



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvemento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA

aquamundam

Soluciones para la gestión integrada sostenible del agua en el espacio POCTEP

Código candidatura: 0060_AQUAMUNDAM_6_E

Acción 1

**Entregable
adicional - no
previsto**

Instrumentos y herramientas metodológicas para la mejora de la
gestión eficiente del ciclo del agua

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE SISTEMAS URBANOS DE SAA e SDA
Manual de Boas Práticas**

AUTOR

IPN/Universidade de Coimbra

ESTADO

F

FECHA

9/07/2018

TIPOLOGÍA

R



CONTROL DE VERSIONES

Nº VERSIÓN	AUTOR	COMENTARIOS
v1	José Alfeu Sá Marques/Nuno Simões	Consultores do Projeto da UC

Índice

1	Preâmbulo	4
2	Planos de Combate às Fugas e Perdas	5
2.1	Introdução	5
2.2	Conceitos introdutórios	5
2.3	Estrutura de um plano de combate às fugas e perdas	8
2.3.1	Levantamento Cadastral	9
2.3.2	Medir caudal e recolher informação dos clientes	9
2.3.3	Balanço mássico e definição do nível de perdas pretendido	11
2.3.3.1	Cálculo das perdas económicas	13
2.3.3.2	Verificar erros de medição e faturação	13
2.3.3.3	Procura de ligações ilegais	14
2.3.3.4	Correção dos erros de medição e faturação	18
2.3.4	Implementação de um Projeto de Constituição de Zonas de Medição e Controlo.	18
2.3.4.1	Construção do modelo hidráulico	18
2.3.4.2	Estabelecimento de Zonas de Medição e Controlo (ZMC)	18
2.3.5	Deteção de fugas on-site	20
2.3.5.1	Métodos de localização aproximada	20
2.3.5.2	Métodos de localização/ deteção exata	21
2.3.6	Implementação de um Sistema de Telegestão e Atuação (SCADA).	27
2.3.6.1	Monitorização de fugas e perdas	27
2.3.6.2	Calibração do modelo e localização de pontos críticos	28
2.3.7	Gestão da pressão	28
3	Plano de Combate a Afluências Indevidas ou Caudais Parasitas	29
3.1	Introdução	29
3.1.1	Afluências indevidas diretas	30
3.1.2	Afluências indevidas indiretas	31

3.2	Consequências das afluições indevidas	32
3.3	Estrutura de um plano de combate às afluições indevidas	32
3.3.1	Cadastro	32
3.3.2	Métodos de monitorização e deteção das afluições indevidas	32
3.3.3	Métodos de quantificação dos caudais parasitas em fase de exploração	35
3.3.4	Métodos de quantificação de afluições indevidas diretas e indiretas	35
3.3.4.1	Método do triângulo	35
3.3.4.2	Método do mínimo móvel	37
3.3.4.3	Método das séries temporais de cargas poluentes	38
3.3.4.4	Métodos de quantificação de afluições indevidas indiretas	39
3.3.4.5	Métodos de quantificação de afluições indevidas diretas	41
3.4	Indicadores de desempenho técnico para as afluições indevidas	43
4	Referências Bibliográficas	45

1 Preâmbulo

O ciclo urbano da água, que inclui as obras de captação, tratamento, transporte e distribuição (Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água, SAA), drenagem e tratamento das águas residuais (Sistemas Urbanos de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais, SDTAR), representam uma das mais onerosa componente das infraestruturas urbanas. Acresce, a este facto, a circunstância de serem de capital muito intensivo e em grande parte serem enterradas, razão pela qual nem sempre a sociedade lhes atribui a atenção que deviam ser merecedoras, pois podem representar até mais de 50% do valor das infraestruturas urbanas.

A saúde e a qualidade de vida nas sociedades modernas é extremamente dependente da qualidade e do desempenho destas infraestruturas. Hoje em dia, face aos desafios sociais e económicos, bem como à adaptação às alterações climáticas, é imperiosa uma gestão eficiente da água e do funcionamento das infraestruturas existentes.

Uma outra componente que se tem vindo a evidenciar é a existência de umnexo entre a água e a energia, surgindo mesmo uma nova área do conhecimento: WATERGY.

O presente documento apresenta um conjunto de metodologias de apoio às boas práticas nas empresas de serviços de água, relacionadas com o combate às fugas e perdas nos sistemas de abastecimento de água e às afluências indevidas dos sistemas de drenagem de água residual.

Também deve ser salientado, que embora sejam frequentemente tratadas de uma forma autónoma e mesmo por entidades distintas, a drenagem das águas com origem nas chuvas deveria merecer das autoridades um tratamento mais cuidado e da responsabilidade das entidades gestoras dos sistemas de drenagem das águas residuais.

2 Planos de Combate às Fugas e Perdas

2.1 Introdução

A escassez de água doce, aliada ao crescimento da população constitui um grave problema com o qual as sociedades atuais se debatem. Desta forma, a eficiência dos sistemas de abastecimento de água mostra-se cada vez mais essencial para dar resposta a este e outros problemas. Como o referido por Gumier e Junior (2007), já em 1993, no relatório Water Resources Management Policy Paper, da Organização das Nações Unidas (ONU), se apontava a gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água urbanos como uma das medidas para determinar um bom uso dos recursos hídricos disponíveis. A referida escassez induz também um desequilíbrio entre a oferta e a procura e um correspondente aumento do valor da água e dos custos de produção.

A título de exemplo pode dizer-se que a realidade portuguesa nesta matéria é condizente com o panorama mundial. Um estudo realizado, em novembro de 2013, pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), no âmbito da avaliação da qualidade dos serviços públicos de abastecimento de água, revelou que, em média, cerca de 35% do volume de água captado, tratado e distribuído pelos sistemas de abastecimento não é faturado, chegando este valor, em casos mais graves, nas zonas rurais e mediantemente urbanas a rondar os 70%.

O combate às fugas e perdas é, portanto, um imperativo por uma vasta gama de razões, de entre as quais se destacam:

- i. Razões económicas (a água distribuída é submetida, regra geral, a um tratamento pelo que incorpora mão-de-obra, equipamentos, produtos químicos e tem também, em geral, uma incorporação de energia elétrica, pois é pressurizada, portanto se não for perdida pode ser vendida e, desse modo, representar receitas para a entidade gestora ou mesmo dispensar a entidade gestora de novos investimentos para aumento da produção).
- ii. Razões ambientais (devido ao crescimento populacional, ao aumento da taxa de cobertura das populações e eventualmente das alterações climáticas globais, constata-se uma escassez de água, em particular água doce).
- iii. Razões sociais (para o mesmo investimento podemos abastecer um mais elevado número de habitantes e podemos diminuir o custo unitário).

2.2 Conceitos introdutórios

De acordo com o referido por Morais e Almeida (2007), a *International Water Assotiantion* (IWA), refere que qualquer reflexão acerca das perdas de água deve, em primeiro lugar, começar

por esclarecer os tipos de fugas e perdas associados à distribuição de água. Deste modo, as perdas de água podem ser divididas em duas grandes categorias:

- *Perdas Reais*: constituem as perdas físicas de água a partir dos sistemas de condutas, e incluem fugas e transbordo de armazenamento. Como foi mencionado por Thornton (2002), estas perdas não são de facto reais do bem, uma vez que, apenas representam o retorno de água para a bacia hidrográfica, implicando, no entanto, custos consideráveis de transporte e tratamento de água que não têm retorno para as Entidades Gestoras. As fugas são o tipo mais comum de perdas reais e podem ocorrer como consequência de inúmeras razões, das quais se destacam (Thornton, 2002):
 - Instalações inadequadas;
 - Materiais impróprios;
 - Uso inadequado de materiais antes da instalação;
 - Aterro de valas executado de forma inadequada;
 - Transitórios hidráulicos (golpe de ariete);
 - Flutuações de pressão;
 - Pressão excessiva;
 - Corrosão;
 - Vibração e carga devido ao tráfego;
 - Condições ambientais, tais como baixas temperaturas;
 - Falta de programação e de manutenção adequada.
- *Perdas Aparentes*: Representam volumes de água que são consumidos, mas que não são devidamente contabilizados, e que ocorrem como resultado de erros de mediação, erros de dados do sistema de faturação ou consumos não autorizados ou ilegais. Estas perdas penalizam os fornecedores de água e alteram os dados sobre os padrões de consumo dos utilizadores.

As perdas de água constituem um problema em todos os sistemas de abastecimento e muito particularmente nos de distribuição de água, sendo por isso necessário, por parte das Entidades Gestoras, o estabelecimento de um plano que permita gerir a sua infraestrutura de abastecimento e distribuição de água de um modo económico, técnico e ambientalmente sustentável, por forma, a reduzir as fugas e perdas até níveis economicamente viáveis e tecnicamente aceitáveis. Deste

modo, verifica-se ser de extrema importância o estabelecimento de um plano de combate às fugas e perdas, que responda às seguintes questões:

- i. Qual a quantidade de água perdida?
- ii. Onde ocorrem as fugas e perdas?
- iii. Qual a estratégia a adotar para reduzir as fugas e perdas?
- iv. Como se podem controlar as fugas e perdas numa forma sustentável?

Na *Figura 1* resumem-se as quatro técnicas básicas de um plano de combate às fugas e perdas: intervenções rápidas (traduzida na colocação em serviço de um sistema de deteção e reparação de roturas com elevada capacidade de atuação); manutenção e reparação das condutas (traduzida na existência de Planos Diretores de Abastecimento de Água, que possibilitem ações preventivas de manutenção e reparação de condutas); controlo ativo de fugas e perdas (traduzido num Plano de Deteção e Combate contínuo a fugas e perdas) e gestão da pressão (traduzido na implementação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) nas quais se pode reduzir a pressão sem diminuição da qualidade de serviço e de monitorização contínua do caudal).

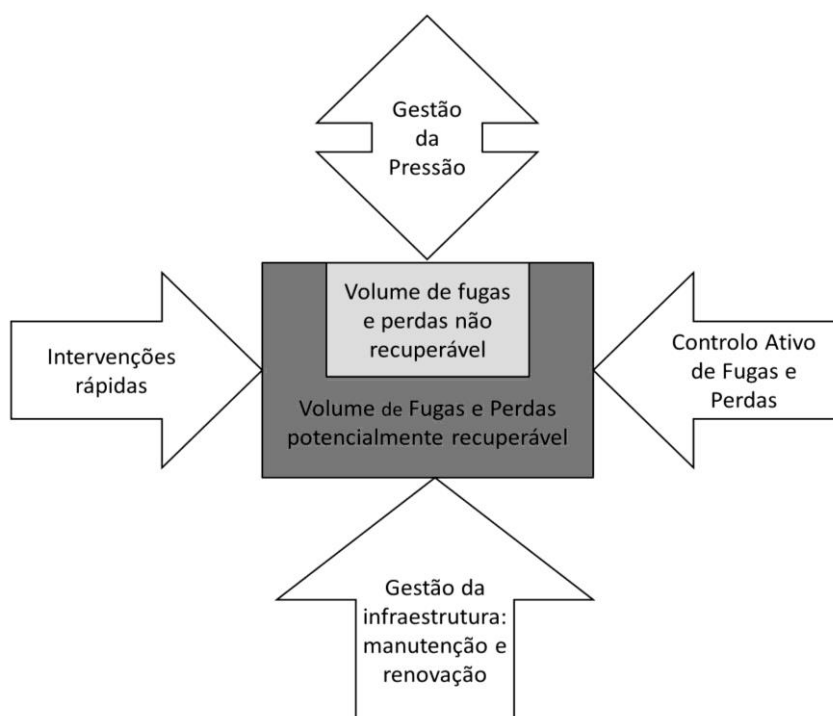


Figura 1: Ações básicas de um plano de combate a fugas e perdas. (adaptado de Thornton et al, 2008)

2.3 Estrutura de um plano de combate às fugas e perdas

Conscientes de que não se pode gerir algo que se não conhece, qualquer abordagem a esta temática deve começar por “**conhecer**” os Sistemas Urbanos de Abastecimento e de Drenagem de Água.

Estas ações básicas tanto podem ser aplicadas sequencialmente como simultaneamente, e podem ser esquematicamente representadas na *Figura 2*.

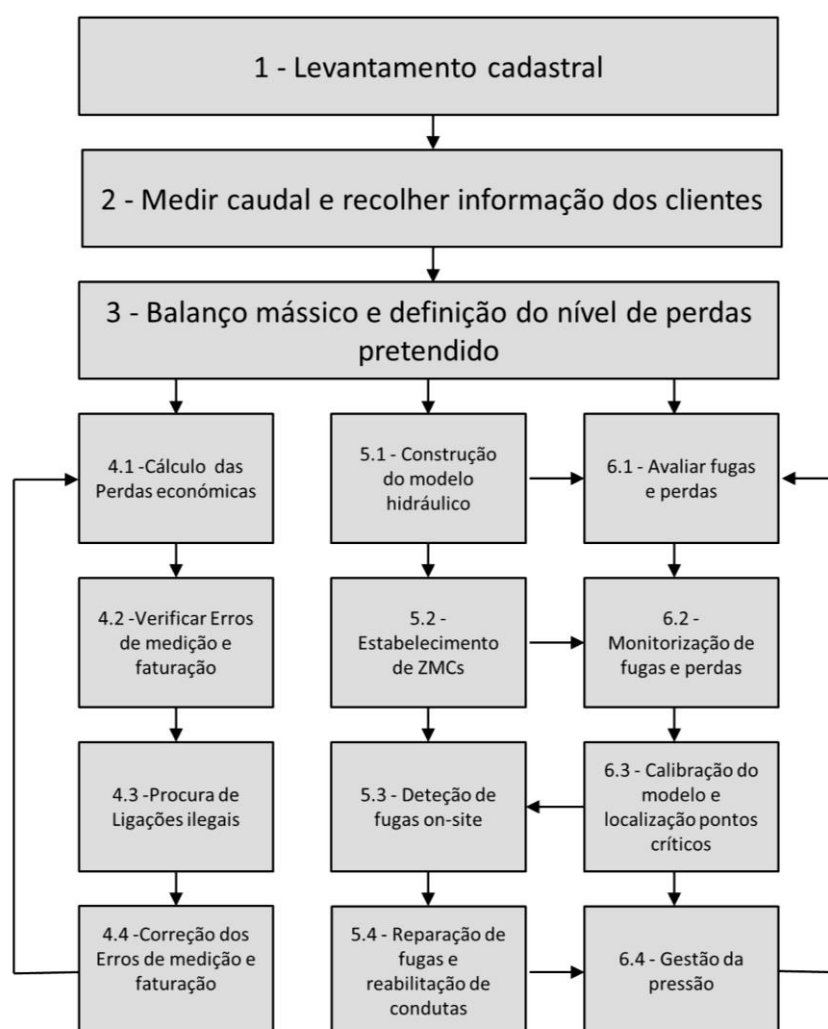


Figura 2: Diferentes fases de um plano para controlo de fugas e perdas

2.3.1 Levantamento Cadastral

Mas qual é o significado de conhecer?

Conhecer não é só ter um cadastro. Um cadastro é não só uma representação topológica do sistema, isto é, com características das condutas (materiais, diâmetros, classe das condutas, anos de instalação, ...), mas também ter informação do número de roturas e reparações, número de ramais por km, se a conduta é adutora simples ou adutora distribuidora ou só distribuidora.

Assim, se um registo cadastral da zona ainda não estiver disponível, uma das primeiras etapas para a elaboração de um plano de combate a perdas e fugas, deverá ser a o levantamento cadastral de sistemas existentes, por forma, a poder caracterizar a área de estudo e facilitar a aplicação de diferentes metodologias.

Este deve ser implementado num Sistema de Informação Geográfico (SIG).

2.3.2 Medir caudal e recolher informação dos clientes

É necessário ter uma correta caracterização do sistema, com os volumes/caudais entrados no sistema e com os volumes faturados, de modo, a conhecer-se quais as perdas existentes no sistema. Para tal, é necessário proceder-se à monitorização do volume/caudal entrado no sistema de distribuição, que consistirá em:

- i. Monitorização do caudal/volume de água a partir do ponto inicial de distribuição para o sistema, onde deverão ser instalados medidores de volume/caudal de tamanho e tipos apropriados (*Figura 3*);
- ii. Amostragem dos consumos:
 - a. Medir volumes/caudais consumidos pelos utilizadores, particularmente os grandes consumidores, podendo estudar-se nesta situação uma eventual correlação entre a energia consumida e o consumo de água registado;
 - b. Esta amostragem poderá ser realizada através de uma amostragem que contenha uma percentagem significativa dos grandes consumidores (pelo menos 10%) e dos pequenos consumidores ou consumidores domésticos (pelo menos 30%).
- iii. Determinação do consumo médio:

O consumo médio por metro é calculado dividindo o consumo total de todos os medidores dos consumidores pelo número de metros da rede. Este consumo será então multiplicado por um fator que permite corrigir os erros de amostragem e medição, obtendo-se, assim, a água utilizada pelo consumidor.

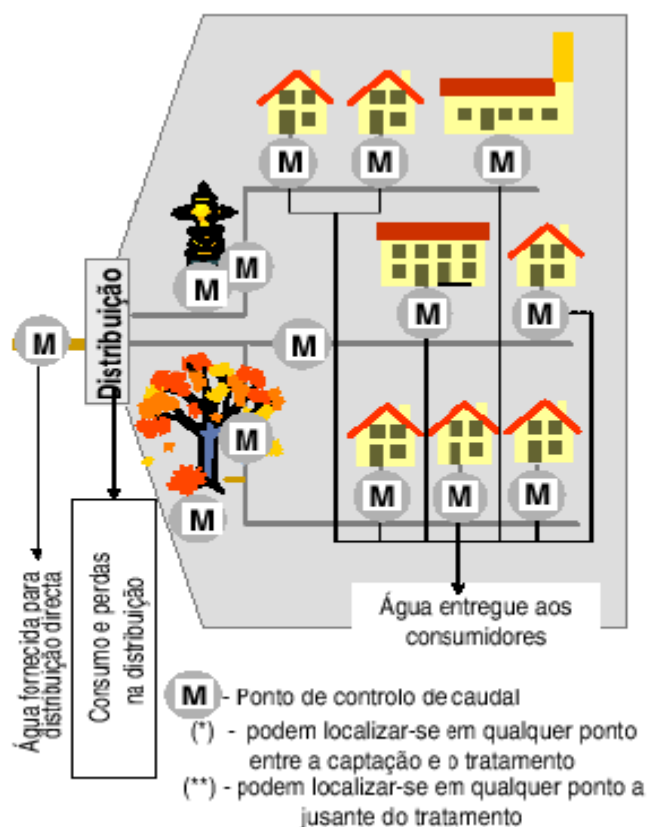


Figura 3: Pontos de monitorização do caudal ao longo de um sistema de abastecimento de água.
Adaptado de Gomes (2011)

Para a adequada implementação desta fase torna-se necessária uma segura e eficiente intercomunicabilidade entre os diversos sistemas de informação, nomeadamente o SIG e o Serviço de Clientes.

2.3.3 Balanço mássico e definição do nível de perdas pretendido

O balanço hídrico deverá em princípio ser calculado para um período de 12 meses, podendo, no entanto, ser efetuado mensalmente ou com outra periodicidade que se entenda. Na *Tabela 1*, encontra-se a base de cálculo do balanço hídrico, de acordo com a terminologia indicada pela *International Water Assotiantion (IWA)* (Thornton, 2002).

Fontes Próprias	Água Entrada no Sistema (Permitir Erros Conhecidos)	Água Exportada	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Água Faturada	Água Exportada Faturada
		Água Fornecida		Consumo Autorizado Não Faturado		Consumo Faturado Medido
						Consumo Faturado Não Medido
					Consumo Não Faturado Medido	
Perdas de Água			Perdas Aparentes	Água Não Faturada	Consumo Não Faturado Não Medido	
					Consumo Não Autorizado	
			Perdas Reais		Imprecisão de Medição ao Consumidor	
		Fugas nas Condutas				
		Fugas e Extravasamentos nos Reservatórios				
Fugas nos Ramais de Ligação a Montante do Ponto de Medição dos Consumidores						

Tabela 1: Componentes do balanço hídrico. Adaptado de Thornton (2002).

Antes de iniciar o processo é necessário definir os limites exatos do sistema (ou sector da rede) a auditar, bem como, as datas de referência. O procedimento para o cálculo da água não faturada e as perdas de água é o seguinte:

1. Determinar o volume de água entrado no sistema;
2. Calcular o consumo faturado medido e consumo faturado não medido, calculando o total deste por forma a obter o consumo total autorizado, e a água faturada;
3. Determinar o volume de água não faturado subtraindo à água entrada no sistema, a água faturada;
4. Definir o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido, obtendo o consumo autorizado não faturado pela soma das duas parcelas;
5. Calcular o consumo autorizado, somando os consumos autorizados faturados e os consumos autorizados não faturados;
6. Determinar a diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado, obtendo assim, as perdas de água;
7. Estimar o consumo não autorizado e os erros de medição, usando as melhores técnicas disponíveis, e somar as duas parcelas para obter as perdas aparentes;
8. Subtrair as perdas aparentes às perdas de água, determinando, assim, o volume de perdas reais;
9. Avaliar o melhor possível, usando os melhores métodos disponíveis (como por exemplo, análise de caudais noturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas com base em dados locais sobre o nível base de perdas) as várias parcelas do volume de perdas reais, procedendo, de seguida, à soma e posterior comparação com o resultado estimado no passo anterior.

Em qualquer sistema de abastecimento de água dever-se-á quantificar o Nível Económico de Perdas (NEP), isto é, o nível a partir do qual qualquer tentativa para a redução das perdas no sistema deixa de ser compensatória economicamente, uma vez que os custos para o seu controlo passam a ser superiores aos benefícios obtidos. Farley (2001) demonstra, através do gráfico da *Figura 4*, como se pode determinar o NEP.

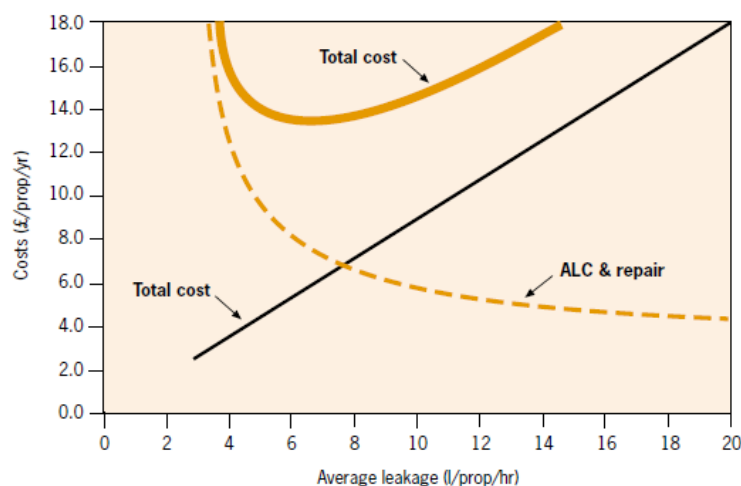


Figura 4: Nível Económico de Perdas. Adaptado de Farley (2001)

2.3.3.1 Cálculo das perdas económicas

Quantificação das fugas reais e da água não faturada.

Corresponde ao valor do volume de água não faturada, descrito anteriormente.

2.3.3.2 Verificar erros de medição e faturação

Erros de medição podem ocorrer por diversas razões que podem ser humanas, mecânicas, informáticas (aplicação para as leituras e comunicação dos contadores). Algumas das razões mais significativas enumeradas por Thornton (2002), para as falhas nas medições dos contadores são:

- Desgaste ao longo do tempo;
- Impacto da qualidade da água;
- Composição físico/química da água;
- Deficiente formação de mão-de-obra;
- Condições ambientais, tais como elevadas ou baixas temperaturas;
- Instalações incorretas;
- Dimensionamento incorreto;
- Tipo de contador incorreto para a aplicação em que está a ser usado;
- Adulteração do contador;

- Falta de testes e manutenção de rotina;
- Reparações incorretas.

Erros de faturação podem ocorrer por inúmeras razões, tais como (Thornton, 2002):

- Dados do consumo de água do cliente são modificados durante os ajustes de faturação;
- Alguns consumidores são inadvertida ou intencionalmente omitidos dos registos;
- A alguns consumidores a água não é faturada (consumidores gratuitos ou subsidiados) e os consumos não são registados;
- Erros humanos podem ocorrer durante a análise dos dados e o processo de faturação;
- Sistemas de leitura e faturação mal estruturados;
- Mudanças na propriedade dos imóveis e outras alterações no cliente são mal registadas, ou não o são de todo;
- Relações técnicas na avaliação, redução e prevenção das perdas de água são mal compreendidos ou implementados.

As correções dos erros de medição passam pela colocação de novos contadores, e implementação de um plano para a substituição de contadores antigos, bem como, práticas de manutenção e testes que permitam verificar o correto funcionamento dos contadores. (Thornton, 2002).

2.3.3.3 Procura de ligações ilegais

A partir do consumo mínimo noturno (CMN) é possível determinar com maior precisão o tipo de perdas que ocorrem na rede, uma vez que, durante este período (que para zonas essencialmente residenciais ocorre entre a 1 e as 5 horas da manhã) não ocorrem grandes consumos. Se existirem consumos noturnos elevados e não justificáveis, poderão existir roturas

ou ligações ilegais. No entanto, para que esta metodologia dê resultados fiáveis e que permitam obter conclusões é necessário determinar ou estimar os consumos existentes durante o período noturno. Para que as pequenas variações de consumo instantâneo não influenciem os resultados, é frequente usar a hora como período de referência e realizar um programa de monitorização com a duração mínima de 7 dias. É ainda importante verificar, no caso de sistemas onde o fornecimento de água não é contínuo, a existência de reservatórios prediais que possam efetuar o seu enchimento durante o período noturno (Gomes, 2011). As diferentes componentes do CMN estão discriminadas na *Tabela 2*.

Caudal Mínimo Noturno [m ³ /h]	Caudal Medido e/ou estimado no ponto de entrega* [m ³ /h]	Consumo Médio e/ou Estimado [m ³ /h]	Grandes Consumos Não Domésticos [m ³ /h]
			Pequenos Consumos Não Domésticos [m ³ /h]
			Consumos Domésticos [m ³ /h]
	Perdas a Montante do Ponto de Entrega* [m ³ /h]	Perdas no Ramal de Ligação a Jusante do Ponto de Entrega [m ³ /h]	Perdas Reais [m ³ /h]
		Perdas no Ramal de Ligação a Montante do Ponto de Entrega [m ³ /h]	
		Perdas na Rede de Distribuição [m ³ /h]	
		Serviço de Manutenção, Lavagem de Filtros e limpeza de Reservatórios [m ³ /h]	

*Ponto de Entrega: corresponde aos limites de propriedade e/ou contadores.

Tabela 2: Componentes do caudal mínimo noturno. Fonte: Gomes (2011)

Terminologia recomendada pela *UK Water Industry* (Gomes, 2011):

- Caudal mínimo noturno (CMN): Corresponde ao caudal à entrada do sistema ou subsistemas durante o período de menor consumo, que normalmente se verifica entre a 1 e as 5 horas;
- Caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega: Refere-se ao caudal medido e/ou estimado, durante o período de menor consumo, no ponto de entrega;
- Perdas a montante do ponto de entrega: Corresponde à diferença entre o caudal mínimo noturno e o caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega;
- Consumo medido e/ou estimado: Somatório do consumo autorizado medido e/ou estimado, no ponto de entrega;
- Perdas Reais: Correspondem à diferença entre o caudal mínimo noturno e o consumo medido e/ou estimado;
- Perdas no Ramal de ligação a jusante do ponto de entrega: Diferença entre os caudais medidos e/ou estimados no ponto de entrega e os consumos medidos e/ou estimados.

A partir dos consumos medidos e/ou estimados para o período de CMN, é possível, através da variação da pressão entre o período noturno e diurno, extrapolar estes valores para as várias horas do dia.

Como o referido por Gomes (2011), no início da década de 1990, no Reino Unido, foram realizadas várias experiências que permitiram estimar as várias componentes do consumo e das perdas durante o período noturno. Estes valores têm desde então sido usados como referências, nestes estudos (*Tabela 3 e Tabela 4*).

Categoria	Tipo de utilizador
Grupo A	Bancos, igrejas, estações de tratamento de água potável e águas residuais
Grupo B	Centros comerciais, escritórios, lavandarias, grandes consumidores domésticos, Estações de garagens, pousadas/residenciais, zona de caravanas
Grupo C	Hotéis, escolas, restaurantes, cafés, edifícios públicos
Grupo D	Hospitais, indústrias, WC públicos
Grupo E	Edifícios antigos

Tabela 3: Categorias para pequenos consumos não domésticos. Fonte: Gomes (2011)

Componentes		Valores e método de avaliação
Rede de distribuição e ramal de ligação até ao limite de propriedade (caudal dependente da pressão)		
Rede de distribuição	Perdas de base *	40 l/km/h x Comprimento da rede (km)
Rede de distribuição	Roturas visíveis	Número x Caudal (depende do diâmetro da conduta)
Rede de distribuição	Roturas não visíveis	Número x Caudal (depende do diâmetro da conduta)
Ramal de ligação (até ao limite de propriedade)	Perdas de base *	3 l/ramal/h x Número de ramais
Ramal de ligação (até ao limite de propriedade)	Roturas visíveis e não visíveis	Número de roturas x 1,6 m³/h
Ramal de ligação a jusante do limite de propriedade (caudal dependente da pressão)		
Ramal de ligação (até à rede predial)	Perdas de base *	0,5 l/ramal/h x Número de ramais
Ramal de ligação (até à rede predial)	Roturas visíveis e não visíveis	Número de roturas x 1,6 m³/h
Rede predial	Perdas de base *	0,5 l/fogo/h x Número de fogos
Consumo noturno (caudal dependente e independente da pressão)		
Consumos domésticos	Consumo normal **	1,7 l/fogo/h x Número total de fogos ou 0,6 l/habitante/h x População total (média de 2,8 habitante/fogo)
Pequenos consumos não domésticos	Grupo A	0,9 l/ramal/h x Número utilizadores
	Grupo B	6,2 l/ramal/h x Número utilizadores
	Grupo C	12,6 l/ramal/h x Número utilizadores
	Grupo D	20,5 l/ramal/h x Número utilizadores
	Grupo E	60,0 l/ramal/h x Número utilizadores
Grandes consumos não domésticos	Consumo individual (> 500 l/h)	Soma individual dos vários consumos

* De acordo com o estado de conservação das infraestruturas, estes valores podem variar relativamente ao valor médio de $\pm 50\%$

** Corresponde a aproximadamente 17% de fogos “ativos” ou 6% de população “ativa”, considerando um consumo médio 10 l/h

Tabela 4: Componentes do CMN para uma pressão de serviço de 50 m c.a.. Fonte: Gomes (2011)

2.3.3.4 Correção dos erros de medição e faturação

As correções dos erros de medição passam pela colocação de novos contadores, e implementação de um plano para a substituição de contadores antigos, bem como, práticas de manutenção e testes que permitam verificar o correto funcionamento dos contadores. (Thornton, 2002).

2.3.4 Implementação de um Projeto de Constituição de Zonas de Medição e Controlo.

A implementação de um Projeto de Constituição de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) passa previamente pela construção de um modelo hidráulico que permita, de uma forma segura e fundamentada desenvolver as adequadas ZMC.

2.3.4.1 Construção do modelo hidráulico

A localização de perdas de água de forma rápida, clara e unívoca é uma aspiração dos gestores das redes de distribuição. A modelação matemática da rede para a simulação hidráulica do comportamento das redes de distribuição de água, incluindo as perdas reais, associada a um modelo de otimização é uma ferramenta fundamental para este objetivo.

A construção de um modelo computacional permite simular em computador o comportamento da rede, constatando anomalias entre o comportamento esperado e o comportamento obtido, sendo deste modo possível detetar problemas na rede.

Poderão ser usados diferentes pacotes de software, sendo que o mais correntemente utilizado é o EPANET, desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency. Esta estrutura computacional é de código aberto e acesso livre, pelo que tem sido utilizada em todo o mundo e com base nela têm sido implementados um conjunto de inúmeras modificações/acrescentos/desenvolvimentos, entre os quais se inclui o WaterNetGen, desenvolvido na UC, seja para a pré-deteção de fugas, seja para o Estabelecimento de Zonas de Medição e Controlo (ZMCs) ou mesmo para a otimização energética e modelação da qualidade.

2.3.4.2 Estabelecimento de Zonas de Medição e Controlo (ZMC)

Correntemente a problemática da gestão de perdas e fugas em sistemas de abastecimento de água torna-se bastante complexa devido à dimensão das redes de distribuição, tornando difícil a deteção e a localização das perdas no sistema.

Assim, uma divisão e sectorização da rede de distribuição em Zonas de Medição e Controlo (ZMC) apresenta-se como um instrumento essencial para otimizar a gestão e exploração de sistemas de abastecimento de água.

O conceito de ZMC como o mencionado por Li *et al.* (2011), foi introduzido pela primeira vez no início da década de 1980, tendo vindo a ser utilizado, como um dos principais instrumentos associados a uma gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água. No entanto, para que se possa aplicar esta técnica é essencial que se conheça as condições topológicas da rede, bem como o modo de operação e comportamento global do sistema.

Estas zonas devem ser definidas, sempre que possível, tendo em conta as condições de fronteira naturais da rede, grupos elevatórios, reservatórios e válvulas redutoras de pressão (VRP).

É geralmente aconselhável que, primeiro, se divida a rede em sectores de grande dimensão (normalmente entre 10 000 e 50 000 ramais), constituindo “andares de pressão e/ou áreas abastecidas a partir de pontos de origem de água distintos”. Também aqui é importante ter-se em consideração os custos de implementação de ZMC, pois quanto mais zonas se tiverem, mais dispendiosa se tornará a sua implementação. No entanto, quanto maiores forem as ZMC, maiores serão os custos associados a uma gestão eficiente. Gomes (2011) refere que a experiência tem demonstrado que em áreas urbanas a dimensão média das ZMC deve estar compreendida entre os 500 e os 3 000 ramais, ou em casos de sistemas mais antigos poder vir a ser reduzida para 500 a 1 000 ramais. A *Figura 5* representa um exemplo da implementação de ZMC.

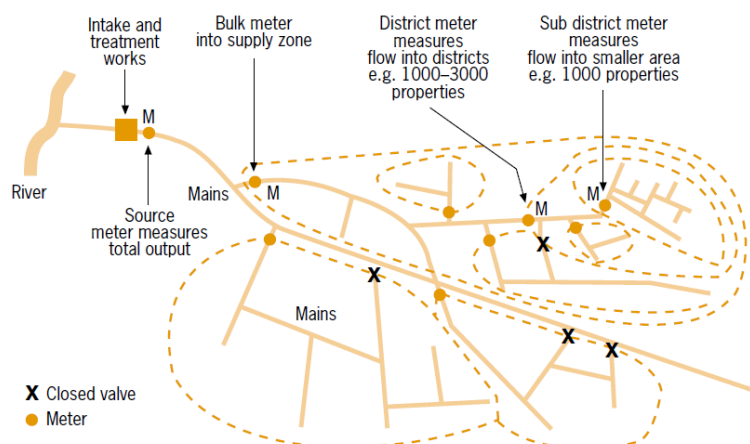


Figura 5: Implantação de ZMC. Fonte: Farley (2001)

2.3.5 Deteção de fugas on-site

Estando identificadas as áreas mais críticas, pode então passar-se à pesquisa no terreno das possíveis fugas com equipamento adequado.

2.3.5.1 Métodos de localização aproximada

A localização aproximada da fuga consiste no refinamento da malha da zona de medição afetada. Para tal, pode dividir-se a zona em sub-zonas para se realizarem medições mais restritas, ou fazer-se uso do fechamento de válvulas de seccionamento.

Após uma primeira etapa de identificação e localização aproximada das fugas deve prosseguir-se com uma segunda etapa que consiste na localização exata das fugas, para que se possa proceder da forma mais rápida e eficiente da sua eliminação. Desta forma, pretende-se, numa primeira fase, determinar a localização aproximada ao nível da ZMC em questão, e posteriormente uma localização, o mais exata possível, ao nível da própria conduta.

Sub-zonas de medição mais restritas

Este método consiste na divisão temporária da zona, onde se terá detetado a existência de uma fuga, em zonas menores (Figura 6). Os princípios usados para definir estas sub-zonas são em tudo semelhantes aos usados para dividir toda a rede em ZMCs. A medição de caudais para o período noturno também aqui deverá ser efetuada.

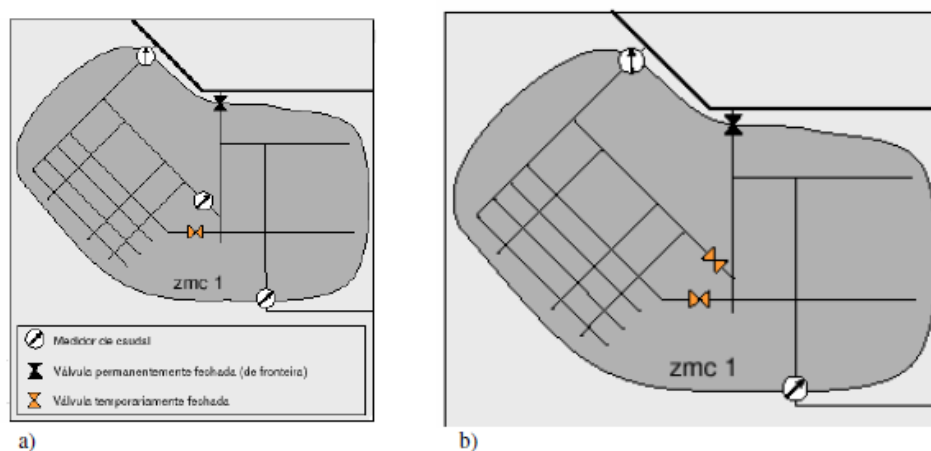


Figura 6: Localização aproximada por sub-zonas mais restritas (a) por fecho de válvulas (b). (Alegre et al, 2005)

I. Fecho progressivo de válvulas

Consiste em fechar progressivamente as válvulas de seccionamento, começando pela válvula mais afastada do medidor de caudal, que se encontra no limite da ZMC, ou de um equipamento móvel que possa estar a ser usado especialmente para esta tarefa (figura 7). Este método requer que seja elaborado cuidadosamente um plano de fechamento de válvulas, com a definição dos instantes de fecho. Para se poder registar a diminuição do caudal sempre que proceda ao fechamento de uma válvula é necessário que ao medidor de caudal esteja ligado a um *datalogger*, ou a um sistema de telemetria. Este método é também aplicado em períodos noturnos.



Figura 7: Dataloggers e respetiva colocação sobre uma válvula de seccionamento (contimetra.com).

2.3.5.2 Métodos de localização/deteção exata

Após ter sido detetado o troço da rede onde, muito provavelmente, se verifica a existência de uma fuga torna-se necessário proceder à sua localização exata, na ordem dos metros, para posteriormente dar início aos trabalhos de reparação.

Não existindo uma técnica absolutamente eficaz deve-se, para cada situação, selecionar a técnica mais apropriada, sendo que a perícia, a experiência e a capacidade de análise do operador, são em todo caso indispensáveis para o sucesso desta fase.

i. Sensores Acústicos

Uma vez identificadas as zonas que apresentam fugas excessivas pode passar-se à fase de localização exata com a utilização de dispositivos acústicos. O som ou a vibração induzida pela

água ao sair da tubagem apresentam uma gama de frequências dominantes que são detetadas pelos dispositivos acústicos. O tipo de material, as características da fuga em si, da pressão de funcionamento e do tipo e grau de saturação do solo influenciam as frequências emitidas. O som produzido pela fuga é difundido ao longo da conduta, a uma determinada velocidade, que depende das características do material constituinte da tubagem e do solo. Ao ser difundido, dadas as irregularidades do solo, ou do material, as altas frequências podem ser atenuadas e outras podem ser amplificadas. Desta forma, o som que irá ser detetado dependerá da posição da fuga relativamente ao dispositivo acústico.

O desempenho desta técnica é muito melhorado com a eliminação do ruído de fundo pelo que a sondagem se deve realizar no período noturno. Deve acrescentar-se que como durante a noite as pressões são, regra geral, mais elevadas também o são as fugas e, portanto, mais facilmente identificáveis.

a. Sondagem Acústica direta

A sondagem acústica direta consiste em realizar uma sondagem em pontos de fácil acesso das condutas, em particular nos acessórios metálicos, isto é, nas bocas-de-incêndio e nas bocas de rega. O equipamento é constituído por um microfone, um amplificador e um filtro de ruído. (figura 8)

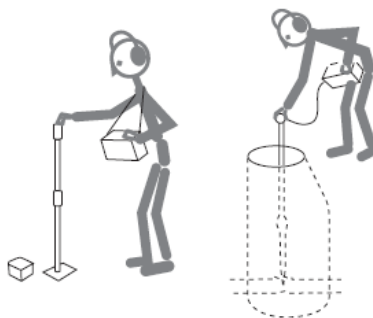


Figura 8: Sondagem acústica direta. Fonte: Trifunovic' (2006).

b. Sondagem acústica indireta

A sondagem acústica indireta baseia-se nos mesmos princípios usados na técnica anterior, sendo, no entanto, realizada à superfície do solo, por cima da conduta, quando as características

do solo assim o permitem. Trata-se de uma técnica bem mais limitada dado que, por vezes, não se conhece a localização da conduta, ou as características do solo não permitem a sua realização, ou mesmo a possibilidade da existência de outras condutas na proximidade que dificultam o trabalho.

c. Método de correlação acústica

A correlação acústica baseia-se na comparação do desfasamento existente entre os sinais medidos em dois pontos distintos. O ruído proveniente da fuga propaga-se para ambos os lados da conduta. Colocando sondas em dois pontos distintos da tubagem, é possível comparar as diferenças entre o tempo de percurso de cada um dos troços.

Com base na equação que se segue, pode, então, determinar-se a localização da fuga.

$$D = 2L + V \cdot t$$

Em que: D: distância entre as sondas;

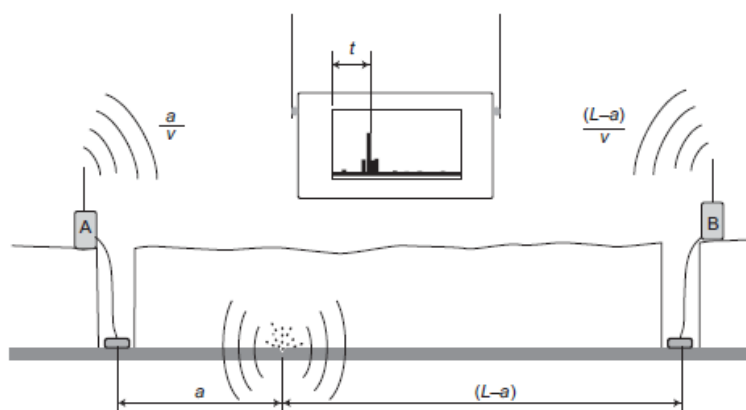
L: localização da fuga;

V: Velocidade de propagação do som no meio;

t: diferença entre tempos de percurso.

A velocidade de propagação do som no meio deve ser determinada para cada situação usando o equipamento adequado (através da análise do ruído emitido por uma fonte sonora de características perfeitamente conhecidas Figura 9 e Figura 10) ou mediante a consulta de tabelas com valores típicos. (Farley, 2001)

Os modernos correladores de ruído são dispositivos mais eficientes e exatos do que os métodos anteriormente mencionados sendo por isso cada vez mais utilizados.



L = Comprimento do troço
 a = Local da fuga

v = Velocidade de propagação do som ≈ 1240 m/s
 t = tempo de atraso na receção pelos sensores A e B

Figura 9: Método de correlação acústica. Trifunovic' (2006).



Figura 10: Correlador acústicos portáteis.(contimetra.com)

ii. Injeção de traçadores

A injeção de traçadores é um método frequentemente utilizado quando o ruído produzido pela fuga não é suficiente para ser detetado pelos métodos acústicos. Esta técnica consiste na injeção de gases não tóxicos, de ar e de corantes ou substâncias radioativas, a montante do troço onde se identificou a fuga (Figura 11). O local da fuga pode, então, depois ser detetado à superfície. Importa referir que, as condições atmosféricas influenciam muito a eficiência do método, por exemplo, a utilização de gás como traçador na presença de ventos pode conduzir a resultados errados.

De acordo, com Trifunovic' (2006) é frequentemente utilizado o óxido nitroso como traçador, uma vez que, não sendo um gás tóxico, nem reativo é solúvel em água e é facilmente detetado em baixas concentrações.

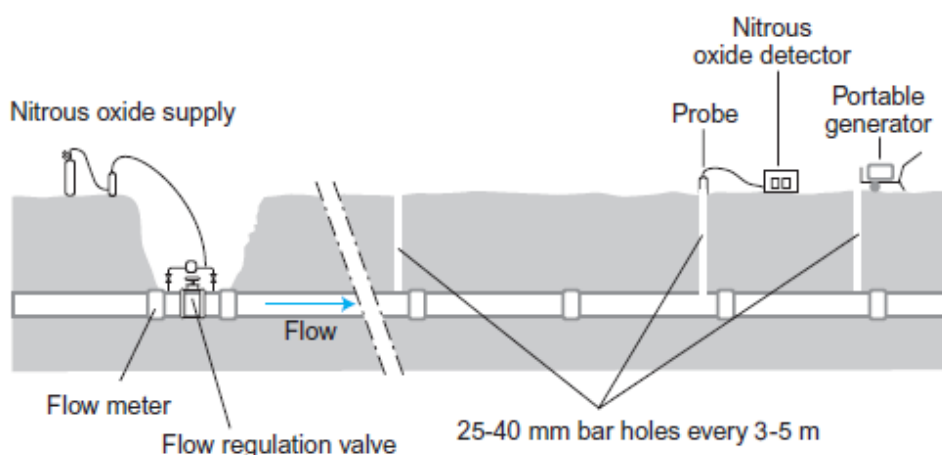


Figura 11: Injeção de óxido nitroso como traçador. Trifunovic' (2006).

iii. Observação do solo à superfície

Apesar de à superfície, em geral, não ser diretamente detetável a presença de uma fuga, há certos elementos na superfície do solo que nos podem levar a inferir a existência de uma fuga no local, tal como o aparecimento de vegetação ou de humidade anormal no solo.

a. Inspeção visual

A inspeção, utilizando uma câmara de vídeo controlada remotamente, é uma técnica bastante sofisticada e dispendiosa, mas que se tem revelado extremamente útil no âmbito de programas de reabilitação de sistemas. Esta técnica requer o isolamento da tubagem e que se efetue uma abertura, normalmente na junta, onde se irá introduzir uma câmara móvel que irá percorrer o troço até se identificarem os problemas (figura 12). Não sendo, uma técnica habitual, este tipo de inspeção pode ser utilizado também na deteção de fugas.



Figura 12: Equipamento de inspeção visual remota. (easysight.en.made-in-china.com)

b. Sensores térmicos

A utilização de sensores térmicos permite, através da alteração das características térmicas em torno do local da fuga, identificar as zonas de rotura de condutas. Essas anomalias podem ser captadas usando, por exemplo, câmaras de infravermelhos em aviões e mais atualmente com Drones.

c. Radar de penetração no solo

O vazio criado no solo pelo movimento de água perto da conduta na zona da fuga pode ser detetado usando um radar. As ondas do radar penetram no solo sendo refletidas quando se verifica uma alteração do padrão normal do solo, revelando uma imagem do tamanho e da forma da cavidade. O tempo entre a emissão e a reflexão permite determinar a localização da fuga.

O uso desta técnica ativamente necessita de uma fonte emissora (quer por radar ou por outra fonte de ondas eletromagnéticas) para efetuar a inspeção do local.

2.3.6 Implementação de um Sistema de Telegestão e Atuação (SCADA).

Um instrumento fundamental, mesmo indispensável para uma gestão de um SAA é a implementação de um sistema de telegestão e atuação, isto é, de um Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), o qual permitirá desenvolver uma estratégia de gestão de fugas e perdas, mas também de gestão da energia e da qualidade da água.

Será com base na informação recolhida pelo SIG, pelo Sistema de Gestão de Clientes, pelo modelo hidráulico e pelo SCADA, que se poderá montar todo um Projeto de Gestão Sustentável do Sistema de Abastecimento de Água, nas suas vertentes de eficiência hídrica e de eficiência energética.

2.3.6.1 Monitorização de fugas e perdas

Em cada entrada de uma ZMC deve existir um sistema de monitorização ligado a um Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Após o conhecimento do volume perdido e a definição de ZMC's, é possível obter dados mais precisos do comportamento do sistema.

Num sistema SCADA podem ser parametrizados diversos níveis de atuação e alerta, nomeadamente de possíveis fugas (quebras bruscas de pressão e caudais noturnos elevados sem razão para tal).

Um procedimento muito eficiente de combate a fugas e perdas é a constituição de equipas de intervenção rápida para a reparação de anomalias (rotura e fugas).

Também devem ser implantados sistemas de melhoria da eficiência hídrica de espaços públicos.

2.3.6.2 Calibração do modelo e localização de pontos críticos

Um modelo hidráulico não calibrado é como se não existisse. Quanto melhor caracterizado o modelo, mais exata será a identificação da localização das fugas e perdas.

2.3.7 Gestão da pressão

Através da instalação de dispositivos de redução da pressão à entrada do sistema ou subsistema (ZMC), pode-se reduzir o valor global das perdas de água e os custos operacionais associados. Tal pode concretiza-se pela implementação de mecanismos de redução da pressão, em particular durante os períodos de mais baixos consumos.

Quando a pressão de serviço excede o mínimo desejável, a gestão da pressão pode tornar-se um procedimento adequado no que se refere à diminuição de uma parcela significativa do volume total de perdas. Podem os benefícios relacionados com a redução da pressão (redução de perdas reais) sobrepor-se à perda de factoração (devida à redução de consumos), já que é possível utilizar as instalações existentes para ampliar a oferta sem expansão do sistema, manter ou reduzir os pontos de captação de água, reduzir os incómodos para os utilizadores e ainda reduzir consideravelmente os custos de produção devido à diminuição do consumo de energia, de produtos químicos e outros. No que se refere às perdas aparentes, a sua redução permite aumentar a receita tarifária, melhorar a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro da Entidade Gestora. De qualquer forma, deve-se ter em conta que qualquer iniciativa relacionada com o combate às perdas (reais e aparentes) deve estar integrada num programa contínuo, para o qual devem fazer parte a análise custo/benefício, a disponibilidade de recursos, e, ainda, o período de recuperação dos investimentos realizados.

3 Plano de Combate a Afluências Indevidas ou Caudais Parasitas

3.1 Introdução

As afluências indevidas não são mais do que aquilo a que em termos anglo-saxónicos é referido por “infiltration and inflow” (I/I), ou seja, infiltrações e escoamento superficial indevido para redes de drenagem.

O termo “infiltration” (i.e. infiltração) diz respeito à infiltração de água contida no solo, proveniente de lençóis freáticos ou de precipitação, ao longo ou em pontos das canalizações através de fraturas ou falhas, ou em pontos da rede como juntas de acessórios que estejam em precário estado de conservação/construção (Kaczor, 2011; Nasrin et al., 2013).

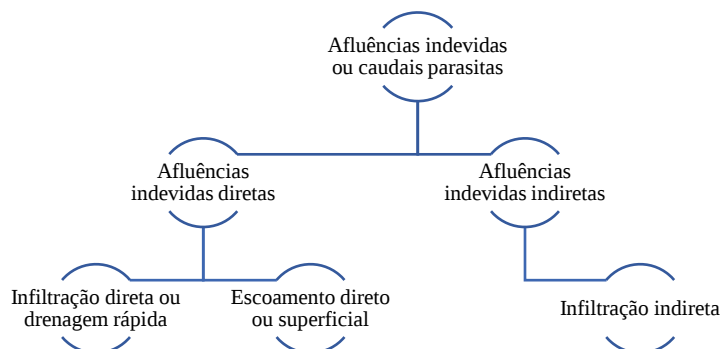
Já o termo “inflow” (i.e. escoamento direto ou superficial) refere-se aos caudais de águas pluviais e águas de escorrência da superfície das bacias urbanas que afluem diretamente à rede através de ligações indevidas à rede de águas residuais, em vez de ligada à rede de águas pluviais, são incluídas nesta categoria. Também é observada a afluência de caudais desta natureza através de tampas de esgotos que apresentem um mau estado de conservação (Kaczor, 2011).

As redes unitárias, mistas, e pseudo-separativas, acabam por drenar as águas pluviais oriundas de precipitação, embora nestas a componente de escoamento superficial acaba por ter menor relevância, sendo somente indesejável a componente de infiltração subterrânea (Marques e Sousa, 2014).

A distinção entre os diversos tipos de caudais excedentes passa, também, por ter em consideração o relacionamento direto ou indireto com os eventos pluviométricos, assim sendo, as afluências indevidas em redes de drenagem de águas residuais domésticas classificam-se, essencialmente, em dois grupos: afluências indevidas diretas e afluências indevidas indiretas (Almeida e Monteiro, 2004).

Parte dos caudais constituintes apresentam uma relação direta e relativamente imediata, com a precipitação. Outra componente dos mesmos, apesar de também depender até certo ponto da precipitação, não se manifesta de uma forma direta ou imediata, após os fenómenos de pluviosidade. A variabilidade de cada uma das partes implica diferentes abordagens, tanto no método de determinação, como na implementação de medidas preventivas e corretivas nas redes de drenagem e nas ETAR (Almeida e Monteiro, 2004) (Tabela 5)

Tabela 5 – Tipologias de afluentes indevidas/caudais parasitas.



3.1.1 Afluentes indevidas diretas

Este grupo de caudais considera-se diretamente resultante das precipitações pois manifesta a sua chegada à rede de águas residuais em intervalos de tempo que variam entre períodos de alguns minutos a alguns dias, após um evento pluviométrico. Subdividem-se em escoamento direto ou superficial e infiltração direta ou drenagem rápida. Normalmente são estes caudais, não obstante a sua curta duração no tempo, os responsáveis pelos elevados caudais de ponta verificados nas ETAR em períodos de pluviosidade mais intensa (Almeida e Monteiro, 2004).

O escoamento direto ou superficial evidencia-se de uma forma muito rápida, da ordem dos minutos ou poucas horas, sendo e a sua ocorrência tão aleatória quanto a precipitação, correspondendo a prováveis ligações clandestinas e também se situando em pontos singulares.

A componente da infiltração direta corresponde, em geral, à existência de coletores com fissuras, fendas ou deficientes ligações dos mesmos (Figura 13).

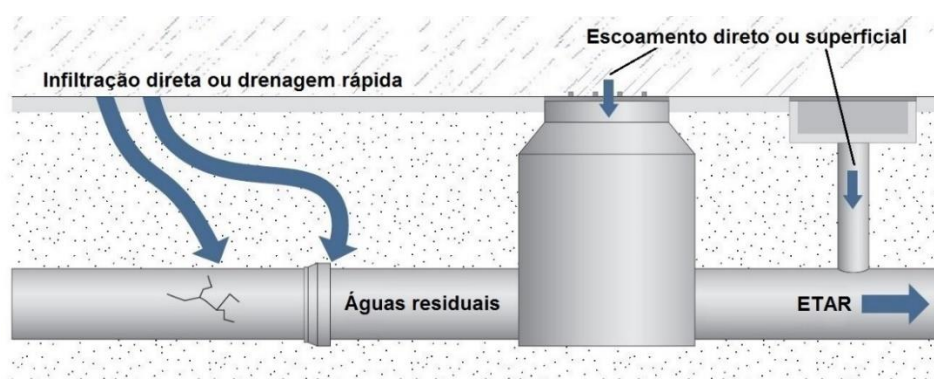


Figura 13 – Tipos de afluentes indevidas diretas (adaptado de Kesik (2015)).

3.1.2 Afluências indevidas indiretas

Estes caudais de afluências indevidas resultam da chamada infiltração indireta, que por sua vez, deriva da drenagem de águas oriundas de lençóis freáticos e representam uma relação indireta com os eventos pluviométricos. A sua entrada nos coletores de águas residuais é função da posição do nível freático em relação ao nível do coletor (Figura 14).

As infiltrações indiretas são pouco influenciadas por eventos pluviométricos isolados, mas se for persistente no tempo, pode apresentar uma variação sazonal, manifestando-se mais intensa após eventos de maior duração.

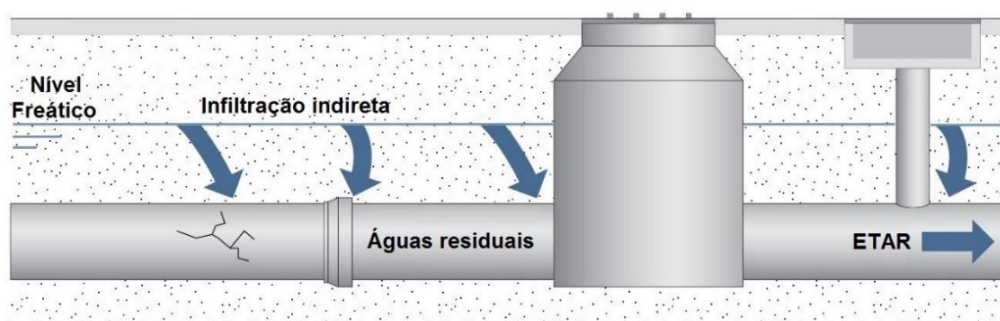


Figura 14 – Tipos de afluências indevidas indiretas (adaptado de Kesik (2015)).

A Figura 15 apresenta os vários tipos de caudais parasitas.

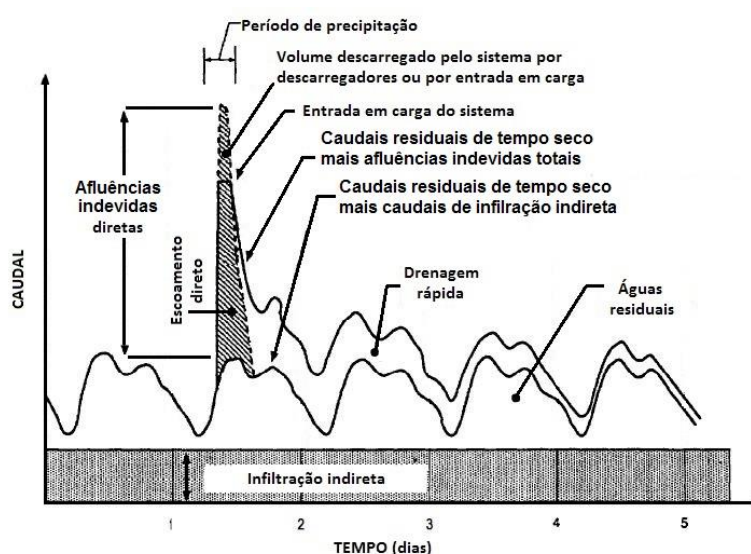


Figura 15 – Identificação dos vários tipos de caudais parasitas (adaptado de EPA 1995).

3.2 Consequências das afluições indevidas

As afluições indevidas apresentam consequências de índole diversa e extremamente significativas, nomeadamente no aumento dos custos operacionais, no deterioramento dos sistemas de drenagem, na eventual entrada em carga da rede, na redução da eficácia de tratamento de águas residuais, na ocorrência de descargas poluentes nos meios recetores, no custo operacional das instalações elevatórias de águas residuais (IEAR), no aumento dos custos de reparação, na maior probabilidade de exfiltração, na degradação dos solos e na perda de integridade estrutural da rede.

O seu combate deve constituir uma preocupação e uma prioridade na atuação das entidades gestoras e deve implementar os métodos para a sua mitigação e prevenção.

3.3 Estrutura de um plano de combate às afluições indevidas

3.3.1 Cadastro

Tal como no plano de combate às fugas e perdas, um dos primeiros passos num plano de combate às afluições indevidas deverá ser a o levantamento cadastral das infraestruturas existentes, por forma, a poder caracterizar a área de estudo e facilitar a aplicação de diferentes metodologias. Este deve ser tão desenvolvido quanto possível, contendo nomeadamente materiais dos coletores, ano de colocação, diâmetros e classes, numero de reparações, numero de ramais por km, se é unitário ou separativo.

Esta informação deve ser implementada num SIG.

3.3.2 Métodos de monitorização e deteção das afluições indevidas

Em certos sistemas a ocorrência de caudais parasitas é bastante perceptível sendo, por isso, necessário um levantamento das localizações mais críticas, uma vez que os pontos de entrada variam bastante, bem como os tipos de afluições indevidas.

Segundo a EPA (1991), de modo a corrigir a ocorrência de afluições indevidas diretas é necessária a elaboração e implementação de planos de controlo da infiltração, bem como de medidas corretivas baseadas numa abordagem fiscalizadora e preventiva. De igual modo, a correção da

ocorrência de infiltrações diretas implica a reparação e reabilitação da rede e a implementação de um programa de manutenção e monitorização na bacia de drenagem (EPA, 1991).

Um tal plano deve ser baseado nas ações seguintes;

- i) Quantificação dos caudais/volumes de afluências indevidas;
- ii) Campanhas para a localização dos pontos de entrada na rede;
- iii) Identificação das causas e da natureza dos caudais parasitas;
- iv) Inspeção ao estado estrutural dos órgãos da rede nas zonas mais críticas;
- v) Utilização dos métodos de deteção mais adequados.

Apresentam-se na tabela 6 alguns dos mais utilizados métodos práticos para a deteção de causas para a ocorrência de afluências indevidas (Kesik, 2015; Bonito, 2014):

Tabela 6 – Métodos de deteção de afluências indevidas. (Kesik, 2015; Bonito, 2014):

Método	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Medidores e registadores na rede	Utilizados na deteção de zonas com grandes volumes de afluência. São mais eficazes quando combinados com aparelhos de medição de precipitação.	Útil para uma abordagem analítica, de investimento compensatório, na determinação em áreas com grandes I/I.	Cobre apenas grandes áreas e apenas funciona como indicador, ou seja, não identifica especificamente os tipos de patologias nem a sua localização específica.
Inspeção visual	Efetua-se em locais de provável ocorrência de afluências indevidas, como caixas de visita.	Rápido e simples. Não necessita de mão-de-obra muito qualificada.	Pode ser necessário acesso a propriedades privadas.
Testes de fumo	Útil na deteção de ligações indevidas. O seu uso na identificação de infiltrações depende da profundidade das infraestruturas, do tipo de solo e do nível freático no solo.	Rápido e simples. Reduz o tempo gasto em propriedades privadas.	A sua eficácia depende das condições climáticas e do tipo de solo envolvente. Não determina, necessariamente, o ponto das infiltrações ou ligações indevidas.
Marcadores coloridos	Usado na confirmação da existência de ligações erróneas, confirmadas por testes de fumo ou não.	Simples. Não requer mão-de-obra muito qualificada.	Requer acesso a propriedades privadas. Implica um gasto excessivo de água.
Inspeção visual por "Closed Circuit Television" (CCTV)	Utilizado para a localização de fontes de afluências indevidas devido a deficiências estruturais, tanto em condutas públicas como privadas.	Fornece a localização exata das fontes de infiltração.	A sua utilização complica-se com a ocorrência de caudais elevados. As fontes de infiltração são menos visíveis em condições de tempo seco e quando o nível freático do solo for inferior à cota das condutas. Necessita de mão-de-obra qualificada. Pode requerer limpeza prévia das condutas.
"Electro scan"	É uma nova tecnologia que pode ser utilizada na deteção de infiltrações, tanto em domínio público como privado, em tubagens não condutoras de corrente elétrica.	Localiza as fontes de infiltração. Utilizada até em condições de carga do sistema. Tem melhor taxa de deteção que a inspeção por CCTV.	Nova tecnologia, com necessidade de mão-de-obra muito qualificada. Espaço de gravação de registos limitado. Não pode ser utilizado em condutas que conduzam a corrente elétrica.
Isolamento hidrostático de troços da rede	Usado com a finalidade de dar indicações qualitativas da extensão da infiltração, tanto em condutas públicas como privadas.	Fornece facilmente indicações claras do estado das condutas, quanto à infiltração.	Necessita isolamento da secção de troços da rede (pode implicar a colocação de <i>bypass</i>). Não quantifica exatamente os caudais de infiltração. Não define exatamente a localização dos pontos de infiltração, nem a natureza dos mesmos.

Inundação do solo envolvente da conduta	Fornece indicação de prováveis taxas de infiltração.	Dá a indicação de prováveis taxas de infiltração em redes privadas e em condições de solos saturados.	Requer o gasto de bastante tempo. É necessário o isolamento da conduta a ser testada. Dificulta a medição de caudais.
"Jetting"	A injeção de jatos de água permite a deteção de ligações indevidas.	Simples e barato. Efetua a limpeza das condutas.	Só permite a deteção de afluências indevidas por escoamento direto.

3.3.3 Métodos de quantificação dos caudais parasitas em fase de exploração

Em fase de exploração de um SDAR a quantificação, ou melhor, a constatação de existência de caudais/volumes indevidos afluentes ao sistema pode passar pelas seguintes operações;

- Elaboração de balanços hídricos.
- Análise de hidrogramas afluentes às ETAR.
- Introdução de marcadores.
- Exploração de modelos de Simulação.

3.3.4 Métodos de quantificação de afluências indevidas diretas e indiretas

Descrevem-se de seguida alguns dos métodos mais utilizados, por serem de maior facilidade de aplicação.

3.3.4.1 Método do triângulo

O método do triângulo consiste na organização de séries cronológicas em séries de caudais ordenados, caudais esses que constituem os valores dos caudais entregues nas ETAR. A definição de uma curva de caudais, ordenados em função do seu valor e classificados em função da existência de precipitação ou não, possibilita a quantificação dos volumes respetivos a cada uma das componentes das águas residuais, no final de uma dada série temporal (Almeida e Monteiro, 2004; Weiß *et al.*, 2002).

Este método é de fácil execução se for interpretado de uma forma gráfica. Tal implica que se disponha de várias séries cronológicas com registos de caudais diários entregues nas ETAR. Deste modo e para que a análise seja o mais eficaz possível é importante que essas séries temporais correspondam a anos completos, com os vários registos diários.

Tendo-se os caudais diários, é necessária a sua ordenação crescente em função do seu valor. Tal procedimento origina um gráfico crescente, cujas abcissas são os dias. Possuindo-se medições relativamente à existência, ou não, de precipitação nos vários dias da série temporal, efetua-se uma contagem do número de dias em que houve, efetivamente, precipitação. Tendo-se “ n ” dias de precipitação, divide-se o gráfico de forma a que na curva dos caudais sejam identificados os “ n ” dias com maior afluência de caudais à ETAR.

Partindo da simplificação que os caudais diários de origem doméstica têm, de uma forma constante, o mesmo valor médio ao longo do ano, é possível delimitar uma zona do gráfico, assemelhando-se esta a um triângulo, a que correspondem os volumes de afluências indevidas na rede, recorde-se, sendo estas de várias naturezas (escoamento direto ou infiltrações).

A área que se situa abaixo da linha característica do caudal de origem doméstica corresponde ao volume de água residual doméstica da série temporal. Analogamente, a área definida entre a curva de caudais e a linha horizontal relativa ao caudal médio de origem doméstica é equivalente ao volume resultante de escoamento superficial e infiltração nessa mesma série temporal (Almeida e Monteiro, 2004; Weiß *et al.*, 2002).

A separação das parcelas relativas ao escoamento superficial, ou direto, e da infiltração obtém-se assumindo que a componente de escoamento superficial atinge o seu máximo depois de períodos chuvosos (Almeida e Monteiro, 2004). Da mesma forma, segundo os mesmos autores, admite-se que a infiltração é tanto menor quanto maior for a componente de escoamento direto, podendo mesmo ser nula.

Contabilizados os dias em que ocorre precipitação, estes são marcados no diagrama de caudais classificados, da direita para a esquerda, a partir do dia de maior caudal afluente à ETAR. Ao ponto de intersecção da abcissa do último dia de chuva, com a curva de caudais totais, corresponde o início da linha de separação. O final desta linha corresponde à intersecção, à direita, com a reta horizontal de origem doméstica e com a linha vertical da abcissa do dia de caudal máximo. Às áreas definidas acima e à direita correspondem aos volumes de escoamento superficial, enquanto abaixo e à esquerda dessa linha de separação correspondem aos volumes devidos a infiltração. De modo a melhor se compreender este procedimento, demonstra-se o exemplo da figura 16

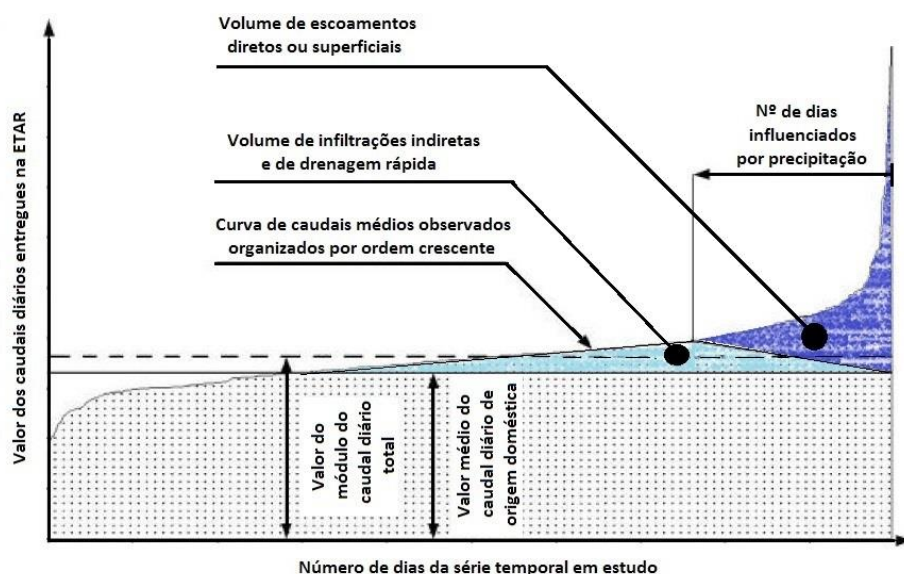


Figura 16 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (adaptado de Almeida e Monteiro, 2004).

3.3.4.2 Método do mínimo móvel

O método do mínimo móvel permite a quantificação do escoamento direto e da infiltração (direta e indireta), durante um dado período de tempo e, ao contrário do método do triângulo permite determinar a variação temporal das afluências indevidas (Weiß *et al.*, 2002).

Este método é baseado na ideia de que a soma das águas residuais domésticas com a componente relativa às afluências indevidas, de um dia qualquer, é igual ao caudal afluente à ETAR.

Este método é de fácil e simples aplicação sendo para isso, apenas, necessários registos diários e permite a elaboração de hidrogramas representativos dos caudais afluentes a ETAR e dos caudais de afluências indevidas, fazendo para cada dia da série temporal o estudo dos 21 dias precedentes (Weiß *et al.*, 2002).

O mínimo móvel corresponde ao hidrograma de caudais a que corresponde o valor mínimo dos últimos 21 dias de um dado dia (Weiß *et al.*, 2002). Através do mínimo móvel é possível calcular o volume de infiltrações diretas e indiretas, ao longo de um dado período, sendo que este corresponde à diferença entre o mínimo móvel e entre o caudal médio de origem doméstica.

Assim sendo, o volume de escoamento direto ou superficial corresponderá à diferença entre o caudal afluente às ETAR, num dado período, e entre a soma das infiltrações com a componente de origem residual (Weiß *et al.*, 2002).

Outra das vantagens desta metodologia é também a de permitir que o estudo não necessite da informação sobre a existência ou não de precipitação nos dias prévios, permitindo determinar as afluências indevidas totais (Weiß *et al.*, 2002; Mortinho, 2011).

Uma das possíveis desvantagens deste método consiste no facto de lhe faltar a componente física neste tipo de estudos – apenas se efetua uma aproximação a um resultado plausível para a maioria dos sistemas (Weiß *et al.*, 2002).

No entanto, segundo Weiß *et al.*, (2002) foram efetuados testes de modo a averiguar a sensibilidade dos resultados e chegou-se à conclusão de que um período de estudo de 21 dias antecedentes é bastante satisfatório para a garantia de resultados viáveis.

De mencionar que, uma vez que o valor das afluências indevidas totais é a diferença entre o caudal afluente à ETAR e o caudal residual de origem doméstica, bem como as afluências indevidas indiretas equivalem à diferença entre o mínimo dos últimos 21 dias e o caudal residual de origem doméstica, nos dias em que o caudal residual de origem doméstica seja superior aos outros dois registos, o valor da respetiva afluência indevida é assumido como sendo zero. Figura 17 apresenta um exemplo de aplicação do método do mínimo móvel para a elaboração de hidrogramas de afluências indevidas

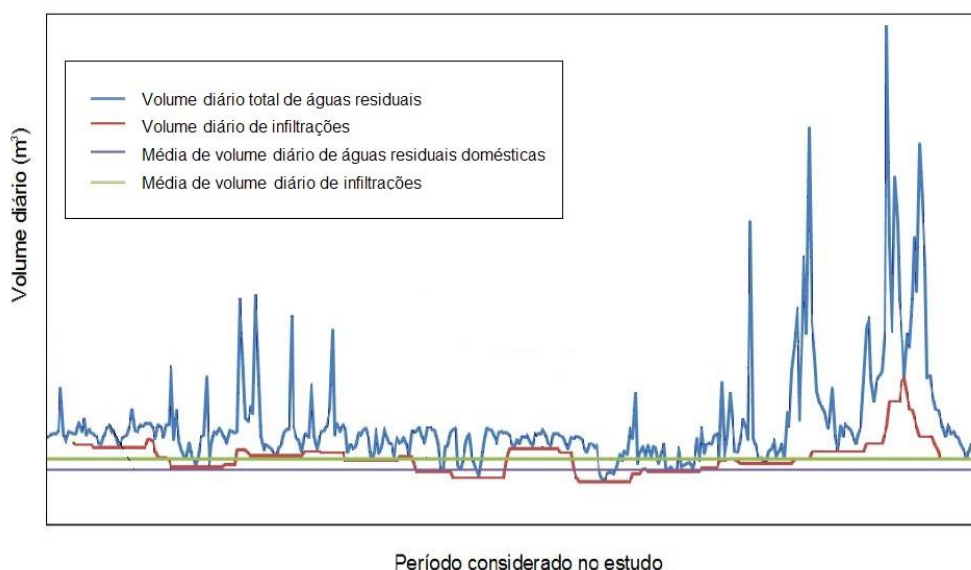


Figura 17 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel para a elaboração de hidrogramas de afluências indevidas (adaptado de Mortinho, 2011).

3.3.4.3 Método das séries temporais de cargas poluentes

O método das séries temporais de cargas poluentes procura quantificar as águas não poluídas incorporadas nos caudais residuais, que correspondem às afluências indevidas, através da medição de séries temporais de caudais num dado ponto da rede e as respetivas concentrações das matérias poluentes. A análise é feita através de um modelo que descreve a concentração de poluentes em função dos caudais totais e do tempo, (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Kracht, 2007; Rodrigues,

2013). Um parâmetro aconselhável para essa finalidade é a carência química de oxigénio (CQO). A presença de CQO nas águas parasitas é negligenciável, o que evita algumas dificuldades na determinação da contribuição do traçador oriundo das afluições indevidas (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

Este método implica a utilização de instrumentos de medição, com intervalos de confiança adequados, oferecendo garantias de qualidade considerável aos dados recolhidos, tendo-se presente que tal não implica a assunção (como noutros métodos) que os padrões diários de afluência dos caudais domésticos, e as respetivas concentrações dos poluentes, sejam ciclicamente iguais, de dia para dia (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

3.3.4 Métodos de quantificação de afluições indevidas indiretas

Em condições de tempo seco, as águas residuais têm, normalmente, duas origens: a água potável proveniente do consumo urbano, à qual lhe foi dado uma grande variedade de usos, e a água oriunda de infiltração indireta, que em condições de tempo seco corresponde às infiltrações indiretas (Kracht, 2007).

Método do caudal em tempo seco

Este método admite que em condições de tempo seco o caudal escoado pela rede é composto, exclusivamente, pelas parcelas que de facto devem estar nos coletores, nomeadamente as águas residuais de consumo doméstico e de consumo industrial, e pela parcela respetiva à infiltração. Acontece que, partindo do princípio de não terem ocorrido precipitações ou outro tipo de afluições superficiais de volumes consideráveis por se estar em tempo seco, as afluições indevidas são constituídas apenas pelas infiltrações indiretas, à qual a ocorrência de precipitações é irrelevante para a sua ocorrência.

Assim, é possível comparar os caudais totais efluentes às ETAR, através das respetivas medições, com o caudal em tempo seco calculado sem a parcela das afluições indevidas. Deste modo a diferença entre os caudais registados em tempo seco e o caudal calculado assumindo inexistência de infiltrações, de origem doméstica e industrial, corresponde ao volume das infiltrações indiretas durante o respetivo período (Amorim, 2007; Bonito 2014).

Segundo *Drainage* (2005), em Bonito (2014), para a aplicação deste método é necessário que não ocorram fenómenos de pluviosidade entre 7 a 10 dias antes do primeiro registo contabilizado no estudo. Este intervalo temporal é necessário de modo a garantir bons resultados práticos, mesmo tendo em conta que a influência pluviométrica de alguns fenómenos de precipitação chega até aos 6 meses após o último evento.

No caso da inexistência de registos o caudal de afluições indevidas pode ser determinado, aproximadamente, das seguintes formas, análogas:

$$Q_{\text{inf,indiretas}} = Q_{\text{tempo seco}} \cdot 0,45$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{inf,indiretas}} = (P \cdot C_{a,r} + Q_{\text{res,ind}} + Q_{\text{inf,indiretas}}) \cdot 0,45 \Leftrightarrow$$

$$Q_{\text{inf,indiretas}} = (P \cdot C_{a,r} + Q_{\text{res,ind}}) \cdot 0,80$$

A consideração de que o caudal das infiltrações indiretas corresponde a 45% do caudal total de tempo seco advém de um estudo efetuado com os caudais registados em 95 cidades inglesas e gaulesas, denominado de projeto CIRIA – (White, 1996) – conforme citado em Amorim (2007).

Método do caudal mínimo

Os sistemas de drenagem de águas residuais apresentam grandes variações de caudais ao longo do dia, sendo que tais variações se devem principalmente aos hábitos de consumo dos utilizadores domésticos.

Durante a madrugada verifica-se, de um modo geral, que os caudais residuais, de tempo seco, que afluem à rede decrescem muito significativamente, atingindo o seu valor mínimo. Este método tem em conta esse facto, implicando que os caudais da rede de drenagem residual nesse período são, principalmente, devidos a infiltrações indiretas na rede de drenagem.

Para a aplicação deste método é necessária a medição de caudais de tempo seco, ao longo de intervalos de tempo diários, em que é possível obter o valor mínimo diário de origem doméstica nas primeiras horas do dia (período noturno, entre as 2 e 4 da madrugada) e determinar os caudais médios diários de tempo seco. É aconselhável, também que as medições sejam feitas no fim-de-semana, de modo a evitar os caudais residuais de origem industrial, que por vezes funcionam nesse período (Amorim, 2007).

No intervalo temporal de ocorrência do caudal mínimo em tempo seco, podem, ainda assim, ocorrer afluições de origem doméstica e industrial/comercial e, normalmente, assume-se que 10% desse valor é dessa proveniência, sendo os restantes 90% devido a afluições indevidas (Amorim, 2007). No entanto, existem autores que defendem que a contribuição de origem doméstica e industrial, nesse período, é desprezável sendo a infiltração igual ao caudal mínimo noturno registado (Mortinho, 2011).

Em segmentos da rede onde os caudais sejam reduzidos e onde os incrementos destes caudais são da ordem de alguns litros por segundo, a estimativa do caudal mínimo noturno pode tornar-se complicada. Deste modo, nestas situações, pode recorrer-se à utilização de medidores de caudal ultrassónicos, que possibilitam o registo dos de caudais com alturas da lâmina de água bastante reduzidas (Amorim, 2007; Mortinho, 2011).

Método suíço

Segundo Hager *et al.* (1985) em Franz (2007), o método suíço descreve a seguinte abordagem iterativa, de modo a identificar a componente de infiltrações indiretas em caudais residuais de tempo seco, através de amostras e medições de caudais nas ETAR:

$$Q_{\text{inf,indiretas}} = \frac{Q_{\text{res,mín,ts}}}{Q_{\text{res,médio,ts}}} \cdot \left[1 - \frac{C_{\text{mín}} \cdot Q_{\text{res,mín,ts}}}{C_{\text{médio}} \cdot Q_{\text{res,médio,ts}}} \cdot \left(\frac{Q_{\text{res,mín,ts}}}{Q_{\text{res,médio,ts}}} - 1 + \frac{C_{\text{mín}}}{C_{\text{médio}}} \right) \right] \cdot Q_{\text{res,total}}$$

Em que:

$C_{\text{mín}}$ – Concentração mínima de traçadores ao longo do dia.

$C_{\text{médio}}$ – Concentração média de traçadores ao longo do dia.

Este método assume que o caudal de infiltrações indiretas e a concentração dos poluentes se mantêm constante ao longo do dia (Franz, 2007). Segundo Franz (2007), a série de medições é tipicamente registada em períodos de 24 horas, com uma discretização temporal de 15 minutos. Uma vantagem desta metodologia deve-se ao facto de não ser necessário o conhecimento dos padrões e hábitos de descargas de águas residuais por parte dos utilizadores da rede.

3.3.4.5 Métodos de quantificação de afluências indevidas diretas

Em 2007, o então Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), agora ERSAR, elaborou um conjunto de recomendações para as entidades gestoras de redes de águas residuais, entre estas a recomendação nº 04/2007, onde se encontram descritas metodologias a serem utilizadas sobre a quantificação dos volumes pluviais nas redes residuais urbanas, também denominadas de escoamento direto ou escoamento superficial. Na recomendação nº 04/2007, “Faturação de serviços em “alta” de saneamento de águas residuais urbanas com contribuição de águas pluviais”, menciona-se o seguinte (Baptista e Escudeiro, 2008):

- “Para melhor gestão de investimentos na redução de afluências indesejáveis com origem em redes de drenagem será fundamental que as entidades gestoras de sistemas em “alta” assegurem, sempre que técnica e economicamente justificável, registos de medições em secções de entrega, por forma a permitir não só estimar os caudais descarregados por cada utilizador, como avaliar a parcela com origem pluvial”.
- “Os caudais de tempo seco e de tempo húmido devem ser estimados a partir de registos contínuos de caudais à entrada das estações de tratamento e, quando justificável, em secções de entrega da rede em “baixa” na rede em “alta” (pontos de recolha),

estabelecendo-se curvas padrão de evolução de caudal de tempo seco a partir de registos em período estival. Os volumes afluentes de origem pluvial podem ser estimados com base na diferença entre os volumes registados em tempo de chuva e os valores estimados para condições de referência de tempo seco”.

Para a definição de “dia de chuva”, recomenda-se que (Baptista e Escudeiro, 2008):

- “A entidade gestora e os utilizadores do sistema selecionem um udómetro (ou mais de um udómetro) localizado na área servida por cada estação de tratamento ou suficientemente próximo desta, cujas medições sejam consideradas representativas de ocorrência de contribuições de águas pluviais na área contributiva”.
- “Pode ser razoável que um udómetro selecionado como representativo da ocorrência de precipitação na área servida por uma dada estação de tratamento seja considerado também representativo da ocorrência de precipitação em áreas vizinhas servidas por outras estações de tratamento”.
- “Considera-se “dia de chuva” numa dada área servida se se registar ocorrência de precipitação no udómetro selecionado para o respetivo ponto de medição (estação de tratamento ou secção de entrega)”.
- “Nos dias de chuva os volumes medidos devem ser repartidos entre o volume de águas residuais domésticas/industriais e o volume de águas pluviais de acordo com a expressão (20), que incorpora a média aritmética dos volumes medidos no período antecedente de, pelo menos, M dias consecutivos de tempo seco”.
- “Caso o sistema em análise apresente um hidrograma com uma vincada recuperação lenta do padrão de tempo seco após “dias de chuva”, e que tal seja verificado por medição e/ou modelo matemático calibrado, pode aplicar-se a expressão (20), para determinação do, nos n dias de tempo seco, equivalentes, em termos de comportamento, a “dias de chuva”. O valor de n variará de sistema para sistema (e, possivelmente, de chuvada para chuvada)”.

Deste modo e em jeito de resumo este método considera que a componente pluvial é não mais que a diferença entre o caudal total em tempo húmido e o caudal total em tempo seco.

$$V_n^{jT} = V_n^{jad} + V_n^{jap} = \min \left(V_n^{jT}; \frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M} \right) + V_n^{jap}$$

Em que:

V_n^{jT} – Volume total medido no ponto de medição j (ETAR ou secção de entrega), no “dia de chuva” n.

V_n^{jad} – Volume de águas residuais domésticas/industriais atribuído ao ponto de medição j, no “dia de chuva” n.

V_n^{iap} – Volume estimado de águas pluviais, atribuído ao ponto de medição j , no “dia de chuva” n .

M – Número de dias do último período contínuo de tempo seco (recomenda-se que a duração de M seja de pelo menos 10 dias, isto é, que se utilize o valor médio diário do último período contínuo de tempo seco com uma duração mínima de 10 dias).

$\frac{\sum_{m=1}^M V_m^{iT}}{M}$ – Valor médio diário dos volumes totais medidos no ponto de medição j , calculado para o último período, precedente ao dia n , de M dias consecutivos de tempo seco.

3.4 Indicadores de desempenho técnico para as afluências indevidas

Um indicador ou medida de desempenho é uma característica ou variável de estado que permite, em função dos valores que assume, traduzir em termos quantitativos o desempenho do sistema (Cardoso *et al.*, 2002).

Estes parâmetros podem ser obtidos através de dados de monitorização ou modelação da rede em estudo e podem variar espacialmente, de órgão para órgão, ou temporalmente, uma vez que os caudais transportados também variam.

Estando definidos os indicadores de desempenho, poder-se-á usar uma função de desempenho de modo a transformar os valores que estes tomam em valores de desempenho, segundo Cardoso *et al.* (2002).

Assim, com esta finalidade Cardoso *et al.* (2002) propôs os seguintes indicadores de desempenho:

- **Utilização da capacidade de secção cheia,** $\frac{Q_{inf}}{Q_{SC}}$ (%) – “esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração (Q_{inf}) relativamente ao valor do caudal de secção cheia do coletor (Q_{SC}), que representa a sua capacidade. Permite avaliar a percentagem da capacidade do coletor que é utilizada em consequência da ocorrência de infiltração. (...) Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema. (...))”
- **Proporção do caudal de tempo seco,** $\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$ (%) – “esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração (Q_{inf}) relativamente ao valor do caudal médio diário de tempo seco ($Q_{res,médio,ts}$). Permite comparar o peso da contribuição do caudal de infiltração relativamente ao do caudal médio diário de tempo seco no caudal que é transportado pelo sistema. (...) Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema. (...))”

- **Caudal unitário por câmara de visita,** $\frac{Q_{inf}}{n^{\circ}C_{visita}}$ (m³/s)– “esta medida indica o caudal médio de infiltração (Q_{inf}) por câmara de visita ($n^{\circ}C_{visita}$). Como foi anteriormente referido, as câmaras de visita são possíveis origens de infiltração. Assim, para avaliar a influência do número de câmaras de visita no caudal de infiltração, este valor deve ser determinado em troços de igual comprimento, por forma a que a influência do comprimento do coletor, outra origem de infiltração, não se sobreponha com a das câmaras de visita. No entanto, este indicador não entra em conta com a influência da infiltração ao longo do coletor, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido, sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”
- **Caudal unitário por comprimento do coletor,** $\frac{Q_{inf}}{L_{Coletor}}$ (m³/(s · km))– “esta medida indica o caudal médio de infiltração (Q_{inf}) que ocorre por km de comprimento do coletor ($L_{Coletor}$). Este indicador não tem em conta a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”
- **Caudal unitário por área de parede do coletor,** $\frac{Q_{inf}}{L_{Coletor} \cdot P_{Coletor}}$ (m³/(s · km · cm)) – “esta medida indica o caudal médio de infiltração (Q_{inf}) em função da área de parede do coletor exposta a possíveis infiltrações ($L_{Coletor} \cdot P_{Coletor}$). Este indicador não entra em conta com a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”

4 Referências Bibliográficas

- Alegre, H., Teixeira Coelho, S., Almeida, M. Vieira, P., CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS PÚBLICOS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO, Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005.
- Almeida, S. e Monteiro, P. (2004). Incidência de caudais de águas pluviais em redes de drenagem de águas residuais - Dois casos de estudo em Municípios do Norte de Portugal. Associação Portuguesa dos recursos Hídricos. 7º Congresso da Água, Lisboa, LNEC, 8 a 12 de Março de 2004.
- Amorim, H. (2007). Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Baptista, J. e Escudeiro, M., (2008). Recomendações de 2005 a 2007. Instituto Regulador de Águas e Resíduos.
- Bertrand-Krajewski, J.-L., Baer, E., Cardoso, M., de Bénédictis, J., Ellis, B., Franz, T., Frehmann, T., Giulianelli, M., Gujer, W., Karpf, C., Kohout, D., Kracht, O., Krebs, P., Metelka, T., Pliska, Z., Pollert, J., Prigiobbe, V., Princ, I., Pryl, K., Revitt, M., Rieckermann, J., Rutsch, M. e Vanecek, S. (2005). Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems – Final Report. European Commission 5th R&D Framework Programme.
- Bonito, A. (2014). Infiltrações na rede de drenagem de águas residuais. Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Cardoso, A., Almeida, M. e Coelho, S. (2002). Avaliação do impacto da infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- EPA (1991). Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation.
- EPA (1995). National sanitary conference on sewer overflows. EPA/625/R-961007. Wasington DC.
- Farley, M. (2001), “Leakage management and control”. World Health Organization.
- Franz, T. (2007). Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results. Tese de Doutoramento, Institut fur Siedlungs - und Industriewasserwirtschaft Technische Universitat Dresden, Dresden.
- Gomes, R. J. (2011), “Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água”. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, Coimbra (Portugal).
- Gumier, C. C. e Junior, E. L. (2007), “Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento”. Eng. sanit. ambient., 12, 32-41.

- Kaczor, G. (2011). The effect of heavy precipitation on the infiltration and inflow into small sewage treatment plants in 2010, Commission of Technical Rural Infrastructure, Polish Academy of Sciences, Cracow Branch, Cracovia.
- Karpf, C. e Krebs, P. (2011). Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. *Water Research*, IWA, 45(10), 3129-36.
- Kesik, T. (2015). Best practices guide: management of inflow and infiltration in new urban developments. ICLR research paper series – number 54, Institute for Catastrophic Loss Reduction.
- Kracht, O. (2007). Tracer-based hydrograph separation methods for sewer systems. A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich for the degree of Doctor of technical sciences, Zurich.
- Li, W., Ling, W., Liu, S., Zhao, J., Liu, R., Chen, Q., Qiang, Z. e Qu, J. (2011), “Development of systems for detection, early warning, and control of pipeline leakage in drinking water distribution: A case study”. *Journal of Environmental Sciences*, 23, 1816-1822.
- Marques, J. A. A. Sá e Sousa, J. (2014). *Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Morais, D. C. e Almeida, A. T. (2007), “Group decision-making for leakage management strategy of water network”. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 441-459.
- Mortinho, A. F. (2011), “Avaliação de Caudais de Infiltração em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais”. Dissertação de Mestrado em Construção Urbana, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Nasrin, T., Tran, H. e Muttill N. (2013). Modelling impact of extreme rainfall on sanitary sewer system by predicting rainfall derived infiltration/inflow. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, 1 a 6 de Dezembro de 2013.
- Rodrigues, V. (2013). Avaliação de infiltração em drenagem urbana recorrendo a métodos convencionais e não convencionais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Thornton, J. (2002), “Water Loss Control Manual”. McGraw- Hill.
- Thornton, J., Sturm, R., Kunkel, G. (2008). *Water loss control*. McGraw-Hill Companies.
- Trifunovic, N. 2006, *Introduction to Urban Water Distribution*, 509 p., Taylor & Francis Group, London, UK.
- Weiß, G., Brombach, H. e Haller, B. (2002). Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis. *Water Science and Technology*, 45 (7), 11-19.
- www.contimetra.com
- easysight.en.made-in-china.com