	2,45
T112	22,75	75	0,76	0,21	0,94	0,83	0,23	1,09
T113	47,12	90	0,53	0,1	0,19	0,56	0,11	0,21
T114	179,68	75	0,34	0,09	0,21	0,36	0,1	0,23
T115	65,27	90	0,78	0,15	0,41	-0,81	0,16	0,43
T116	34,22	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
T118	178,24	63	0,17	0,07	0,13	0,18	0,07	0,15
T119	141,3	63	0,12	0,05	0,07	0,12	0,05	0,07
T121	84,64	63	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,01
T122	38,91	63	0,68	0,27	1,78	0,82	0,32	2,52
T123	24,98	63	0,66	0,26	1,66	0,79	0,31	2,34
T124	51,99	63	0,42	0,16	0,71	0,5	0,19	0,99
T125	37,73	63	0,23	0,09	0,24	0,28	0,11	0,34
T126	63,02	63	0,94	0,37	3,25	1,12	0,44	4,42
T127	452,3	63	0,1	0,04	0,05	0,14	0,05	0,09
T128	43,14	63	0,43	0,17	0,76	0,52	0,21	1,09
T129	17,31	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T130	44,98	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T131	44,38	63	0,41	0,16	0,7	0,5	0,2	0,99
T132	52,54	63	0,21	0,08	0,19	0,26	0,1	0,29
T133	86,91	63	0,08	0,03	0,03	0,11	0,04	0,06
T134	381,3	63	0,06	0,02	0,02	0,08	0,03	0,03
T135	68,75	63	0,03	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
T137	263,46	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
1	1,25	63	0,68	0,27	1,79	0,84	0,33	2,56
6	12	90	0,07	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01

Anexo 1.3- Dados relativos ao cenário 3

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T3	144,14	75	0,07	0,02	0,01	0,04	0,01	0
T5	210,72	63	0	0	0	0	0	0
T6	2,11	63	0	0	0	0	0	0
T7	32,84	63	1,21	0,48	5,17	1,22	0,48	5,25
T8	91,15	63	0	0	0	0	0	0
T11	18,98	90	0,29	0,06	0,06	0,29	0,06	0,07
T12	90,1	75	0,99	0,27	1,52	1	0,28	1,56
T14	81,1	63	0,3	0,12	0,39	0,3	0,12	0,39
T17	52,63	75	0,45	0,12	0,35	0,45	0,12	0,35
T18	150,19	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T19	81,94	63	0	0	0	0	0	0
T20	28,75	63	0	0	0	0,01	0	0
T22	106,43	63	0,47	0,18	0,88	0,47	0,19	0,91
T25	89,63	63	0,04	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
T26	37,3	63	1,74	0,68	10,07	1,8	0,71	10,75
T27	11,94	63	1,74	0,68	10,1	1,81	0,71	10,79
T28	22,37	63	1,37	0,54	6,44	1,39	0,54	6,65
T29	18,85	63	0	0	0	0	0	0
T30	155,5	63	0,93	0,36	3,13	0,95	0,37	3,26
T31	15,88	63	0	0	0	0	0	0
T32	11,32	63	0	0	0	0	0	0
T33	20,44	63	0	0	0	0	0	0
T34	27,03	63	0	0	0	0	0	0
T35	12,23	63	0	0	0	0	0	0
T36	81,81	63	0	0	0	0	0	0
T37	22,96	63	0	0	0	0	0	0
T38	22,04	63	0	0	0	0	0	0
T39	63,21	63	1,08	0,42	4,16	1,11	0,44	4,41
T40	71,36	63	1,12	0,44	4,47	1,16	0,46	4,78
T42	208,61	63	1,2	0,47	5,06	1,25	0,49	5,43
T43	25,82	63	0	0	0	0	0	0
T44	65,82	63	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,02
T45	39,23	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T46	20,75	63	1,52	0,6	7,83	1,63	0,61	8,29
T47	14,34	63	0,88	0,34	2,84	0,91	0,36	3,04
T48	70,46	63	1,56	0,61	8,2	1,61	0,63	8,67
T49	10,27	63	0	0	0	0	0	0
T50	25,81	63	0	0	0	0	0	0
T51	43,78	63	0	0	0	0	0	0
T52	43,69	63	1,29	0,5	5,77	1,33	0,52	6,13
T53	12,18	75	2	0,56	5,61	2,08	0,58	6,01
T55	9,93	63	0,08	0,03	0,04	0,09	0,04	0,04
T56	36,36	63	0,7	0,27	1,87	0,73	0,28	2
T57	35,34	63	0,7	0,27	1,86	0,72	0,28	1,99
T58	84,67	75	1,12	0,31	1,92	1,16	0,32	2,04
T59	65,78	90	3,01	0,58	4,89	3,12	0,6	5,23
T60	56,44	90	3,37	0,65	6,04	3,5	0,67	6,48
T61	189,49	90	5,84	1,12	16,74	6,04	1,16	17,81
T62	66,25	63	0	0	0	0,01	0	0
T64	136,89	63	1,21	0,47	5,1	1,25	0,49	5,49
T65	50,34	75	1,56	0,43	3,53	1,62	0,45	3,79
T66	12,14	63	0	0	0	0	0	0
T67	32,62	63	0,86	0,34	2,72	0,89	0,35	2,92
T68	55,79	63	0,87	0,34	2,79	0,91	0,36	3,01
T69	11,61	63	1,37	0,54	6,47	1,43	0,56	7,01
T70	53	63	0,47	0,18	0,88	0,48	0,19	0,94
T71	93,91	63	0	0	0	0	0	0
T72	65,9	63	0	0	0	0	0	0
T73	4,28	63	0	0	0	0	0	0

Anexo 1.3- Dados relativos ao cenário 3 (cont.)

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T74	130,74	63	1,18	0,46	4,94	1,18	0,46	4,94
T75	9,17	63	0	0	0	0	0	0
T76	5,46	63	0	0	0	0	0	0
T78	5,85	90	5,85	1,12	16,78	6,05	1,16	17,86
T80	88,7	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T81	66,63	90	3,29	0,63	5,77	3,43	0,66	6,23
T82	25,65	90	2,08	0,4	2,47	2,17	0,42	2,67
T83	42,02	63	1,35	0,53	6,29	1,41	0,55	6,81
T84	9,87	63	1,34	0,53	6,24	1,4	0,55	6,73
T85	32,18	63	0	0	0	0	0	0
T86	33,88	63	0,86	0,34	2,76	0,9	0,35	2,97
T87	904	90	2,54	0,49	3,58	2,64	0,51	3,85
T89	1,73	90	1,81	0,35	1,89	1,88	0,36	2,06
T90	29,36	75	1,55	0,43	3,51	1,61	0,45	3,76
T91	82	63	0,35	0,14	0,52	0,36	0,14	0,55
T93	81,56	63	0	0	0	0	0	0
T94	11,73	63	1,11	0,44	4,39	1,15	0,45	4,68
T95	20,51	63	1,08	0,42	4,18	1,12	0,44	4,43
T96	41,66	63	1,14	0,45	4,59	1,18	0,46	4,87
T97	81,12	75	3,09	0,85	12,5	3,21	0,89	13,42
T98	16,07	75	3,14	0,87	12,9	3,26	0,9	13,8
T99	24,2	63	0	0	0	0	0	0
T100	114,1	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T101	16,22	63	1,74	0,68	10,08	1,8	0,71	10,77
T102	20,07	63	2,59	1,02	21,08	2,67	1,05	22,31
T103	9,7	63	4,15	1,63	50,35	4,28	1,68	53,26
T104	5,11	63	2,4	0,94	18,23	2,46	0,96	19,12
T105	24,15	63	2,39	0,94	18,17	2,45	0,96	19,01
T106	9,41	63	1,75	0,68	10,15	1,81	0,71	10,87
T107	6,28	63	1,75	0,68	10,14	1,81	0,71	10,85
T108	7,99	63	1,75	0,68	10,12	1,81	0,71	10,82
T109	27,13	63	1,74	0,68	10,11	1,81	0,71	10,81
T110	119,04	63	1,55	0,61	8,16	1,55	0,61	8,16
T111	104,66	75	1,47	0,41	3,18	-1,5	0,42	3,28
T112	22,75	75	1	0,28	1,55	1,01	0,28	1,59
T113	47,12	90	0,37	0,07	0,1	0,38	0,07	0,11
T114	179,68	75	0,46	0,13	0,36	0,46	0,13	0,37
T115	65,27	90	0,81	0,16	0,43	0,82	0,16	0,44
T116	34,22	63	0	0	0	0	0	0
T118	178,24	63	0,61	0,24	1,44	0,61	0,24	1,44
T119	141,3	63	0,58	0,23	1,33	0,59	0,23	1,34
T121	84,64	63	0,29	0,11	0,36	0,29	0,11	0,36
T122	38,91	63	1,44	0,63	7,13	1,48	0,58	7,43
T123	24,98	63	1,44	0,56	7,07	1,47	0,58	7,35
T124	51,99	63	0,97	0,38	3,41	0,99	0,39	3,53
T125	37,73	63	0,47	0,18	0,88	0,48	0,19	0,92
T126	63,02	63	2,33	0,91	17,25	2,36	0,93	17,77
T127	452,3	63	1,21	0,47	5,12	1,22	0,48	5,18
T128	43,14	63	0,69	0,27	1,83	0,72	0,28	1,94
T129	17,31	63	0	0	0	0,01	0	0
T130	44,98	63	0	0	0	0	0	0
T131	44,38	63	0,69	0,27	1,8	0,71	0,28	1,91
T132	52,54	63	0,39	0,15	0,63	0,4	0,16	0,66
T133	86,91	63	1,2	0,47	5,08	1,21	0,47	5,12
T134	381,3	63	1,2	0,47	5,03	1,2	0,47	5,06
T135	68,75	63	1,19	0,47	4,99	1,19	0,47	5
T137	263,46	63	0	0	0	0	0	0
1	1,25	63	1,09	0,43	4,23	1,12	0,44	4,46
6	12	90	0,6	0,12	0,25	0,6	0,12	0,25

Anexo 1.4- Dados relativos ao cenário 4

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T3	144,14	75	0,64	0,18	0,67	0,67	0,18	0,73
T5	210,72	63	0	0	0	0	0	0
T6	2,11	63	0	0	0	0	0	0
T7	32,84	63	0,03	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01
T8	91,15	63	0	0	0	0	0	0
T11	18,98	90	0,29	0,06	0,06	0,29	0,06	0,06
T12	90,1	75	0,99	0,27	1,52	1	0,28	1,56
T14	81,1	63	0,3	0,12	0,39	0,3	0,12	0,39
T17	52,63	75	0,45	0,12	0,35	0,45	0,12	0,35
T18	150,19	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T19	81,94	63	0	0	0	0	0	0
T20	28,75	63	0	0	0	0,01	0	0
T22	106,43	63	0,47	0,18	0,88	0,47	0,19	0,91
T25	89,63	63	0,04	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
T26	37,3	63	1,03	0,4	3,82	1,09	0,43	4,26
T27	11,94	63	2,22	0,87	15,79	2,28	0,89	16,63
T28	22,37	63	1,09	0,43	4,23	1,11	0,44	4,4
T29	18,85	63	0	0	0	0	0	0
T30	155,5	63	0,74	0,29	2,07	0,76	0,3	2,18
T31	15,88	63	0	0	0	0	0	0
T32	11,32	63	0	0	0	0	0	0
T33	20,44	63	0	0	0	0	0	0
T34	27,03	63	0	0	0	0	0	0
T35	12,23	63	0	0	0	0	0	0
T36	81,81	63	0	0	0	0	0	0
T37	22,96	63	0	0	0	0	0	0
T38	22,04	63	0	0	0	0	0	0
T39	63,21	63	1,08	0,42	4,16	1,11	0,44	4,41
T40	71,36	63	1,12	0,44	4,48	1,16	0,46	4,79
T42	208,61	63	1,2	0,47	5,07	1,25	0,49	5,44
T43	25,82	63	0	0	0	0	0	0
T44	65,82	63	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,02
T45	39,23	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T46	20,75	63	1,52	0,6	7,83	1,63	0,61	8,29
T47	14,34	63	0,88	0,34	2,85	0,91	0,36	3,04
T48	70,46	63	1,56	0,61	8,21	1,61	0,63	8,68
T49	10,27	63	0	0	0	0	0	0
T50	25,81	63	0	0	0	0	0	0
T51	43,78	63	0	0	0	0	0	0
T52	43,69	63	1,29	0,5	5,77	1,33	0,52	6,14
T53	12,18	75	2,01	0,56	5,63	2,08	0,58	6,01
T55	9,93	63	0,08	0,03	0,03	0,09	0,04	0,04
T56	36,36	63	0,7	0,27	1,87	0,73	0,29	2
T57	35,34	63	0,7	0,27	1,86	0,72	0,28	1,99
T58	84,67	75	1,12	0,31	1,92	1,16	0,32	2,04
T59	65,78	90	3,01	0,58	4,89	3,12	0,6	5,24
T60	56,44	90	3,21	0,62	5,51	3,34	0,64	5,93
T61	189,49	90	5,83	1,12	16,67	6,02	1,16	17,69
T62	66,25	63	0	0	0	0,01	0	0
T64	136,89	63	1,37	0,54	6,48	1,42	0,56	6,9
T65	50,34	75	1,56	0,43	3,53	1,62	0,45	3,79
T66	12,14	63	0	0	0	0	0	0
T67	32,62	63	1,1	0,43	4,34	1,14	0,45	4,63
T68	55,79	63	1,12	0,44	4,43	1,15	0,45	4,69
T69	11,61	63	1,72	0,67	9,87	1,78	0,7	10,49
T70	53	63	0,63	0,22	1,28	0,59	0,23	1,35
T71	93,91	63	0	0	0	0	0	0
T72	65,9	63	0	0	0	0	0	0
T73	4,28	63	0	0	0	0	0	0

Anexo 1.4- Dados relativos ao cenário 4 (cont.)

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T74	130,74	63	1,18	0,46	4,94	1,18	0,46	4,94
T75	9,17	63	0	0	0	0	0	0
T76	5,46	63	0	0	0	0	0	0
T78	5,85	90	5,84	1,12	16,71	6,03	1,16	17,74
T80	88,7	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T81	66,63	90	4,1	0,79	8,68	4,23	0,81	9,21
T82	25,65	90	2,72	0,52	4,07	2,81	0,54	4,31
T83	42,02	63	1,7	0,67	9,65	1,76	0,69	10,25
T84	9,87	63	1,69	0,66	9,58	1,75	0,68	10,15
T85	32,18	63	0	0	0	0	0	0
T86	33,88	63	1,11	0,44	4,39	1,14	0,45	4,64
T87	904	90	3,29	0,63	5,77	3,39	0,65	6,1
T89	1,73	90	1,64	0,32	1,59	1,71	0,33	1,72
T90	29,36	75	1,55	0,43	3,51	1,61	0,45	3,76
T91	82	63	0,35	0,14	0,52	0,36	0,14	0,55
T93	81,56	63	0	0	0	0	0	0
T94	11,73	63	1,11	0,44	4,4	1,15	0,45	4,68
T95	20,51	63	1,08	0,42	4,18	1,12	0,44	4,44
T96	41,66	63	1,14	0,45	4,59	1,18	0,46	4,88
T97	81,12	75	3,09	0,86	12,51	3,21	0,89	13,44
T98	16,07	75	3,14	0,87	12,91	3,26	0,9	13,82
T99	24,2	63	0	0	0	0	0	0
T100	114,1	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T101	16,22	63	1,03	0,4	3,84	1,1	0,43	4,28
T102	20,07	63	2,59	1,02	21,1	2,68	1,05	22,34
T103	9,7	63	4,15	1,63	50,39	4,28	1,68	53,32
T104	5,11	63	1,92	0,75	12,13	1,99	0,78	12,89
T105	24,15	63	1,92	0,75	12,07	1,98	0,78	12,79
T106	9,41	63	2,22	0,87	15,86	2,29	0,9	16,73
T107	6,28	63	2,22	0,87	15,84	2,29	0,9	16,71
T108	7,99	63	2,22	0,87	15,83	2,28	0,9	16,67
T109	27,13	63	2,22	0,87	15,82	2,28	0,89	16,66
T110	119,04	63	0,84	0,33	2,64	0,84	0,33	2,64
T111	104,66	75	1,47	0,41	3,18	1,5	0,42	3,28
T112	22,75	75	-1	0,28	1,55	1,01	0,28	1,59
T113	47,12	90	0,37	0,07	0,1	0,38	0,07	0,11
T114	179,68	75	0,46	0,13	0,36	0,46	0,13	0,37
T115	65,27	90	0,81	0,16	0,43	0,82	0,16	0,44
T116	34,22	63	0	0	0	0	0	0
T118	178,24	63	0,61	0,24	1,44	0,61	0,24	1,44
T119	141,3	63	0,58	0,23	1,33	0,59	0,23	1,34
T121	84,64	63	0,29	0,11	0,36	0,29	0,11	0,36
T122	38,91	63	1,16	0,45	4,72	1,19	0,47	4,97
T123	24,98	63	1,15	0,45	4,67	1,18	0,46	4,91
T124	51,99	63	0,77	0,3	2,24	0,79	0,31	2,34
T125	37,73	63	0,37	0,15	0,58	0,38	0,15	0,62
T126	63,02	63	1,85	0,73	11,31	1,89	0,74	11,76
T127	452,3	63	0,03	0,01	0	0,03	0,01	0,01
T128	43,14	63	0,69	0,27	1,83	0,72	0,28	1,94
T129	17,31	63	0	0	0	0,01	0	0
T130	44,98	63	0	0	0	0	0	0
T131	44,38	63	0,69	0,27	1,81	0,71	0,28	1,91
T132	52,54	63	0,39	0,15	0,63	0,4	0,16	0,67
T133	86,91	63	0,02	0,01	0	0,03	0,01	0
T134	381,3	63	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0
T135	68,75	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T137	263,46	63	0	0	0	0	0	0
1	1,25	63	1,09	0,43	4,17	1,12	0,44	4,46
6	12	90	0,6	0,12	0,25	0,6	0,12	0,25

Anexo 1.5- Dados relativos ao cenário 5

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T3	144,14	75	0,59	0,16	0,59	0,62	0,17	0,64
T5	210,72	63	0	0	0	0	0	0
T6	2,11	63	0	0	0	0	0	0
T7	32,84	63	0,03	0,01	0	0,04	0,02	0,01
T8	91,15	63	0	0	0	0	0	0
T11	18,98	90	0,05	0,01	0	0,04	0,01	0
T12	90,1	75	0,97	0,27	1,47	0,98	0,27	1,5
T14	81,1	63	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02
T17	52,63	75	0,46	0,13	0,37	0,46	0,13	0,37
T18	150,19	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T19	81,94	63	0	0	0	0	0	0
T20	28,75	63	0	0	0	0,01	0	0
T22	106,43	63	0,48	0,19	0,93	0,49	0,19	0,96
T25	89,63	63	0,04	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
T26	37,3	63	1,07	0,42	4,09	1,13	0,44	4,55
T27	11,94	63	1,07	0,42	4,11	1,14	0,45	4,58
T28	22,37	63	0,44	0,17	0,81	0,46	0,18	0,87
T29	18,85	63	0	0	0	0	0	0
T30	155,5	63	0,7	0,27	1,87	0,72	0,28	1,97
T31	15,88	63	0	0	0	0	0	0
T32	11,32	63	0	0	0	0	0	0
T33	20,44	63	0	0	0	0	0	0
T34	27,03	63	0	0	0	0	0	0
T35	12,23	63	0	0	0	0	0	0
T36	81,81	63	0	0	0	0	0	0
T37	22,96	63	0	0	0	0	0	0
T38	22,04	63	0	0	0	0	0	0
T39	63,21	63	0,79	0,31	2,32	0,82	0,32	2,52
T40	71,36	63	1,54	0,6	8,07	1,58	0,62	8,45
T42	208,61	63	1,53	0,6	7,92	1,63	0,62	8,37
T43	25,82	63	0	0	0	0	0	0
T44	65,82	63	0,03	0,01	0	0,02	0,01	0
T45	39,23	63	0,44	0,17	0,8	0,44	0,17	0,8
T46	20,75	63	1,13	0,44	4,52	1,17	0,46	4,86
T47	14,34	63	1,12	0,44	4,43	1,14	0,45	4,62
T48	70,46	63	1,05	0,41	3,97	1,1	0,43	4,32
T49	10,27	63	0	0	0	0	0	0
T50	25,81	63	0	0	0	0	0	0
T51	43,78	63	0	0	0	0	0	0
T52	43,69	63	1,33	0,52	6,1	1,37	0,54	6,44
T53	12,18	75	2,49	0,69	8,38	2,56	0,71	8,85
T55	9,93	63	0,16	0,06	0,12	0,17	0,07	0,13
T56	36,36	63	1,14	0,45	4,63	1,17	0,46	4,86
T57	35,34	63	1,14	0,45	4,62	1,17	0,46	4,84
T58	84,67	75	1,39	0,39	2,86	1,43	0,4	3
T59	65,78	90	3,78	0,73	7,45	3,89	0,75	7,87
T60	56,44	90	4,24	0,81	9,23	4,36	0,84	9,75
T61	189,49	90	5,84	1,12	16,74	6,04	1,16	17,79
T62	66,25	63	0	0	0	0,01	0	0
T64	136,89	63	1,51	0,59	7,78	1,56	0,61	8,24
T65	50,34	75	1,96	0,54	5,42	2,02	0,56	5,72
T66	12,14	63	0	0	0	0	0	0
T67	32,62	63	1,08	0,42	4,16	1,11	0,44	4,39
T68	55,79	63	1,09	0,43	4,24	1,13	0,44	4,5
T69	11,61	63	1,71	0,67	9,77	1,77	0,69	10,4
T70	53	63	0,59	0,23	1,35	0,6	0,24	1,42
T71	93,91	63	0	0	0	0	0	0
T72	65,9	63	0	0	0	0	0	0
T73	4,28	63	0	0	0	0	0	0

Anexo 1.5- Dados relativos ao cenário 5 (cont.)

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L (m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T74	130,74	63	0	0	0	0,01	0	0
T75	9,17	63	0	0	0	0	0	0
T76	5,46	63	0	0	0	0	0	0
T78	5,85	90	5,85	1,12	16,78	6,05	1,16	17,85
T80	88,7	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T81	66,63	90	4,12	0,79	8,77	4,26	0,82	9,31
T82	25,65	90	2,6	0,5	3,75	2,69	0,52	3,98
T83	42,02	63	1,69	0,66	9,55	1,75	0,69	10,17
T84	9,87	63	1,68	0,66	9,49	1,74	0,68	10,07
T85	32,18	63	0	0	0	0	0	0
T86	33,88	63	1,09	0,43	4,2	1,12	0,44	4,45
T87	904	90	3,19	0,61	5,44	3,29	0,63	5,77
T89	1,73	90	2,27	0,44	2,92	2,34	0,45	3,1
T90	29,36	75	1,96	0,54	5,39	2,02	0,56	5,69
T91	82	63	0,43	0,17	0,75	0,44	0,17	0,79
T93	81,56	63	0	0	0	0	0	0
T94	11,73	63	0,36	0,14	0,53	-0,4	0,16	0,65
T95	20,51	63	0,79	0,31	2,34	0,83	0,32	2,54
T96	41,66	63	0,95	0,37	3,25	0,98	0,38	3,48
T97	81,12	75	3,93	1,09	19,58	4,05	1,12	20,68
T98	16,07	75	3,89	1,08	19,21	4,01	1,11	20,28
T99	24,2	63	0	0	0	0	0	0
T100	114,1	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T101	16,22	63	1,07	0,42	4,11	1,14	0,44	4,56
T102	20,07	63	1,91	0,75	11,99	1,99	0,78	12,93
T103	9,7	63	2,96	1,16	27	3,09	1,21	29,19
T104	5,11	63	1,88	0,74	11,65	1,94	0,76	12,36
T105	24,15	63	1,88	0,74	11,59	1,94	0,76	12,27
T106	9,41	63	1,08	0,42	4,15	1,14	0,45	4,63
T107	6,28	63	1,08	0,42	4,15	1,14	0,45	4,62
T108	7,99	63	1,08	0,42	4,13	1,14	0,45	4,6
T109	27,13	63	1,07	0,42	4,13	1,14	0,45	4,59
T110	119,04	63	0,88	0,35	2,87	0,88	0,35	2,87
T111	104,66	75	1,47	0,41	3,16	1,49	0,41	3,26
T112	22,75	75	0,98	0,27	1,49	0,99	0,28	1,53
T113	47,12	90	0,84	0,16	0,46	0,85	0,16	0,47
T114	179,68	75	0,47	0,13	0,39	0,48	0,13	0,39
T115	65,27	90	0,12	0,02	0,01	0,12	0,02	0,01
T116	34,22	63	0	0	0	0	0	0
T118	178,24	63	0,12	0,05	0,07	0,12	0,05	0,07
T119	141,3	63	0,11	0,04	0,06	0,11	0,04	0,06
T121	84,64	63	0,05	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01
T122	38,91	63	1,15	0,45	4,71	1,19	0,46	4,95
T123	24,98	63	1,15	0,45	4,66	1,18	0,46	4,89
T124	51,99	63	0,19	0,08	0,17	0,22	0,08	0,21
T125	37,73	63	0,23	0,09	0,24	0,22	0,09	0,22
T126	63,02	63	0,63	0,25	1,53	0,67	0,26	1,71
T127	452,3	63	0,03	0,01	0	0,03	0,01	0,01
T128	43,14	63	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0
T129	17,31	63	0	0	0	0,01	0	0
T130	44,98	63	0	0	0	0	0	0
T131	44,38	63	0,05	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01
T132	52,54	63	0,19	0,08	0,17	0,2	0,08	0,19
T133	86,91	63	0,02	0,01	0	0,03	0,01	0
T134	381,3	63	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0
T135	68,75	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T137	263,46	63	0	0	0	0	0	0
1	1,25	63	0,8	0,31	2,38	0,83	0,33	2,56
6	12	90	0,09	0,02	0,01	0,09	0,02	0,01

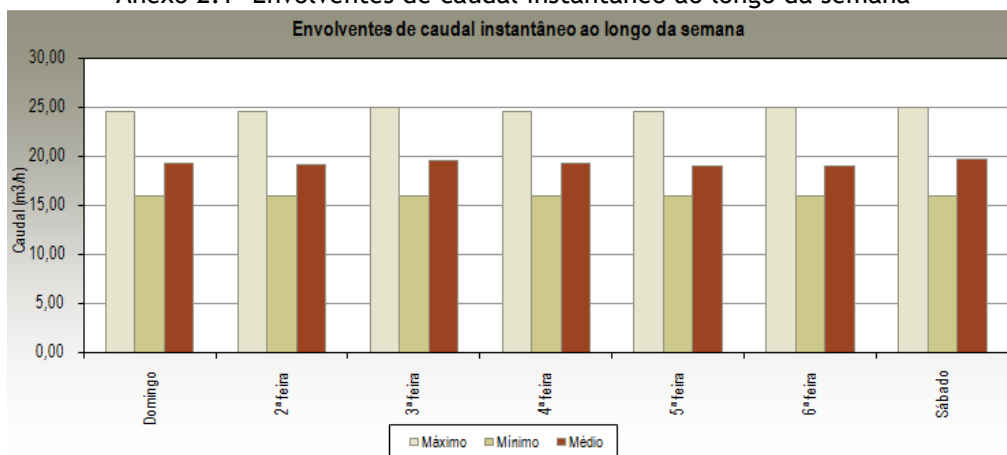
Anexo 1.6- Dados relativos ao cenário 6

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L(m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T3	144,14	75	2,31	0,64	7,33	2,8	0,78	10,43
T5	210,72	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T6	2,11	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T7	32,84	63	0,13	0,05	0,08	0,15	0,06	0,11
T8	91,15	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T11	18,98	90	0,07	0,01	0	0,08	0,02	0,01
T12	90,1	75	1,93	0,53	5,24	2,32	0,64	7,37
T14	81,1	63	0,09	0,04	0,04	0,11	0,04	0,06
T17	52,63	75	1,56	0,43	3,52	1,91	0,53	5,14
T18	150,19	63	3,55	1,39	37,7	4,33	1,7	54,49
T19	81,94	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T20	28,75	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T22	106,43	63	2,05	0,81	13,7	2,5	0,98	19,66
T25	89,63	63	0,15	0,06	0,1	0,18	0,07	0,15
T26	37,3	63	2,51	0,99	19,92	3,05	1,19	28,43
T27	11,94	63	2,53	0,99	20,11	3,06	1,2	28,7
T28	22,37	63	1,45	0,63	7,2	1,76	0,69	10,27
T29	18,85	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T30	155,5	63	1,03	0,4	3,79	1,24	0,49	5,4
T31	15,88	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T32	11,32	63	0	0	0	0	0	0
T33	20,44	63	0	0	0	0	0	0
T34	27,03	63	0	0	0	0	0	0
T35	12,23	63	0	0	0	0	0	0
T36	81,81	63	0	0	0	0	0	0
T37	22,96	63	0	0	0	0	0	0
T38	22,04	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T39	63,21	63	1,4	0,55	6,7	1,69	0,66	9,55
T40	71,36	63	1,51	0,59	7,73	1,83	0,72	11
T42	208,61	63	1,65	0,65	9,17	-2	0,78	12,99
T43	25,82	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T44	65,82	63	0,1	0,04	0,05	0,11	0,04	0,06
T45	39,23	63	0,03	0,01	0	0,03	0,01	0
T46	20,75	63	1,94	0,76	12,34	2,35	0,92	17,62
T47	14,34	63	1,14	0,45	4,61	1,39	0,54	6,62
T48	70,46	63	1,99	0,78	12,87	2,41	0,94	18,38
T49	10,27	63	0	0	0	0	0	0
T50	25,81	63	0	0	0	0	0	0
T51	43,78	63	0	0	0	0	0	0
T52	43,69	63	1,7	0,67	9,65	2,05	0,8	13,69
T53	12,18	75	2,7	0,75	9,77	3,27	0,9	13,88
T55	9,93	63	0,42	0,16	0,71	0,35	0,14	0,51
T56	36,36	63	0,94	0,37	3,23	1,14	0,45	4,59
T57	35,34	63	0,93	0,37	3,17	1,13	0,44	4,51
T58	84,67	75	1,49	0,41	3,23	1,8	0,5	4,59
T59	65,78	90	4,62	0,89	10,84	5,44	1,04	14,64
T60	56,44	90	5,15	0,99	13,25	6,07	1,17	17,97
T61	189,49	90	7,39	1,42	25,82	8,7	1,67	34,94
T62	66,25	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T64	136,89	63	1,86	0,73	11,4	2,19	0,86	15,47
T65	50,34	75	2,35	0,65	7,53	2,78	0,77	10,27
T66	12,14	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T67	32,62	63	1,31	0,51	5,96	1,55	0,61	8,08
T68	55,79	63	1,36	0,53	6,36	1,6	0,63	8,64
T69	11,61	63	2,2	0,86	15,5	2,58	1,01	20,92
T70	53	63	0,71	0,28	1,89	0,83	0,33	2,63
T71	93,91	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T72	65,9	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T73	4,28	63	0	0	0	0	0	0

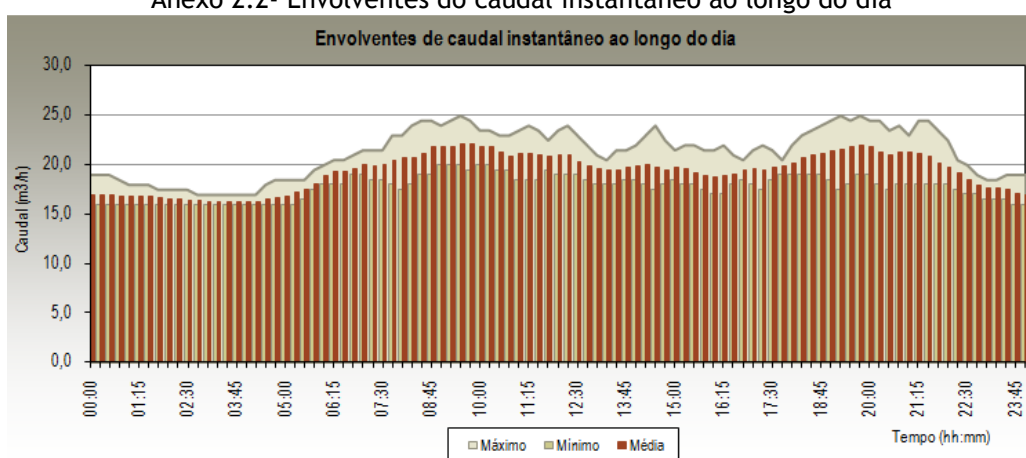
Anexo 1.6- Dados relativos ao cenário 6 (cont.)

ID do Troço	Características das tubagens		Troços à hora de menor consumo (3h)			Troços à hora de maior consumo (9h)		
	L(m)	D (mm)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)	q (l/s)	V (m/s)	J (m/Km)
T74	130,74	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T75	9,17	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T76	5,46	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
T78	5,85	90	7,42	1,43	26,03	8,73	1,68	35,22
T80	88,7	63	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,02
T81	66,63	90	5,14	0,99	13,21	6,07	1,17	17,94
T82	25,65	90	3,27	0,63	5,7	3,85	0,74	7,74
T83	42,02	63	2,11	0,83	14,44	2,5	0,98	19,65
T84	9,87	63	2,09	0,82	14,12	2,47	0,97	19,2
T85	32,18	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T86	33,88	63	1,34	0,52	6,19	1,58	0,62	8,4
T87	904	90	3,95	0,76	8,09	4,65	0,89	10,98
T89	1,73	90	2,79	0,54	4,26	3,28	0,63	5,76
T90	29,36	75	2,33	0,64	7,41	2,75	0,76	10,1
T91	82	63	0,66	0,26	1,69	0,74	0,29	2,08
T93	81,56	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T94	11,73	63	1,47	0,63	7,33	1,77	0,69	10,42
T95	20,51	63	1,41	0,55	6,8	1,7	0,67	9,69
T96	41,66	63	1,49	0,59	7,58	1,8	0,71	10,77
T97	81,12	75	4,2	1,16	22,09	5,08	1,41	31,48
T98	16,07	75	4,24	1,17	22,5	5,13	1,42	32
T99	24,2	63	0	0	0	0	0	0
T100	114,1	63	0,02	0,01	0	0,03	0,01	0
T101	16,22	63	2,52	0,99	20,01	3,06	1,2	28,56
T102	20,07	63	3,32	1,3	33,3	4,02	1,58	47,51
T103	9,7	63	5,3	2,08	79,25	6,42	2,52	113,12
T104	5,11	63	2,74	1,07	23,36	3,32	1,3	33,33
T105	24,15	63	2,72	1,07	23,03	3,3	1,29	32,86
T106	9,41	63	2,55	1	20,39	3,09	1,21	29,11
T107	6,28	63	2,54	1	20,31	3,08	1,21	29,01
T108	7,99	63	2,54	0,99	20,25	3,07	1,2	28,91
T109	27,13	63	2,53	0,99	20,17	3,07	1,2	28,8
T110	119,04	63	1,77	0,69	10,37	2,14	0,84	14,72
T111	104,66	75	4,05	1,12	20,68	4,9	1,36	29,4
T112	22,75	75	1,96	0,54	5,41	2,36	0,65	7,62
T113	47,12	90	1,65	0,32	1,61	1,99	0,38	2,27
T114	179,68	75	1,51	0,42	3,35	1,86	0,51	4,88
T115	65,27	90	0,06	0,01	0	0,03	0,01	0
T116	34,22	63	0,01	0	0	0,02	0,01	0
T118	178,24	63	0,24	0,1	0,26	0,29	0,11	0,37
T119	141,3	63	0,2	0,08	0,18	0,24	0,09	0,25
T121	84,64	63	0,09	0,04	0,04	0,11	0,04	0,06
T122	38,91	63	1,6	0,63	8,67	1,94	0,76	12,36
T123	24,98	63	1,58	0,62	8,42	1,91	0,75	12
T124	51,99	63	1,04	0,41	3,9	1,26	0,49	5,55
T125	37,73	63	0,53	0,21	1,1	0,64	0,25	1,63
T126	63,02	63	2,46	0,96	19,08	2,97	1,17	27,18
T127	452,3	63	0,1	0,04	0,05	0,13	0,05	0,08
T128	43,14	63	0,91	0,36	3,01	1,1	0,43	4,28
T129	17,31	63	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0
T130	44,98	63	0,01	0	0	0,01	0	0
T131	44,38	63	0,89	0,35	2,89	1,07	0,42	4,11
T132	52,54	63	0,48	0,19	0,93	0,59	0,23	1,35
T133	86,91	63	0,08	0,03	0,03	0,1	0,04	0,05
T134	381,3	63	0,06	0,02	0,02	0,07	0,03	0,03
T135	68,75	63	0,03	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01
T137	263,46	63	0,01	0	0	0,01	0,01	0
1	1,25	63	1,43	0,56	6,97	1,73	0,68	9,94
6	12	90	0,14	0,03	0,02	0,17	0,03	0,02

Anexo 2.1- Envoltentes de caudal instantâneo ao longo da semana



Anexo 2.2- Envoltentes do caudal instantâneo ao longo do dia



Anexo 2.3- Padrões adimensionais de caudal

