



Definição Preliminar das Afluências Indevidas ao Subsistema de Gaia Litoral

CLÁUDIO ANDRÉ ARAÚJO DIAS

Outubro de 2015

Definição Preliminar das Afluências Indevidas ao Subsistema de Gaia Litoral

Relatório de estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — RAMO DE INFRAESTRUTURAS

Orientador: Engenheiro Tiago Abreu

Supervisora da empresa: Engenheira Teresa Bastos

Cláudio André Araújo Dias

Outubro de 2015

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	vii
Abstract	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras	xv
Índice de Quadros	xix
Acrónimos	xxi
1 Introdução.....	1
2 Empresa	5
3 Afluências Indevidas	15
4 Caso de Estudo.....	53
5 Considerações Finais.....	107
Referências Bibliográficas	111
Anexos.....	115

RESUMO

O problema das aflúências indevidas exerce um impacto considerável, não apenas sobre os sistemas de drenagem de águas residuais, mas também sobre o meio ambiente e as populações e infraestruturas presentes nas áreas de influência. Trata-se de um problema com consequências de dimensões técnica/estrutural, ambiental, social, económico-financeira e de saúde pública.

Assim, a minimização das aflúências indevidas deve constituir uma preocupação da gestão dos sistemas, visto que a mesma permite que a capacidade de transporte e tratamento instalada seja utilizada para as funções inicialmente planeadas (drenagem e tratamento das águas residuais domésticas) e inclui os benefícios de diminuir os custos associados, melhorar a eficiência dos serviços prestados e rentabilizar as infraestruturas existentes.

Do ponto de vista económico, há a possibilidade de intervenção nos casos em que o custo de transporte e/ou tratamento do caudal associado às aflúências indevidas é superior ao custo da sua eliminação. Neste sentido, um dos objetivos a atingir pela entidade gestora deverá ser o da redução gradual de aflúências indevidas, numa perspetiva de custo-benefício.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho - a definição preliminar das aflúências indevidas ao Subsistema de Gaia Litoral (incluindo a estimativa dos custos associados) - assume uma importância elevada no controlo e redução dos caudais em excesso, visto que a mesma é parte integrante do plano de minimização de aflúências indevidas.

No decorrer do trabalho, foram implementados os métodos mais adequados ao tipo e natureza da informação utilizada, de forma a cumprir os objetivos estabelecidos inicialmente. Os resultados obtidos permitiram formular uma definição das aflúências indevidas assente em volumes em excesso e seus custos, parâmetros de avaliação e indicadores de desempenho.

Palavras-chave: aflúências indevidas, águas residuais, plano de minimização, caudais em excesso, custo-benefício

ABSTRACT

The issue of infiltration and inflow exerts a considerable impact, not only upon sewerage systems, but also upon the environment and the populations and infrastructures present in the areas of influence. It is an issue that carries consequences of the public health, economic/financial, social, environmental and technical/structural dimensions.

Therefore, the minimization of infiltration and inflow must be taken into consideration by the systems' management, since it allows for the installed transport and treatment capacity to be used for its original functions (drainage and treatment of domestic wastewater) and includes the benefits of lowering its costs, improving the efficiency of the provided services and optimizing the existing infrastructures.

From an economic point of view, the possibility of intervention exists when the transport/treatment cost of infiltration and inflow is superior to the cost of its elimination. In this way, one of the objectives to be met by the management body is the progressive reduction of infiltration and inflow, from a cost-effective perspective.

In this context, the objective of this work – the preliminary definition of infiltration and inflow in the Gaia Litoral Subsystem (including the estimate of related costs) – plays an important role in the control and reduction of extraneous flow, since it is a constituent part of the infiltration and inflow control/reduction program.

Over the course of this work, the most adequate methods relative to the nature and type of the available information were implemented, in order to meet the objectives initially set. The achieved results allowed to formulate a definition of infiltration and inflow based on excessive volumes and its costs, valuation parameters and performance indicators.

Keywords: infiltration and inflow, wastewater, control/reduction program, extraneous flow, cost-effective

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações iniciais.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Organização do relatório	3
2	Empresa	5
2.1	Descrição breve	5
2.2	Visão, Missão e Estratégia	9
2.2.1	Missão.....	9
2.2.2	Visão	9
2.2.3	Estratégia.....	9
2.3	História.....	10
2.4	Infraestruturas e Equipamentos.....	10
3	Afluências Indevidas	15
3.1	Definição de afluências indevidas.....	15
3.2	Componentes do caudal de águas residuais	17
3.3	Causas e impactos das afluências indevidas.....	22
3.4	Plano de Minimização de Afluências Indevidas.....	26
3.5	Indicadores de desempenho	30
3.6	Técnicas e ensaios de deteção de anomalias	34
3.6.1	Ensaio de fumo	34

3.6.2	Ensaio com traçadores químicos	35
3.6.3	Inspeção visual direta	35
3.6.4	Inspeção CCTV	36
3.7	Metodologias de quantificação de afluências indevidas	37
3.7.1	Método da decomposição do hidrograma de águas residuais.....	37
3.7.2	Métodos gráficos para avaliação de RDII	40
3.7.3	Método do triângulo.....	46
3.7.4	Método do mínimo móvel	48
3.7.5	Método das séries temporais de cargas poluentes.....	49
3.7.6	Método dos isótopos naturais.....	50
4	Caso de Estudo	53
4.1	Descrição do subsistema.....	53
4.2	Recolha da informação	54
4.3	Caracterização da rede em “alta”	56
4.4	Capacidade hidráulica	70
4.5	Caracterização do efluente	75
4.6	Resultados.....	79
4.6.1	Análise inicial	79
4.6.2	Cálculo do caudal residual doméstico	87
4.6.3	Volume de afluências indevidas em função da precipitação	92
4.6.4	Parâmetros e indicadores de avaliação	98
4.6.5	Custos associados às afluências indevidas	100
4.6.6	Comparação com o Método do Triângulo.....	104
5	Considerações Finais	107
5.1	Conclusões	107

5.2	Desenvolvimentos futuros.....	108
	Referências Bibliográficas	111
	Anexos.....	115
	Anexo A – Informação recolhida	117
	Anexo B – Cálculos intermédios	159
	Anexo C – Resultados finais.....	189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Logótipo da SIMDOURO (SIMDOURO, 2015).....	5
Figura 2.2 - Municípios abrangidos pelo Sistema Multimunicipal da SIMDOURO (SIMDOURO, 2015)..	6
Figura 2.3 - Representação do Subsistema de Gaia Litoral (área não sombreada). Adaptado de SIMDOURO (2015).	7
Figura 2.4 - Estrutura organizacional da SIMDOURO (SIMDOURO, 2015).....	8
Figura 2.5 - Estrutura acionista da SIMDOURO. Adaptado de SIMDOURO (2015).	9
Figura 2.6 – Localização das infraestruturas do Subsistema de Gaia Litoral.	11
Figura 2.7 - Vista aérea da ETAR de Gaia Litoral (SIMDOURO, 2015).	12
Figura 3.1 - Modo de atuação das aflúências indevidas a um sistema de drenagem de águas residuais (FERREIRA, 2014).....	16
Figura 3.2 - Definição das aflúências indevidas segundo o seu modo de atuação e origem.....	17
Figura 3.3 – Hidrograma típico de águas residuais (FCM e NRC, 2003).....	18
Figura 3.4 – Distinção entre RDII de efeito imediato (aflúências diretas) e RDII de efeito retardado (caudal retardado) (BONITO, 2014).	21
Figura 3.5 – Dimensões do problema das aflúências indevidas (ADP, 2007).	25
Figura 3.6 – Metodologia geral para abordagem do problema. Adaptado de ADP (2007).	27
Figura 3.7 - Etapas de caracterização e diagnóstico da situação de referência. Adaptado de ADP (2007).	28
Figura 3.8 - Etapas para a fixação de objetivos e metas. Adaptado de ADP (2007).	28
Figura 3.9 - Etapas para a definição do programa de ação. Adaptado de ADP (2007).....	29
Figura 3.10 - Etapas de implementação do plano. Adaptado de ADP (2007).....	29

Figura 3.11 – Procedimento de um ensaio de fumo (ADP, 2007).	35
Figura 3.12 – Gráfico resultante da aplicação do método do triângulo na ETAR de Mirandela (AMORIM, 2007).	47
Figura 3.13 – Representação esquemática do método do mínimo móvel. Adaptado de Mortinho (2011).	48
Figura 3.14 – Exemplo da aplicação do método dos isótopos naturais (RODRIGUES, 2013).....	51
Figura 4.1 – Transbordamento de uma câmara de visita.....	53
Figura 4.2 - Bacias de drenagem dos interceptores analisados.	57
Figura 4.3 - Exemplo de uma câmara de visita elevada (esquerda), à face (centro) e a marcação de uma câmara de visita enterrada (direita).	60
Figura 4.4 - Abertura no corpo de uma câmara de visita do tipo elevada.	61
Figura 4.5 - Exemplo de uma câmara de visita com tampa em betão.	61
Figura 4.6 – Patologias existentes nas tampas das câmaras de visita.....	62
Figura 4.7 - Exemplo de uma câmara de visita com a tampa partida.	63
Figura 4.8 – Patologias existentes no revestimento do corpo das câmaras de visita.	63
Figura 4.9 - Exemplo de uma câmara de visita com o revestimento fissurado.....	64
Figura 4.10 – Patologias existentes no betão do corpo das câmaras de visita.	64
Figura 4.11 - Exemplo de uma câmara de visita com o betão fissurado.....	65
Figura 4.12 - Exemplo de uma câmara de visita com problemas nas juntas.	65
Figura 4.13 – Patologias existentes nas escadas das câmaras de visita.	66
Figura 4.14 – Patologias existentes no fundo das câmaras de visita.	66
Figura 4.15 – Problemas gerais existentes nas câmaras de visita.	67
Figura 4.16 - Exemplo de uma câmara de visita com raízes nas juntas.	67
Figura 4.17 - Exemplo de uma câmara de visita com raízes em todo o seu interior.....	68
Figura 4.18 - Exemplo de uma câmara de visita com infiltrações pela fissura no betão.	68
Figura 4.19 - Exemplo de uma câmara de visita com infiltrações pelas raízes.	69

Figura 4.20 – Avaliação do estado geral das câmaras de visita.	69
Figura 4.21 - Análise da capacidade hidráulica dos interceptores de Ateães e da Madalena.	72
Figura 4.22 - Análise da capacidade hidráulica do interceptor de Valadares.	73
Figura 4.23 - Análise da capacidade hidráulica dos interceptores de Canelas e de Espírito Santo.	74
Figura 4.24 - Concentrações de CQO e CBO ₅	75
Figura 4.25 - Precipitação diária e concentrações de CQO e CBO ₅	76
Figura 4.26 - Caudal residual total diário afluente à ETAR e concentrações de CQO e CBO ₅	78
Figura 4.27 - Caudal residual total diário afluente à ETAR e precipitação diária no ano de 2014.	80
Figura 4.28 - Análise de correlação entre o caudal residual total e a precipitação.	82
Figura 4.29 - Diagrama de dispersão referente ao ano de 2014.	83
Figura 4.30 - Diagrama de dispersão referente aos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2014.	84
Figura 4.31 - Caudal residual total semanal afluente à ETAR e precipitação semanal no ano de 2014	85
Figura 4.32 - Caudal residual total mensal afluente à ETAR e precipitação mensal no ano de 2014. ...	86
Figura 4.33 - Médias mensais dos valores diários do caudal residual total (medido) e do caudal doméstico (estimado) em 2014.	90
Figura 4.34 – Diagrama de consumos (fator de ponta 2,0) (MARQUES e SOUSA, 2011).	93
Figura 4.35 – Comparação entre o padrão medido e o padrão teórico em tempo húmido.	94
Figura 4.36 - Comparação entre o padrão medido e o padrão teórico em tempo seco.	94
Figura 4.37 - Caudal residual total horário afluente à ETAR e precipitação horária no ano de 2014. ...	95
Figura 4.38 – Hidrograma de águas residuais final.	97
Figura 4.39 – Análise de custo-benefício (EPA, 1985).	101
Figura 4.40 – Nível de redução de afluências indevidas aceitável (EPA, 1985).	103
Figura 4.41 - Efeitos da subestimação dos custos de projeto (EPA, 1985).	104
Figura 4.42 - Gráfico resultante da aplicação do método do triângulo no caso de estudo.	105

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Dados de base da ETAR de Gaia Litoral (SIMDOURO, 2015).....	13
Quadro 3.1 – Causas das aflúências indevidas a um sistema de drenagem de águas residuais (ADP, 2007).	24
Quadro 3.2 - Indicadores propostos e critérios de avaliação (ADP, 2007).	33
Quadro 3.3 - Resumo dos diferentes métodos de avaliação das aflúências pluviais (RDII). Adaptado de Ferreira (2014).....	41
Quadro 3.4 - Resumo dos dados e precisão/utilidade dos diferentes métodos de avaliação das aflúências pluviais (RDII). Adaptado de Bennett <i>et al.</i> (1999).	44
Quadro 4.1 - Material das tubagens.	57
Quadro 4.2 - Localização das câmaras de visita.	58
Quadro 4.3 - Acessibilidade das câmaras de visita.	58
Quadro 4.4 - Tipo de pavimento em que se inserem as câmaras de visita.	59
Quadro 4.5 - Redes em baixa existentes.	59
Quadro 4.6 - Tipos de câmara de visita quanto à forma de implementação.	60
Quadro 4.7 - Tipo e material das escadas no interior das câmaras de visita.....	62
Quadro 4.8 – Avaliação do estado geral das câmaras de visita repartida pelos cinco intercetores analisados.	70
Quadro 4.9 – Quantificação de troços resultante da análise da capacidade hidráulica.....	71
Quadro 4.10 – Cálculo do caudal residual doméstico.....	88
Quadro 4.11 - Médias mensais das variações de consumo doméstico segundo Lheureux.....	89
Quadro 4.12 - Valores mínimos para a capitação aconselhados pelo RGSPDADAR.....	91

Quadro 4.13 – Volumes anuais das componentes de águas residuais e suas percentagens em relação ao volume anual total.....	98
Quadro 4.14 – Valores de referência de afluências indevidas não excessivas em sistemas de drenagem de águas residuais existentes (ADP, 2007).	98
Quadro 4.15 – Comparação entre os valores de referência e os valores calculados.....	99
Quadro 4.16 – Indicadores de desempenho e respectivos resultados.....	100
Quadro 4.17 – Custos associados às afluências indevidas.	102
Quadro 4.18 – Comparação dos resultados de ambos os métodos de cálculo.	106

ACRÓNIMOS

AdP	Águas de Portugal
ADW	<i>Average Dry Weather</i>
APUSS	<i>Assessing Infiltration on the Performance of Urban Sewer Systems</i>
AWW	<i>Average Wet Weather</i>
BSF	<i>Base Sanitary flow</i>
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CCTV	<i>Closed-Circuit Television</i>
CQO	Carência Química de Oxigénio
CV	Câmara de Visita
DWF	<i>Dry Weather Flow</i>
EEAR	Estação Elevatória de Águas Residuais
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FFD	Ferro Fundido Dúctil
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GWI	<i>Groundwater Infiltration</i>
I/I	<i>Infiltration and Inflow</i>
ID	Indicador de Desempenho

IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
MOUSE	<i>Model for Urban Sewers</i>
NMP	Número Mais Provável
PRFV	Polímero Reforçado com Fibra de Vidro
PVC	Policloreto de Vinil
RGSPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais
RDII	<i>Rainfall Derived Infiltration and Inflow</i>
SSO	<i>Sanitary Sewer Overflow</i>
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
WWF	<i>Wet Weather Flow</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água distribuída através dos sistemas de abastecimento é utilizada para diversos fins, nomeadamente, para usos domésticos, comerciais e industriais. Estes usos modificam, em maior ou menor extensão, as características físicas, químicas e biológicas da água e transformam-na em água residual imprópria para reutilização direta, sendo indispensável o seu afastamento do aglomerado populacional e o seu tratamento efetivo, a fim de evitar riscos para a saúde pública, incomodidade para as populações e prejuízos para o meio ambiente.

Consequentemente, torna-se necessário implementar sistemas adequados que permitam uma resolução apropriada do problema. Além dos assuntos acabados de referir, torna-se também necessário dominar o escoamento da água residual pluvial (SOARES *et al.*, 1991).

A solução para essas questões está materializada nos sistemas de saneamento atuais. No entanto, os mesmos nem sempre funcionam de forma otimizada, apresentando diversos problemas que condicionam o seu funcionamento, entre os quais o problema das afluências indevidas, designado pela terminologia anglo-saxónica de *inflow/infiltration*.

O termo afluências indevidas é designado para caracterizar o caudal que entra indiretamente na rede de drenagem, proveniente de lençóis freáticos, e os caudais com entrada direta, provenientes de ligações de redes de águas pluviais às redes de drenagem separativas. A água entra nas redes pelas tubagens, devido à abertura nas juntas, fraturas e fadiga dos materiais utilizados, e pelas câmaras de visita, devido à corrosão, problemas de ligação às tubagens e entrada pelas tampas (AMORIM *et al.*, 2007).

Segundo Marques e Sousa (2011), qualquer que seja o cuidado colocado na execução das juntas, na impermeabilização das câmaras de visita, bem como na rigorosa vigilância em relação a ligações

clandestinas, é inevitável que a rede sofra a ação das águas de infiltração do subsolo (infiltração de base) e pluviais de superfície (afluência pluvial).

As afluências indevidas às redes de drenagem de águas residuais são frequentemente significativas, em particular após fortes chuvadas. Em termos quantitativos, estima-se que o volume de infiltração de base pode, em certos casos, exceder 50 % do volume total de águas residuais (KRACHT, 2007).

De entre as várias consequências da existência de afluências indevidas, apontam-se, por exemplo, o aumento de custos operacionais e de investimento nas redes de drenagem e nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e a redução da capacidade de transporte dos interceptores/coletores e da capacidade de tratamento das ETAR, potenciando descargas de águas residuais no meio recetor sem qualquer tratamento. Coletivamente, as afluências indevidas podem exercer impactos ao nível técnico, social, ambiental, económico-financeiro e da saúde pública.

O artigo 126.º do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) indica a metodologia utilizada em Portugal na quantificação dos caudais de infiltração a ter em conta na fase de projeto. O mesmo refere que apenas se deve utilizar essa metodologia nos casos em que não se disponha de dados experimentais locais ou de informações similares. Porém, de uma forma geral, esse tipo de informação é inexistente à partida, fazendo com que as infraestruturas a nível nacional sejam dimensionadas de forma homogênea, não se contabilizando características locais que podem exercer uma forte influência.

De facto, apesar de todos os esforços que se têm vindo a desenvolver, a determinação dos caudais indevidos não possui uma resposta exata, por se tratar de um problema bastante específico de cada região. Isto obriga a que sejam elaborados estudos locais e concebidas estratégias adequadas para cada situação (COELHO, 2013).

Neste sentido, o estudo, avaliação e quantificação dos volumes afluentes indevidos às infraestruturas de drenagem assumem uma relevância considerável, não só em relação ao presente, mas também para o futuro, permitindo exercer um controlo efetivo do problema, através de medidas de prevenção e intervenção.

Este trabalho visa contribuir para uma definição preliminar das afluências indevidas ao Subsistema de Gaia Litoral, pertencente ao Sistema Multimunicipal de Vila Nova de Gaia.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como principal objetivo estimar o volume anual de afluências indevidas presente no Subsistema de Gaia Litoral. O documento descreve o Estágio Curricular realizado na SIMDOURO - Saneamento do Grande Porto, S.A., para efeitos de conclusão do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Pretende-se, com base nos resultados advindos, obter uma estimativa dos custos associados a essas afluências indevidas, para que se possa formar uma ideia do impacto exercido no subsistema e, conseqüentemente, na empresa.

Com vista à realização desses objetivos, efetuou-se uma análise inicial da bibliografia disponível sobre o tema, com vista a um entendimento adequado das várias metodologias de quantificação das afluências indevidas existentes. Posteriormente, tendo como base esses conhecimentos, procurou-se recorrer ao método mais adequado face ao tipo e quantidade de informação disponível. Adicionalmente, implementou-se um outro método, usado como termo de comparação ao método principal.

Este tipo de trabalho faz parte integrante de um Plano de Minimização de Afluências Indevidas, pelo que as tarefas aqui desenvolvidas constituem um ponto de partida para a elaboração do mesmo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório é composto por cinco capítulos.

No Capítulo 1 faz-se uma introdução, na qual se apresenta a temática abordada e se faz o seu enquadramento na conjuntura atual, a enumeração dos objetivos e ainda a organização do relatório.

O Capítulo 2 é dedicado a uma breve descrição da SIMDOURO – Saneamento do Grande Porto, S.A., empresa onde decorreu o estágio, e suas infraestruturas e equipamentos.

O Capítulo 3 contém uma apresentação dos elementos da literatura relevantes para o tema em estudo. Oferece-se uma explicação do fenómeno das afluências indevidas a sistemas de saneamento e as suas origens e impactos, aborda-se a elaboração do Plano de Minimização de Afluências Indevidas e listam-se os métodos de avaliação e quantificação existentes.

O Capítulo 4 compreende o conjunto de todas as atividades que foram realizadas ao longo do estágio, desde a recolha da informação até à sua implementação no trabalho, permitindo fazer uma caracterização geral do caso de estudo. Termina com os resultados advindos do cruzamento dos dados relevantes para a implementação dos métodos escolhidos, permitindo atingir os objetivos inicialmente delineados.

No Capítulo 5 sintetizam-se as conclusões retiradas ao longo do trabalho e são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

2 EMPRESA

2.1 DESCRIÇÃO BREVE

A SIMDOURO - Saneamento do Grande Porto, S.A., adiante designada por SIMDOURO, é uma sociedade anónima de capitais públicos, criada pelo Decreto-Lei nº 312/2009 de 27 de outubro, responsável pela construção, gestão e concessão do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto, até ao ano de 2060.

Na Figura 2.1 está visível o logótipo da empresa.



Figura 2.1 - Logótipo da SIMDOURO (SIMDOURO, 2015).

A empresa é responsável pela parte em “alta” do sistema de saneamento do Grande Porto. Antes da criação da SIMDOURO, esta tarefa era competência da Águas de Gaia, E.E.M. A SIMDOURO tem como objetivo a recolha, tratamento e rejeição final das águas residuais urbanas, provenientes de cerca de 519 mil habitantes equivalentes, abrangendo uma área de 1.300 Km², correspondentes à totalidade dos municípios de Arouca, Baião, Castelo de Paiva, Cinfães, Paredes, Vila Nova de Gaia e uma parte do município de Penafiel (bacia do rio Sousa). Na Figura 2.2 observam-se os municípios abrangidos pelo Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto.



Figura 2.2 - Municípios abrangidos pelo Sistema Multimunicipal da SIMDOURO (SIMDOURO, 2015).

O trabalho desenvolvido durante o período de estágio é relativo ao Subsistema de Gaia Litoral (pertencente ao Sistema Multimunicipal de Vila Nova de Gaia), o qual se pode observar em maior detalhe na Figura 2.3, tratando-se da área do concelho de Vila Nova de Gaia que não se encontra a sombreado.

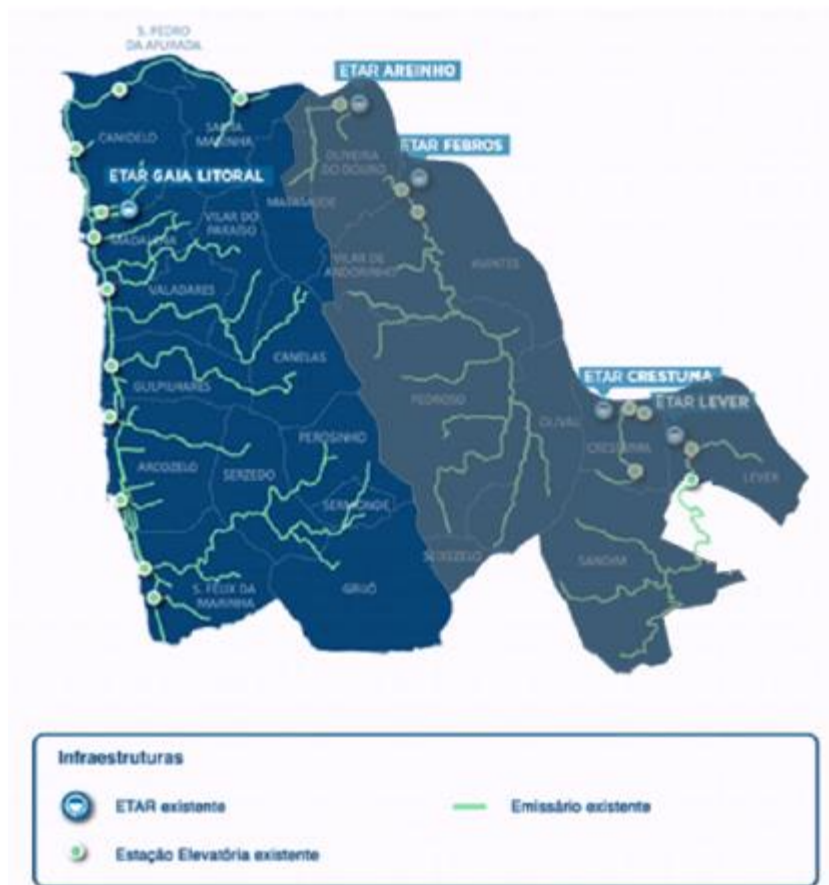


Figura 2.3 - Representação do Subsistema de Gaia Litoral (área não sombreada). Adaptado de SIMDOURO (2015).

A estrutura organizacional atual da empresa está representada no organograma da Figura 2.4.

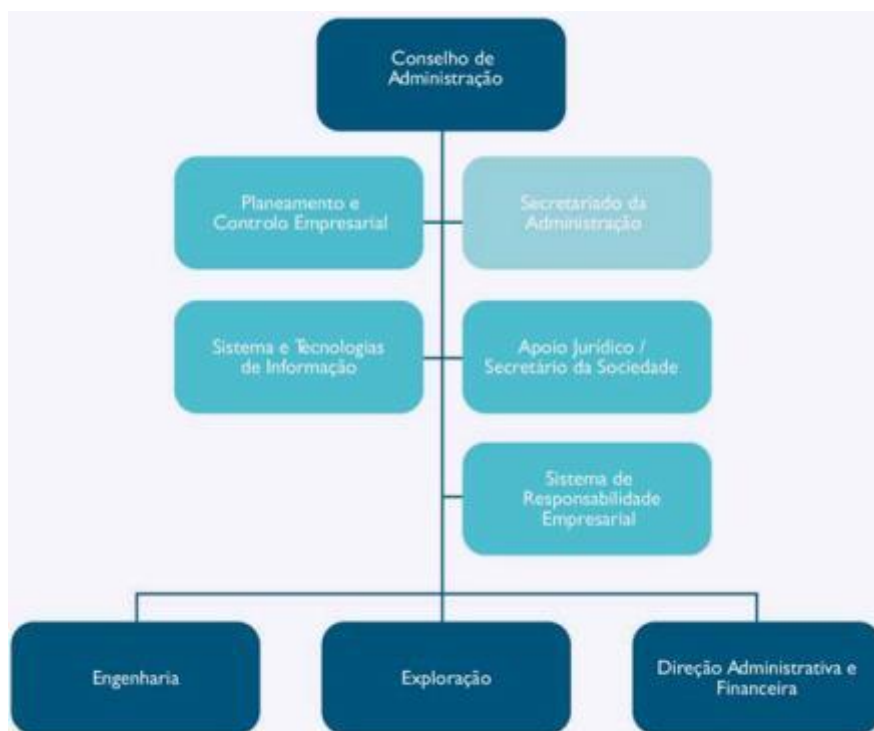


Figura 2.4 - Estrutura organizacional da SIMDOURO (SIMDOURO, 2015).

De acordo com esta organização, o estágio foi realizado no Departamento de Exploração, cujas funções são assegurar a gestão da operação, da manutenção e dos aprovisionamentos da empresa.

A estrutura acionista da SIMDOURO, constante no contrato de concessão, divide-se em dois grupos, pertencentes à Águas de Portugal, S.G.P.S., S.A. (AdP) e a todos os municípios que integram o Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto. A AdP detém a maioria do capital social, enquanto que a restante percentagem é dividida pelos municípios, tal como se pode observar na Figura 2.5.

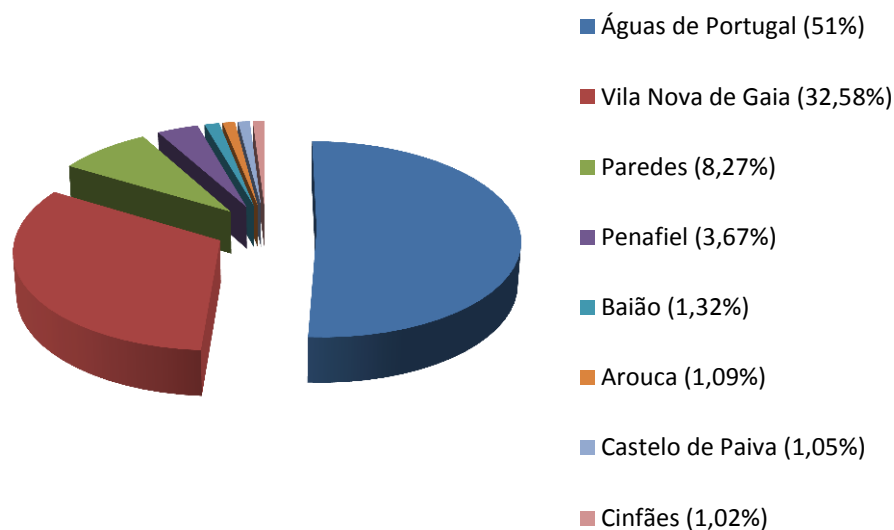


Figura 2.5 - Estrutura acionista da SIMDOURO. Adaptado de SIMDOURO (2015).

2.2 VISÃO, MISSÃO E ESTRATÉGIA

2.2.1 Missão

A missão da SIMDOURO concentra-se em conceber, construir e gerir as infraestruturas do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto, assegurando a prestação de serviços de saneamento de águas residuais aos municípios aderentes, através da utilização de processos de recolha e tratamento eficiente, num quadro de sustentabilidade económica, social e ambiental (SIMDOURO, 2015).

2.2.2 Visão

A SIMDOURO tem em vista ser uma empresa de referência no setor do saneamento e um parceiro para o desenvolvimento sustentável da região em que se insere (SIMDOURO, 2015).

2.2.3 Estratégia

A política da SIMDOURO encontra-se divulgada pelos vários níveis da organização empresarial, pelos seus acionistas e parceiros de negócio e está, ainda, disponível para consulta pelo público em geral (SIMDOURO, 2015).

2.3 HISTÓRIA

Para prossecução da sua missão, a SIMDOURO elaborou um plano de investimentos no montante total de aproximadamente 59,5 milhões de euros para o período de 2010 a 2015, o qual permitiu a construção de um conjunto de intercetores, condutas elevatórias, ETAR e Estações Elevatórias de Águas Residuais (EEAR), para além da reabilitação de algumas ETAR já existentes (SIMDOURO, 2015).

A implementação deste plano permitiu que o sistema passasse a abranger, na sua globalidade, uma população de aproximadamente 519 mil habitantes, o que permitiu aumentar as taxas de atendimento em “alta”, que em alguns dos municípios eram muito reduzidas, bem como os níveis de cobertura global na ordem dos 96 % (SIMDOURO, 2015).

2.4 INFRAESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS

O Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto abrange uma grande área e, por isso, possui várias infraestruturas e equipamentos. Dado que o trabalho desenvolvido incidiu em exclusivo sobre o Subsistema de Gaia Litoral, serão apenas apresentadas as infraestruturas e os equipamentos pertencentes ao mesmo.

Esse Subsistema cobre uma área total de 89,2 Km² e serve a população das freguesias de Arcozelo, Canelas, Canidelo, Madalena, São Félix da Marinha, Vilar de Andorinho e a união das freguesias de Grijó e Sermonde, Gulpilhares e Valadares, Mafamude e Vilar do Paraíso, Santa Marinha e Afurada, Serzedo e Perosinho, pertencentes ao Município de Vila Nova de Gaia. É constituído por uma ETAR, localizada na Rua Alto das Chaquedas, freguesia de Canidelo e por 12 estações elevatórias (Juncal, Prego, Granja, Aguda, Espírito Santo, Canelas, Valadares, Madalena, Lavadores, Largo da Cruz, Afurada e Pedra do Couto). O sistema intercetor é constituído por condutas elevatórias e gravíticas com diâmetros de 200 mm a 1100 mm e extensão de 95.094 m (SIMDOURO, 2010).

O ano de construção das estações elevatórias e das condutas pertencentes ao subsistema abrange um período desde 1990 até 2007, com períodos de vida útil de 25 anos para as estações elevatórias e 16, 25 ou 32 anos para as condutas. Ambos os elementos foram alvos de beneficiações, remodelações e outras reparações ao longo do tempo (MONTEIRO, 2010).

Na Figura 2.6 observa-se a localização das infraestruturas pertencentes ao Subsistema de Gaia Litoral.

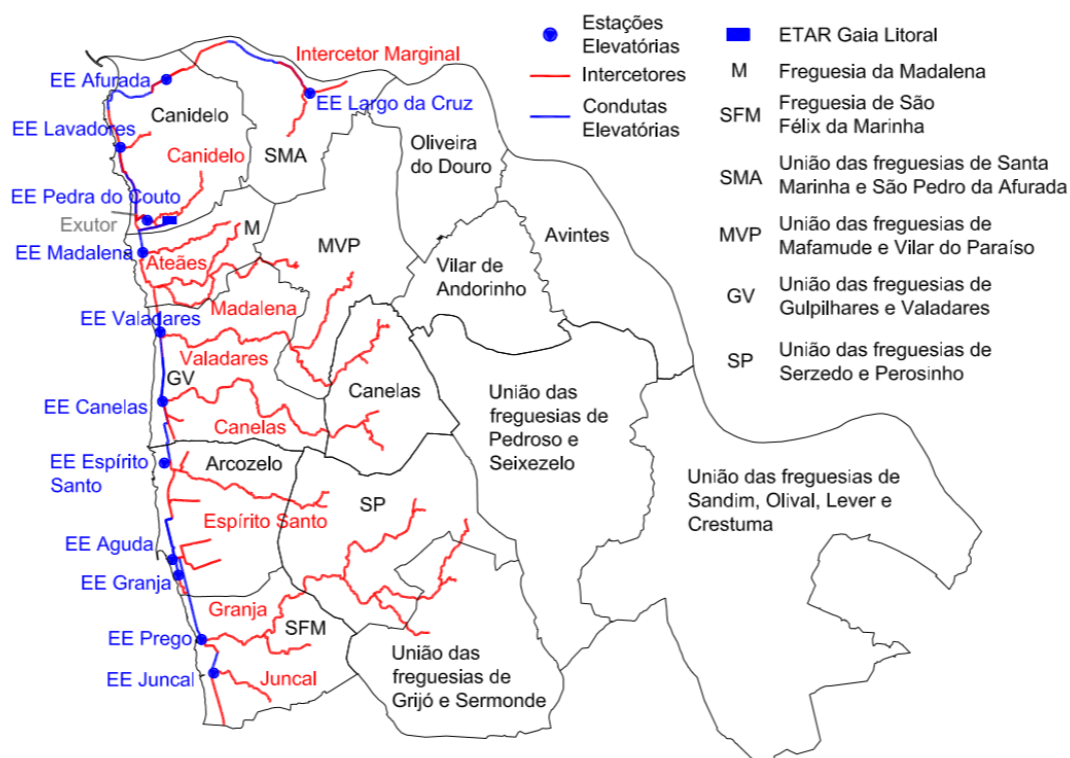


Figura 2.6 – Localização das infraestruturas do Subsistema de Gaia Litoral.

Segundo Monteiro (2008), as estações elevatórias são constituídas por um edifício de exploração, onde se situam a obra de entrada, o poço de bombagem e a câmara de manobras, e por um edifício de comando, onde se situa o quadro elétrico de potência e comando, através do qual são controladas as bombas submersíveis. Há um equipamento de filtração, que serve para separar e recolher os sólidos, de forma a melhorar a qualidade do efluente para posterior transporte e tratamento. O poço de bombagem é constituído pelos grupos eletrobomba, a conduta elevatória, dispositivos de proteção contra o choque hidráulico e um conjunto de válvulas.

A ETAR de Gaia Litoral (Figura 2.7) destina-se ao tratamento dos efluentes provenientes da parte Ocidental e Norte do concelho, numa área delimitada pela autoestrada a Nascente, o mar a Poente e o Rio Douro a Norte (até à Ponte D. Luís), incluindo o Centro Histórico e a quase totalidade da cidade de Vila Nova de Gaia.



Figura 2.7 - Vista aérea da ETAR de Gaia Litoral (SIMDOURO, 2015).

Legenda:

- 1 – Obra de entrada;
- 2 – Desarenamento, desengorduramento e decantação primária;
- 3 – Reator biológico;
- 4 – Decantação secundária;
- 5 – Espessador de lamas;
- 6 – Flotador;
- 7 – Digestores;
- 8 – Gasómetro;
- 9 – Edifício de desodorização;
- 10 – Edifício de exploração.

A ETAR de Gaia Litoral entrou em funcionamento em maio de 2003 e está dimensionada para uma população de 300.000 habitantes equivalentes no ano horizonte de projeto (2028). Foi alvo de uma beneficiação em 2010, conferindo-lhe um período de vida útil até ao ano 2035 (MONTEIRO, 2010). Tem capacidade para tratar um caudal de 66.718 m³/dia e uma carga de 16.352 kg/dia de CBO₅. Baseia-se num sistema de tratamento por lamas ativadas em regime de arejamento convencional (MONTEIRO, 2008).

No Quadro 2.1 encontra-se um resumo dos dados de base da ETAR de Gaia Litoral.

Quadro 2.1 - Dados de base da ETAR de Gaia Litoral (SIMDOURO, 2015).

População		300.000 habitantes
Caudal de ponta (com infiltração)		1.177 l/s
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅)		16.352 kg de O ₂ /dia
Sólidos Suspensos Totais (SST)		24.529 kg/dia
Coliformes fecais		8,2x10 ⁵ (NMP/100 ml)
Efluente final	CBO₅	25 mg/l
	SST	30 mg/l

O edifício de exploração contém, entre outras divisões, um laboratório, onde se realizam as análises das amostras e a sala de comando, onde está implementado um sistema de telegestão.

Após tratamento adequado, o efluente final é descarregado no mar, a 30 m de profundidade, através de um exutor submarino com 2,2 km de comprimento, que transporta o efluente até uma certa distância da costa e promove a sua diluição, aproveitando a elevada capacidade de autodepuração do oceano. Esse exutor foi construído em 1993 com o ano horizonte de 2009, tendo sido alvo de uma grande reparação em 2010, conferindo-lhe um período de vida útil até ao ano 2042 (MONTEIRO, 2008).

3 AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

3.1 DEFINIÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

De acordo com o seu modo de atuação, é possível dividir as afluições indevidas em diretas ou indiretas (FERREIRA, 2014).

A afluição direta, referente ao termo anglo-saxónico *inflow*, é o volume de precipitação que entra diretamente no sistema de drenagem através das tampas das câmaras de visita, dos ramais de ligação, das ligações dos tubos de queda, das ligações cruzadas com as redes pluviais, das drenagens das fundações, entre outros.

A afluição indireta, referente ao termo *infiltration*, é o volume associado ao aumento do nível das águas subterrâneas, filtrado no solo antes de entrar no sistema de drenagem através de secções de tubagens danificadas (quebradas ou rachadas), juntas de fuga ou conexões pobres das câmaras de visita, conexões impróprias, entre outras.

Na Figura 3.1 estão representados os vários modos de atuação das afluições indevidas, consoante o local de incidência no sistema de drenagem.

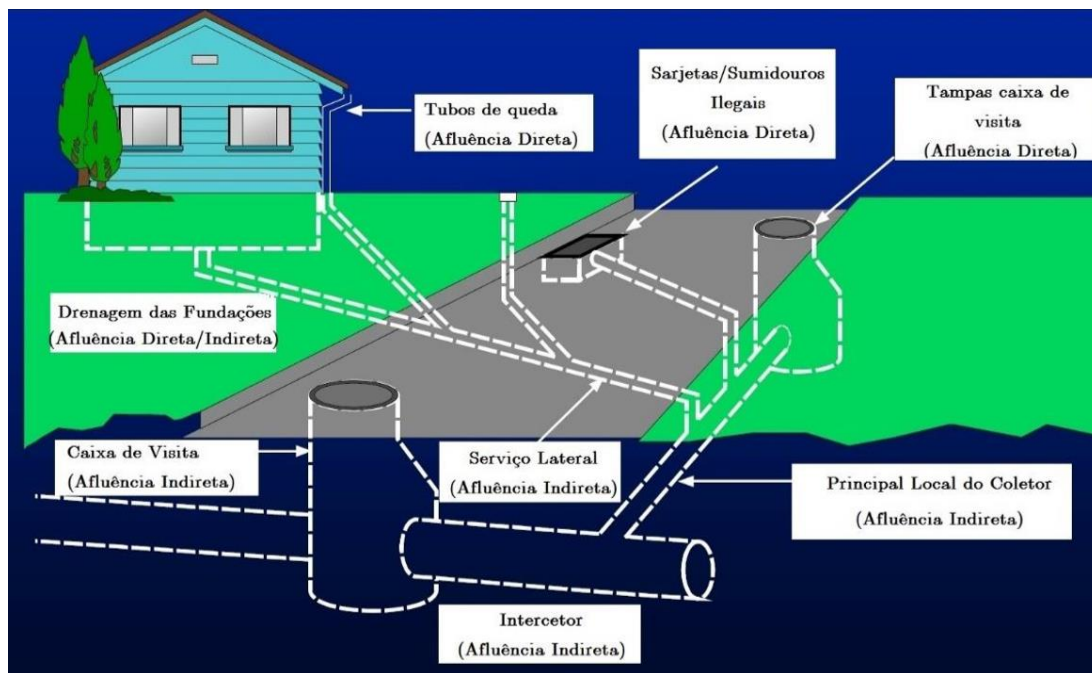


Figura 3.1 - Modo de atuação das afluências indevidas a um sistema de drenagem de águas residuais (FERREIRA, 2014).

É também possível caracterizar as afluências indevidas segundo a sua origem, agrupando-as em afluência pluvial ou infiltração de base.

A afluência pluvial (RDII) é todo o volume que incide no sistema de drenagem como resultado direto de um ou mais eventos de precipitação, sendo possível que contenha afluência direta (volume que entra diretamente no sistema pelas tampas das câmaras de visita, tubos de queda, etc.) e/ou afluência indireta (volume que entra indiretamente no sistema pelas tubagens defeituosas, através da infiltração da água da chuva no subsolo, criando condições de saturação temporária). A infiltração de base (GWI) diz respeito ao volume de água previamente alojado no subsolo, que entra no sistema pelas tubagens defeituosas, não tendo necessariamente origem imediata após um evento de precipitação.

Esta caracterização das afluências indevidas segundo a sua origem é mais claramente visível no subcapítulo 3.2, através da divisão das componentes do caudal residual.

Na Figura 3.2 apresenta-se um esquema ilustrativo da definição das afluências indevidas.

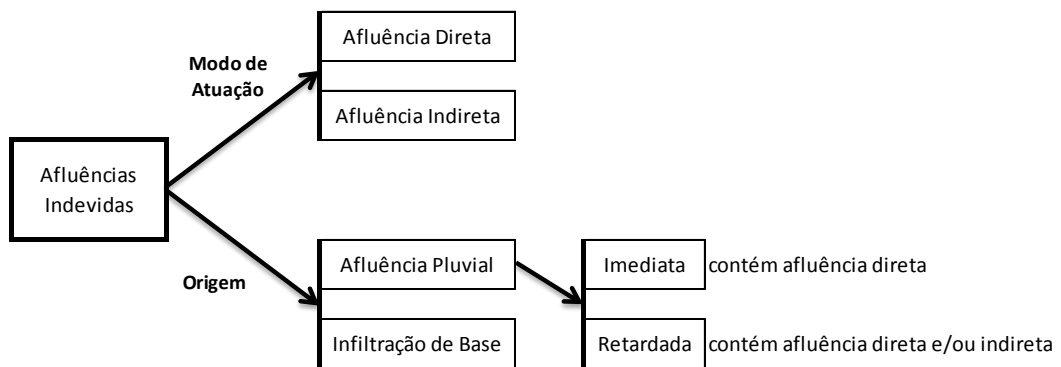


Figura 3.2 - Definição das afluências indevidas segundo o seu modo de atuação e origem.

Assume-se, à partida, que um sistema de drenagem de águas residuais moderno, do tipo separativo, contém sempre um certo volume de afluência indevida presente no efluente que transporta, cuja dimensão varia com o tempo e depende de vários fatores (MARQUES e SOUSA, 2011).

3.2 COMPONENTES DO CAUDAL DE ÁGUAS RESIDUAIS

O caudal residual total, ou seja, a totalidade do volume de efluente que chega à ETAR ao longo do tempo, é composto pelo caudal residual doméstico (BSF), o caudal de infiltração de base (GWI) e o caudal de afluência pluvial (RDII). A Figura 3.3 ilustra a divisão dessas componentes através de um hidrograma.

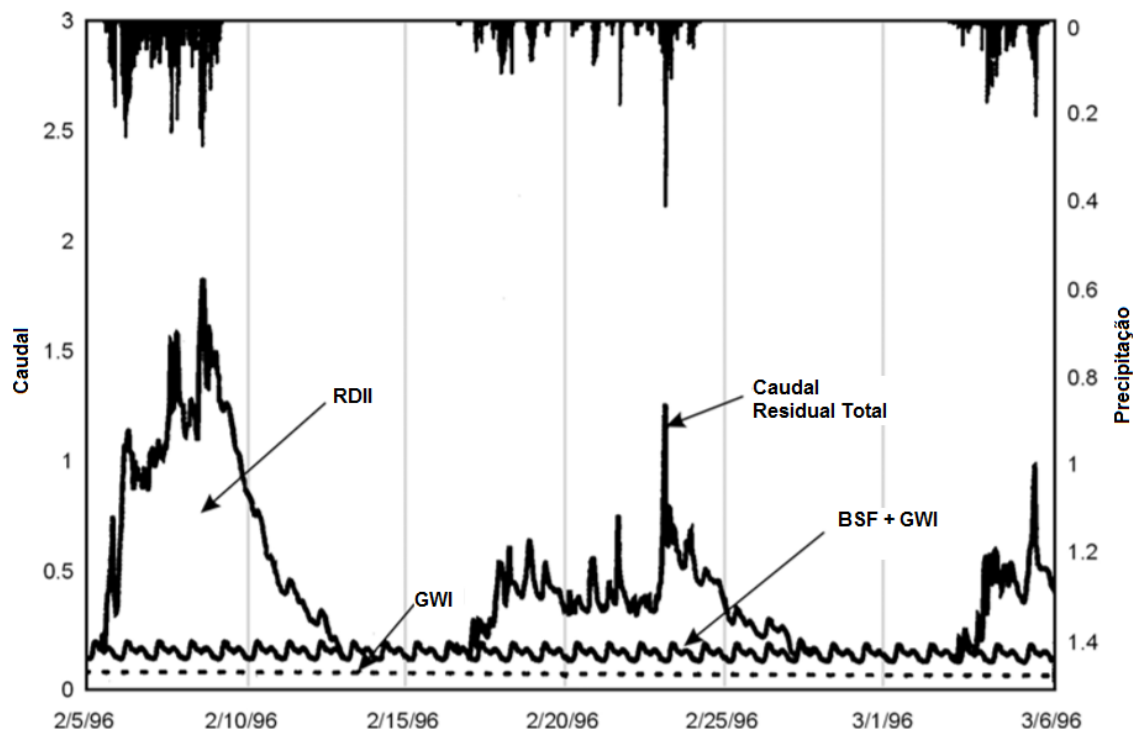


Figura 3.3 – Hidrograma típico de águas residuais (FCM e NRC, 2003).

Normalmente, em tempo seco (quando não existe qualquer influência direta da precipitação) existem apenas as componentes relativas ao BSF e ao GWI, as quais formam o caudal de tempo seco, ou *Dry Weather Flow* (DWF). Em tempo húmido (quando um ou mais eventos de precipitação afetam o sistema de drenagem) estão presentes as três parcelas, as quais compõem o caudal de tempo húmido, ou *Wet Weather Flow* (WWF).

Caudal Residual Doméstico (BSF – *Base Sanitary Flow*):

O caudal residual doméstico é composto por água residual de origem domiciliária, industrial e comercial, que foi anteriormente consumida e lançada para um sistema de drenagem, com vista ao seu tratamento. Esse caudal sofre uma variação típica ao longo do dia, resultante dos padrões de consumo da população. Normalmente, no período noturno (das 00:00 às 06:00), os consumos são mais baixos, atingindo valores praticamente nulos, e atingem valores mais altos no período da manhã (MARQUES e SOUSA, 2011).

Numa dada bacia de drenagem, a média diária de BSF é relativamente constante em períodos próximos, sofrendo variações mais visíveis mensalmente e sazonalmente. Se considerarmos duas

bacias de drenagem, até os padrões diários podem ser bastante distintos, devido às diferenças nos hábitos de consumo por parte das duas populações (BENNETT *et al.*, 1999).

Infiltração de Base (GWI – *Groundwater Infiltration*):

O caudal de infiltração de base, tal como referido anteriormente, representa a infiltração das águas subterrâneas que entram no sistema de drenagem pelas tubagens defeituosas, juntas deterioradas e corpo das câmaras de visita.

A infiltração de base é afetada pela humidade do solo, níveis freáticos e a profundidade relativa das tubagens. Quando os níveis freáticos atingem a cota da tubagem, dá-se o processo de infiltração de base, só terminando com a descida do nível freático para uma cota inferior à da soleira das tubagens ou das câmaras de visita. A ocorrência de infiltração dá-se indiretamente na sequência de fatores como os eventos de precipitação ou a variação das marés, uma vez que os níveis freáticos dependem destes (ADP, 2007).

O caudal de GWI sofre variações ao longo do ano, sendo que tipicamente atinge o seu pico após os meses de maior precipitação, com os níveis freáticos e os níveis de humidade do solo a aumentarem (em Portugal, esse período coincide com o final do Inverno/início da Primavera), e atinge os seus níveis mais baixos após os meses de menor precipitação (em Portugal, esse período coincide com o final do Verão/início do Outono).

Para além da influência das águas subterrâneas, que se situam abaixo do nível freático, há ainda a existência de escoamento subsuperficial, que flui através do solo (acima do nível freático) e reaparece nas tubagens após um período mais longo. Segundo Bennett *et al.* (1999), conceptualmente, o escoamento subsuperficial é diferente da água subterrânea, mas a sua distinção pode ser impercetível em certas áreas com níveis freáticos elevados. Como tal, pode ser classificado tanto como RDII (na forma de afluência pluvial retardada) ou variações temporais lentas de GWI. Porém, tal distinção encontra-se sujeita a um nível de incerteza muito elevado, pelo que a mesma não faz parte do âmbito deste trabalho, fazendo-se apenas a separação das afluências indevidas em RDII e GWI.

A infiltração de base é, por definição, composta apenas por infiltração indireta.

Afluência Pluvial (RDII – *Rainfall Derived Infiltration and Inflow*):

O caudal de afluência pluvial é a porção do hidrograma acima do caudal de tempo seco, presente como resposta à água da chuva ou degelo incidentes numa bacia de drenagem. Segundo ADP (2007), esse caudal advém do escoamento superficial e pode entrar nos coletores domésticos através de:

- Ligações indevidas de coletores pluviais ou ramais de sumidouro da rede pública ou das redes prediais ao sistema separativo doméstico;
- Mistura de caudais pluviais com domésticos nas redes prediais (parcial ou totalmente), sendo estas ligadas ao sistema público separativo doméstico;
- Entrada das águas pluviais através das tampas das câmaras de visita de coletores domésticos;
- Entrada da água de ribeiras em situação de cheia, particularmente através de coletores de descarga de emergência da rede separativa doméstica não equipados com válvulas de retenção, ou em locais em que os coletores domésticos se encontram danificados, devido a obras ou mesmo à ocorrência de inundações.

Tal como se viu anteriormente, a afluência pluvial pode ser de efeito imediato ou retardado, não existindo uma delimitação clara entre as duas. Essa distinção está evidenciada na Figura 3.4.

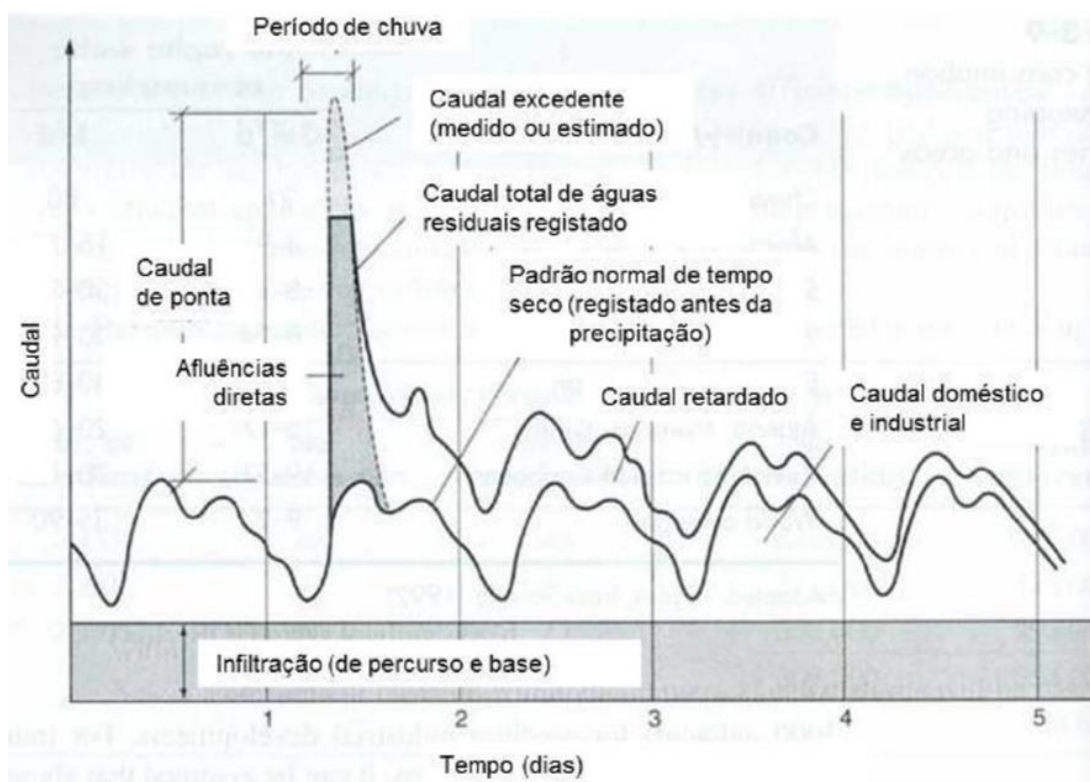


Figura 3.4 – Distinção entre RDII de efeito imediato (afluências diretas) e RDII de efeito retardado (caudal retardado) (BONITO, 2014).

A afluência pluvial imediata é a parcela da afluência pluvial que sofre um rápido aumento após o início do evento de precipitação e sofre uma diminuição abrupta aquando da conclusão do mesmo. O tempo que a afluência pluvial da sub-bacia mais próxima leva a chegar à ETAR pode ser considerado como o tempo decorrido entre o início do evento de precipitação e o acréscimo observado no caudal. A influência da afluência pluvial imediata termina após a conclusão do evento, numa duração aproximadamente igual à do tempo de resposta da afluência pluvial relativa à sub-bacia mais distante (COMMONWEALTH OF MASSACHUSETTS, 1993).

A afluência pluvial retardada é a parcela da afluência pluvial que diminui gradualmente aquando da conclusão do evento de precipitação e após a observação do caudal de ponta de afluência pluvial, o qual é causado por ligações diretas (tubos de queda, tampas de câmaras de visita, sarjetas/sumidouros, etc.) (COMMONWEALTH OF MASSACHUSETTS, 1993). A afluência pluvial retardada tem início quando a afluência pluvial imediata termina e tem como fim a altura em que o caudal de tempo seco é retomado. É de se esperar que uma porção da afluência pluvial retardada contenha afluência pluvial indireta (infiltração com origem pluvial), ou seja, água da chuva que se

infiltra no solo e entra no sistema de forma similar à infiltração de base, e por isso tem um efeito retardado. É por essa razão que o termo anglo-saxónico equivalente à infiltração pluvial se designa por *Rainfall Derived Infiltration and Inflow* (RDII), exatamente por conter essas duas componentes – afluência pluvial indireta (*Rainfall Derived Infiltration*) e afluência pluvial direta (*Rainfall Derived Inflow*).

A afluência pluvial pode ser dominada pela componente de atuação direta, causando picos acentuados que rapidamente voltam ao padrão normal de tempo seco (resultando numa maior contribuição de afluência pluvial imediata) ou pode ser dominada pela componente de atuação indireta, causando picos menores que voltam gradualmente ao padrão normal de tempo seco (resultando numa maior contribuição de afluência pluvial retardada).

3.3 CAUSAS E IMPACTOS DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Segundo ADP (2007), um dos aspetos mais relevantes para o caudal de infiltração é o nível freático e as condições de execução das tubagens. Em igualdade de circunstâncias, é expectável que a rede de coletores em “baixa” dê origem a uma maior afluência de caudais de infiltração, devido à maior extensão total de ramais e coletores quando comparada com a extensão de interceptores e emissários. Porém, existem situações em que o nível freático na parte da rede em “alta” é significativamente superior, por se encontrarem a cotas inferiores e mais próximos das linhas de água, o que faz com que, por vezes, os níveis de infiltração sejam superiores na parte da rede em “alta”.

Em síntese, as afluências indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais dependem dos seguintes fatores (ADP, 2007; AMORIM, 2007; MARQUES e SOUSA, 2011):

- **Pluviosidade:** em condições semelhantes, um sistema de drenagem cuja bacia receba uma maior quantidade de precipitação, apresenta também um maior nível de afluências indevidas, particularmente afluência pluvial;
- **Existência de ligações pluviais às redes de drenagem:** quanto maior for o número de ligações ilegais, maior é o volume de afluência pluvial direta incidente no sistema de drenagem. Estima-se que a sua existência pode contribuir até 70 % ou mais do volume de afluências indevidas (FCM e NRC, 2003);

- **Características hidrogeológicas do solo:** influenciam os níveis de humidade, permeabilidade e compactação do solo envolvente e, conseqüentemente, a quantidade de infiltração de base e afluência pluvial retardada;
- **Posição do nível freático:** quando o nível freático é superior à cota de soleira das tubagens e das câmaras de visita, ocorre infiltração de base através das patologias presentes;
- **Diâmetro, comprimento e material das tubagens:** a vida útil das tubagens depende do respetivo material e a área sujeita à ocorrência de infiltrações aumenta com as suas dimensões;
- **Número de câmaras de visita e suas dimensões:** a área sujeita à ocorrência de infiltrações aumenta com a quantidade e dimensão das câmaras de visita;
- **Qualidade e modo de execução da rede:** um assentamento ou uma montagem deficiente da tubagem e dos seus acessórios pode originar fendas não visíveis, pontos frágeis e a torção ou deslocamento das juntas;
- **Estado de conservação e idade da rede:** quanto mais antiga for a rede de drenagem maiores serão as insuficiências ao nível da estanquidade;
- **Frequência de passagem de cargas pesadas sobre tubagem:** a passagem frequente de veículos pesados sobre as tubagens pode danificá-las por esmagamento ou fadiga precoce do material, ao fim de algum tempo.

As afluências indevidas de origem pluvial ou subterrânea podem ter diversas causas, as quais podem ser tipificadas da forma exemplificada no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Causas das aflúências indevidas a um sistema de drenagem de águas residuais (ADP, 2007).

		Origem	
		Afluência Pluvial	Infiltração de Base
Localização	Tubagens	<ul style="list-style-type: none"> - Ligação indevida de coletor pluvial ao colector “separativo” doméstico; - Ligação de coletor unitário ou pseudo-separativo ao coletor “separativo” doméstico; - Ligação indevida de dispositivo de intercepção de águas pluviais (sarjetas de passeio ou sumidouros) à rede de drenagem doméstica; - Existência de descarregadores de “alívio” ou de “segurança”. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fissura ou fenda nas tubagens; - Deformação da tubagem; - Colapso ou rotura da tubagem; - Desgaste originado por ataque químico ou por ação física; - Deslocamento das juntas das tubagens; - “Intrusão” de raízes; - Falta de estanquidade nas juntas das tubagens.
	Ramais/Sistemas Prediais	<ul style="list-style-type: none"> - Ligação indevida de ramal pluvial domiciliário à rede de drenagem doméstica; - Ligação indevida de ramal unitário à rede de drenagem doméstica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ligação indevida de sistemas de drenagem periféricos de água de infiltração provenientes de caves e zonas baixas; - Falta de estanquidade ao longo da tubagem do ramal pluvial e/ou na ligação ao coletor principal doméstico.
	Câmaras de Visita	<ul style="list-style-type: none"> - Tampa danificada; - Tampa ventilada; - Tampa com encaixe defeituoso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de estanquidade nas juntas dos anéis prefabricados; - Falta de estanquidade entre o cone e o corpo da câmara de visita; - Falta de estanquidade das juntas entre blocos de alvenaria ou pedra; - Fissuras e fendas; - Desgaste originado por ataque químico ou por ação física; - Falta de estanquidade na ligação da tubagem à câmara de visita.

Existe, em certos casos, um subdimensionamento das infraestruturas, resultante da subestimação dos caudais baseados em projeções populacionais ou em capitações inadequadas, o que resulta numa redução do período de vida útil do sistema. Noutros casos, existe um sobredimensionamento

das infraestruturas, resultante da sobrestimação dos caudais, o que origina gastos financeiros excessivos (ADP, 2007; COELHO, 2013).

Os caudais em excesso alteram as condições de escoamento e provocam inúmeras patologias que, com o passar do tempo, se alastram e agravam, se não forem submetidas a devida reparação. Dá-se uma redução da capacidade e eficácia das infraestruturas, o que pode conduzir à sua deterioração e diminuição do seu período de vida útil, traduzindo-se em grandes encargos económicos.

A Figura 3.5 sugere a divisão dos impactos das afluências indevidas em cinco níveis diferentes (ambiental, social, económico-financeiro, técnico e de saúde pública).



Figura 3.5 – Dimensões do problema das afluências indevidas (ADP, 2007).

Na sequência de eventos de precipitação intensa ou de longa duração, a afluência pluvial pode causar a entrada em carga dos sistemas de drenagem, constituindo uma das maiores causas de transbordamentos de águas residuais (ou *Sanitary Sewer Overflows* - SSO) não adequadamente tratadas em ruas, edifícios, propriedades públicas ou privadas e outros cursos de água (BENNETT *et al.*, 1999). Este fenómeno origina potenciais riscos de saúde pública e ambientais e custos de manutenção e financeiros (indenizações) associados.

Sumariamente, dos custos associados à existência de afluências indevidas, destacam-se (AMORIM, 2007; COELHO, 2013):

- **Custos técnicos/estruturais:** associados a estudos necessários para detetar as infiltrações, medições *in situ*, redução da afluência direta/indireta e respetivos planos estratégicos. Por vezes designados por custos de capital;
- **Custos de mão-de-obra especializada:** custos à formação de mão-de-obra (ações de formação, etc.);
- **Custos de operação:** habitualmente custos de bombagem e de tratamento, pelo aumento do caudal afluente às instalações. Incluem-se nesta parcela os custos energéticos;
- **Custos de manutenção:** reparação e reabilitação de tubagens ou outros órgãos essenciais.

3.4 PLANO DE MINIMIZAÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Um Plano de Minimização de Afluências Indevidas é um processo com vários passos. Segundo ADP (2007), esses passos podem ser agrupados em quatro fases principais:

- caracterização da situação de partida;
- fixação de metas;
- definição do programa de ação;
- implementação e avaliação do plano.

Na Figura 3.6 estão descritas as quatro fases de abordagem do problema de afluências indevidas e os seus objetivos, por ordem de execução.



Figura 3.6 – Metodologia geral para abordagem do problema. Adaptado de ADP (2007).

A caracterização da situação de partida constitui a fase inicial de qualquer programa de redução e controlo das afluências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais e reveste-se de uma elevada importância, uma vez que uma avaliação errada do problema poderá levar ao estabelecimento incorreto das ações necessárias à respetiva minimização.

Esta fase deve ser constituída por uma avaliação precisa do problema, de forma a dispor-se dos dados para a escolha da metodologia de ação adequada. Esta caracterização tem como objetivo permitir a quantificação do problema das afluências indevidas e a identificação das suas fontes (origem pluvial ou subterrânea), e fornecer dados para definir ações preventivas ou de reabilitação e avaliar o plano de correção a adotar, tendo em conta uma análise de custo-benefício.

Na Figura 3.7 identificam-se as etapas a concluir na fase inicial da caracterização da situação de referência.



Figura 3.7 - Etapas de caracterização e diagnóstico da situação de referência.

Adaptado de ADP (2007).

Após a quantificação do volume de água indevida no sistema de drenagem e da identificação das suas origens e causas, deverão ser fixados os objetivos a cumprir para a sua redução. Neste ponto é necessária a fixação da evolução dos objetivos de redução de aflúências indevidas a curto e médio prazo.

Na definição dos objetivos é necessário ter em conta as condicionantes técnicas, económicas, ambientais e sociais, tendo em conta que a componente económica é quase sempre incontornável. Posteriormente, a partir das condicionantes identificadas, deve-se definir ações e metas que permitam resolver ou minorar os problemas detetados numa perspetiva económica, com as metas de redução a serem estabelecidas em função do investimento que implicam e dos benefícios correspondentes.

Nesta fase, torna-se necessário identificar os fatores externos (sociais, ambientais e físicos) e internos (técnicos, meios humanos, materiais e financeiros), determinar os custos das intervenções a efetuar e os custos do transporte e tratamento das aflúências indevidas (para uma avaliação de custo-benefício) e identificar os métodos de controlo e monitorização de aflúências indevidas (meios e custos), permitindo avaliar os benefícios das ações desenvolvidas e identificar a eventual necessidade de novas medidas.

Na Figura 3.8 identificam-se as principais atividades a desenvolver na fase de fixação de objetivos e metas no controlo de aflúências indevidas.

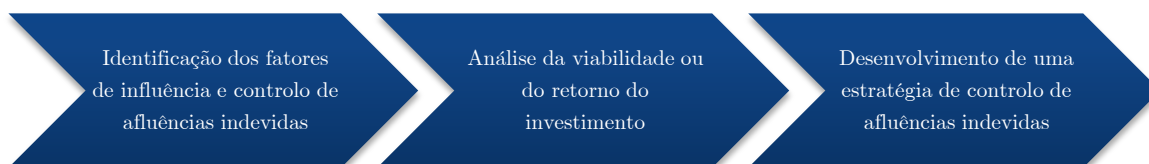


Figura 3.8 - Etapas para a fixação de objetivos e metas. Adaptado de ADP (2007).

Uma vez detetada a ocorrência de aflúências indevidas excessivas, deve ser definida a estratégia para lidar com este problema, estabelecendo quais as medidas apropriadas para o resolver, incluindo a reparação ou a substituição de coletores danificados e a notificação a proprietários da ocorrência, nas suas propriedades, de ligações ilegais ao sistema de drenagem de águas residuais.

Selecionadas as áreas de intervenção prioritárias, tendo quantificado os caudais das aflúências indevidas e identificado as suas origens, procede-se ao estudo de várias alternativas de correção, englobando uma análise comparativa de custos e benefícios para vários cenários. De seguida, deverá ser estruturado o programa de ação para a minimização de aflúências indevidas.

Na Figura 3.9 identificam-se os principais passos a seguir na fase de definição do programa de ação.



Figura 3.9 - Etapas para a definição do programa de ação. Adaptado de ADP (2007).

Enunciadas as principais origens e causas das aflúências indevidas e apresentada a metodologia de implementação de ações para o seu controlo, segue-se a fase de aplicação do plano de acordo com as metas estabelecidas.

Devido às inúmeras variáveis existentes, a implementação do plano não poderá ser normalizada, mas antes adaptada à realidade da entidade gestora. Quanto maior for a especificidade do plano no contexto em que irá ser implementado, mais eficaz será o combate às aflúências indevidas.

As etapas presentes na fase de implementação do plano podem ser esquematizadas de acordo com a Figura 3.10.



Figura 3.10 - Etapas de implementação do plano. Adaptado de ADP (2007).

No âmbito deste estágio foram abordadas, fundamentalmente, algumas das etapas correspondentes à primeira fase do plano. Para além disso, foram tratados alguns elementos da segunda fase, nomeadamente através da avaliação preliminar dos custos de transporte e de tratamento das águas residuais e do nível atual de aflúncias indevidas.

Considera-se de elevada importância que, de futuro, se continue a trabalhar na elaboração do Plano de Minimização de Aflúncias Indevidas.

3.5 INDICADORES DE DESEMPENHO

A utilização de ferramentas como os indicadores de desempenho (ID) permitem avaliar de uma forma quantificada e objetiva os caudais de infiltração e o seu impacto no desempenho dos sistemas de drenagem de águas residuais. Podem, inclusivamente, ser importantes ao nível do acompanhamento do desempenho dos sistemas, com vista ao estabelecimento de medidas proativas de manutenção e reabilitação (ADP, 2007).

No âmbito do projeto APUSS (*Assessing Infiltration on the Performance of Urban Sewer Systems*), propostos por Cardoso *et al.* (2002) e Cardoso *et al.* (2005), e com base em trabalhos de Cardoso (*apud* ADP, 2007, p. 39), apresentam-se os seguintes indicadores específicos para a avaliação do desempenho da entidade gestora relativamente às aflúncias indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais:

- **ID1 = Q_{inf} / Q_{sc} (%)** - Utilização da capacidade da secção cheia (Q_{sc}) pelo caudal de infiltração (Q_{inf}). Esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal de secção cheia do coletor, que representa a sua capacidade. Permite avaliar a percentagem da capacidade do coletor que é utilizada em consequência da ocorrência de infiltração. Neste caso é necessário conhecer a topologia, a geometria e o material do coletor em análise. Este indicador fornece informação sobre o desempenho hidráulico, dando um valor relativo à capacidade do coletor em análise, mas não traduz qualquer informação sobre a quantidade absoluta de infiltração ocorrida.

- **ID2 = $Q_{inf} / Q_{md\ ts}$ (%)** - Proporção do caudal de tempo seco. Esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal médio diário de tempo seco ($Q_{md\ ts}$). 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. Neste caso é necessário conhecer o caudal médio de tempo seco escoado pelo coletor a avaliar, dado obtido através de medições ou por estimativa. Se aplicado ao caudal que chega à ETAR, permite dar informação sobre o peso que o caudal de infiltração pode ter nos gastos do tratamento. Neste caso, além de ser usado em termos de volume pode ser aplicado em termos de percentagem de custos.

- **ID3 = $Q_{inf} / n.^{\circ} CV (m^3/(dia.câmara))$** - Caudal unitário de infiltração por câmara de visita (CV). Esta medida indica o caudal médio de infiltração por câmara de visita. 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 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 setorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o número de câmaras de visita que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador. Em sistemas onde a origem da infiltração ocorra com predominância nas câmaras de visita, este pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.

- **ID4 = $Q_{inf} / L_{coletor} (m^3/(dia.km))$** - Caudal unitário de infiltração por comprimento do coletor ($L_{coletor}$). Esta medida indica o caudal médio de infiltração que ocorre por quilómetro de comprimento do coletor. Este indicador não tem em conta a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. O seu valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), setorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o comprimento total dos coletores que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador. No entanto, em sistemas onde a infiltração ocorra predominantemente ao longo do coletor, pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.

- **ID5 = $Q_{inf} / (L_{coletor} \times P) (m^3/(dia.cm.km))$** - Caudal unitário de infiltração por área de parede do coletor ($L_{coletor} \times P$). Esta medida indica o caudal médio de infiltração em função da área de parede do coletor exposta a possíveis infiltrações. Este indicador não entra em conta com a influência da infiltração nas câmaras de visita nem nas ligações domésticas. O

valor deste indicador pode ser obtido elementarmente (num coletor), setorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o valor total da área longitudinal dos coletores que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador. No entanto, em sistemas onde a infiltração ocorra predominantemente ao longo do coletor, este indicador pode ser importante para avaliar os benefícios de reabilitação.

- **ID6 = $Q_{inf} / N.^{\circ}$ ramais domésticos ($m^3/(\text{dia.ramal})$)** - Caudal unitário de infiltração por ramal doméstico. Esta medida indica o caudal médio de infiltração por ramal doméstico. Na análise deste indicador deve-se ter em conta o comprimento das redes e número de câmaras de visita, para que a influência destas não se sobreponha à influência dos ramais domésticos. Nota-se que este indicador apenas deve ser aplicado nos casos em que se possua informação fiável sobre o número de ramais domésticos.

- **ID7 = $Q_{max\ pluv} / Q_{sc}$ (%)** - Utilização da capacidade da secção cheia pelas aflúncias pluviais. Este indicador avalia a relevância do caudal máximo de origem pluvial ($Q_{max\ pluv}$) que aflui ao coletor, em termos de percentagem em relação à capacidade de transporte dos coletores a secção cheia. O indicador proposto corresponde à razão entre o caudal máximo de origem pluvial afluyente (subtraindo o caudal médio de tempo seco) e o caudal de secção cheia, permitindo avaliar a percentagem da capacidade do coletor que é utilizada em consequência da ocorrência de precipitação.

- **ID8 = $V_{pluv} / V_{md\ ts}$ (%)** - Relação entre o volume de aflúncias pluviais (V_{pluv}) e o volume médio em tempo seco ($V_{md\ ts}$). Este indicador fornece informação sobre a proporção de caudal de origem pluvial (volume de aflúncias pluviais num certo período de tempo) que drena para o coletor doméstico, face ao caudal médio de tempo seco (volume de efluentes domésticos e infiltração, no mesmo intervalo de tempo). Esta razão permite comparar o peso da contribuição do volume de aflúncia pluvial relativamente ao volume médio em tempo seco. Em pequenos sistemas, com muito reduzido valor de $V_{md\ ts}$, há a possibilidade de conduzir a interpretações menos corretas porque pode assumir valores elevados, mesmo para valores reduzidos das aflúncias pluviais. Este indicador está estreitamente dependente da frequência, intensidade e duração dos eventos de precipitação que tenham ocorrido no período de monitorização, pelo que a sua interpretação deverá ser sempre referenciada a um valor médio de intensidade de precipitação e duração de chuvada.

- **ID9 = $V_{pluv} / C.P.A$ (%)** - Relação entre o volume de afluições pluviais e o escoamento direto da bacia, em que: C é o coeficiente de escoamento do método racional (-); A é a área da bacia pluvial (m^2); e P é a precipitação acumulada do evento em estudo (m). Este indicador compara o volume pluvial afluyente ao coletor doméstico num certo período de tempo, com a precipitação útil na bacia monitorizada. O coeficiente C é estimado pelo método racional generalizado, sendo necessário estimar a inclinação média da bacia e a percentagem de área impermeável. Este indicador é determinado para cada evento e corresponde, fundamentalmente, à proporção do escoamento direto da bacia que aflui à rede de drenagem.

- **ID10 = $V_{pluv} / N.^{\circ}$ ramais domésticos ($m^3/(\text{dia.ramal})$)** - Volume de afluições pluviais por ramal doméstico. Este indicador estima o volume pluvial de afluição indevida por ramal doméstico. As ligações dos ramais pluviais e dos tubos de queda aos ramais domésticos e/ou ao sistema de drenagem de águas residuais podem constituir uma das fontes mais relevantes de entrada de afluições pluviais indevidas nas redes de drenagem.

No Quadro 3.2 apresenta-se um resumo dos indicadores propostos e os limites estabelecidos para cada um deles.

Quadro 3.2 - Indicadores propostos e critérios de avaliação (ADP, 2007).

Indicador	Unidades	Prioridades		
		Baixa	Média	Elevada
ID1	%	0 - 25	25 – 50	> 50
ID2	%	0 - 25	25 – 50	> 50
ID3	$m^3/(\text{dia.câmara})$	0 - 2	2 - 4	> 4
ID4	$m^3/(\text{dia.km})$	0 - 40	40 - 80	> 80
ID5	$m^3/(\text{dia.cm.km})$	0 - 2	2 - 4	> 4
ID6	$m^3/(\text{dia.ramal})$	0 – 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
ID7	%	0 - 25	25 - 75	> 75
ID8	%	0 - 25	25 – 50	> 50
ID9	%	0 - 5	5 - 10	> 10

Indicador	Unidades	Prioridades		
		Baixa	Média	Elevada
ID10	m ³ /(dia.ramal)	0 - 50	50 - 100	> 100

3.6 TÉCNICAS E ENSAIOS DE DETEÇÃO DE ANOMALIAS

Grande parte das infraestruturas dos sistemas de drenagem de águas residuais são impossíveis de ser visitadas pelos trabalhadores, visto que constituem espaços confinados com riscos específicos significativos para os mesmos. Assim, a recolha de informação relativa a esses pontos tem vindo a ser progressivamente complementada com outros métodos.

Na gestão dos sistemas de drenagem é importante conhecer as várias ferramentas e técnicas disponíveis, bem como as respetivas capacidades e limitações. Como tal, faz-se um resumo dos principais métodos de inspeção que são, ou podem ser, utilizados para avaliação e diagnóstico do estado das infraestruturas de drenagem de águas residuais e designadamente, para deteção e localização de afluências indevidas.

3.6.1 Ensaio de fumo

Trata-se de uma ferramenta eficiente e de baixo custo para detetar pontos de entrada de afluências pluviais e falta de estanquidade. O funcionamento do ensaio de fumo consiste num injetor de gás visível (não tóxico e mais leve do que o ar) que é colocado numa câmara de visita, juntamente com um ventilador que impulsiona o fumo para o interior do coletor e ao longo do sistema de drenagem a testar. As eventuais roturas ou ligações indevidas existentes são detetadas por visualização dos locais por onde o fumo escapa (ADP, 2007; EPA, 1991).

De forma a garantir uma concentração de fumo suficiente para ser detetável, a zona da rede em análise deve ser previamente isolada do restante sistema por tamponamentos das secções de fronteira. Para confinar o fumo no coletor, pode-se recorrer, por exemplo, ao uso de sacos de areia ou de flanges de borracha, conforme ilustrado na Figura 3.11.

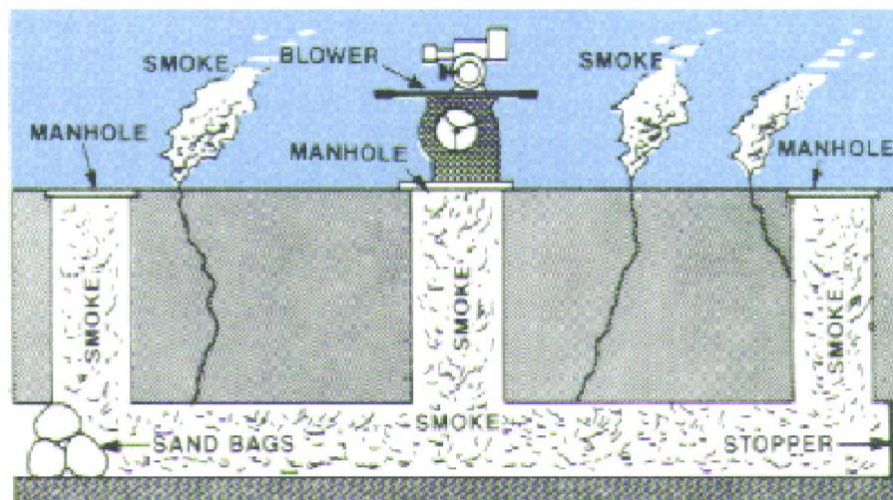


Figura 3.11 – Procedimento de um ensaio de fumo (ADP, 2007).

O ensaio de fumo não deve ser realizado quando o solo está saturado, quando o sistema se encontra em carga ou em dias chuvosos ou ventosos. Estas condicionantes impedem a correta detecção de defeitos no sistema de drenagem com recurso a esta técnica (ASCE e EPA, 2004; EPA, 1991).

3.6.2 Ensaio com traçadores químicos

O método consiste na adição de um corante não tóxico, que se mistura com o efluente, conferindo-lhe uma coloração fluorescente, tornando-se visível nos pontos por onde passa o efluente, permitindo averiguar se a água esteve em contacto com o traçador. Pode aplicar-se na detecção de ligações indevidas de ramais pluviais e/ou de dispositivos de intercepção pluvial (sarjetas e sumidouros), de ligações de coletores pluviais a coletores domésticos ou na detecção de ligações ilegais de ramais domésticos a coletores pluviais (ADP, 2007).

É normalmente utilizado como complemento ao ensaio de fumo, em áreas suspeitas (ASCE e EPA, 2004). No entanto, a aplicação deste procedimento requer gastos excessivos de água, para além de ser um ensaio mais caro e lento, relativamente ao ensaio de fumo (EPA, 1991).

3.6.3 Inspeção visual direta

A inspeção direta é a opção mais comum para identificar deficiências na rede de drenagem. Em sistemas onde é possível a entrada humana (coletores de diâmetros elevados e com alturas de

escoamento reduzidas), a inspeção visual pode ser efetuada por entrada física de operadores da equipa de manutenção ou de uma empresa especializada, permitindo uma análise estrutural das condições do coletor, recolha de registo fotográfico e filmagens, e medições de campo para quantificar o nível de corrosão (ASCE e EPA, 2004).

Mesmo para coletores de diâmetro médio, é possível efetuar inspeções visuais recorrendo à iluminação do seu interior, a partir da superfície ou do interior das câmaras de visita. Embora este tipo de inspeção seja limitada, é considerada rápida e de custo reduzido, podendo ser utilizada para garantir que secções críticas do sistema permanecem com um desempenho adequado (ADP, 2007).

As inspeções visuais às câmaras de visita são realizadas com o intuito de confirmar o cadastro do sistema de drenagem, determinar a condição física das câmaras de visita e registar os defeitos observados, localizando as fontes de afluências indevidas. Com essa informação, torna-se possível estimar os caudais indevidos afluentes a cada câmara de visita, com os quais se pode estabelecer as necessárias medidas de manutenção e de reabilitação (ADP, 2007).

3.6.4 Inspeção CCTV

O recurso a sistemas de CCTV (*Closed-Circuit Television*) é uma das opções mais correntes e utilizadas para a inspeção de redes de drenagem de águas residuais, a par com a inspeção visual. Esta técnica permite efetuar o levantamento do estado de conservação e o registo de eventuais anomalias no interior da tubagem, com recurso à filmagem do interior da rede de drenagem. É normalmente utilizada na sequência de outros ensaios mais baratos que já tenham identificado a existência de problemas, tais como o ensaio de fumo ou o ensaio com traçadores químicos (ASCE e EPA, 2004).

Existem dois tipos de inspeção CCTV: estática e móvel. No primeiro caso, a câmara de vídeo é fixa na câmara de visita, a partir da qual capta imagens do interior do coletor. Neste caso, a capacidade de deteção de deficiências é limitada ao alcance da câmara de vídeo. A inspeção baseada em CCTV estático é frequentemente utilizada no processo de seleção de coletores que deverão ser submetidos a inspeção complementar. Os sistemas de CCTV móveis são os mais utilizados para a inspeção de coletores, porque permitem o movimento da câmara de vídeo, através da utilização de veículo robotizado, tornando possível uma análise mais detalhada (ADP, 2007; BONITO, 2014).

As inspeções CCTV requerem o conhecimento atualizado do cadastro, sendo essencial conhecer o perfil dos troços a inspecionar e a localização exata das câmaras de visita. Em situações em que os coletores se encontrem parcial ou totalmente bloqueados, ou quando a altura de efluente no coletor não permite a obtenção de imagens com qualidade, pode não ser viável a utilização de CCTV. Para além disso, dado que se trata de um processo que depende da visualização das imagens recolhidas, o mesmo torna-se demorado, subjetivo e muito dependente da experiência do técnico encarregue dessa tarefa (ADP, 2007).

3.7 METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Existem vários métodos que podem ser usados para a quantificação das afluências indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais. A escolha de um ou de outro depende, em grande parte, da disponibilidade de um conjunto de dados necessários para a implementação de cada método, mas também do nível de detalhe e rigor que se pretende. Os principais métodos de quantificação existentes são apresentados nos pontos seguintes.

3.7.1 Método da decomposição do hidrograma de águas residuais

Através da medição contínua de caudais feita na ETAR é possível, com a análise de dados adicionais, inferir o volume de afluências indevidas (separado em infiltração de base e afluência pluvial) ao sistema de drenagem. Commonwealth of Massachusetts (1993), FCM e NRC (2003) e EPA (2014) descrevem o método usado para quantificar o volume anual de afluências indevidas a um sistema de drenagem, a partir da medição de caudais e análise de registos horários existentes.

A recolha dos dados necessários relativos aos caudais e as suas diferentes componentes deve ser feita a partir da obtenção dos valores do caudal médio de tempo seco, ou *Average Dry Weather flow* (ADW) e do caudal médio de tempo húmido, ou *Average Wet Weather flow* (AWW). Posteriormente é feita a recolha e análise desses dados.

A análise da infiltração de base (GWI) é realizada através do cálculo do caudal médio de tempo seco (ADW), onde deve ser feita a medição dos caudais num período de 7 a 14 dias em que não se tenham verificado eventos de precipitação nos 7 dias imediatamente anteriores. A medição é realizada durante um período de tempo seco porque, no decorrer do mesmo, a afluência pluvial (RDII) é

considerada inexistente. O caudal médio de tempo seco (ADW) pode ser separado em duas componentes: o caudal residual doméstico (BSF) e a infiltração de base (GWI).

Para a análise da afluência pluvial (RDII) é calculado o caudal médio de tempo húmido (AWW), para o qual deve ser feita a medição dos caudais num período de uma semana em que tenha havido uma quantidade significativa de precipitação. Esta parcela do caudal permite calcular a componente da afluência pluvial (RDII).

O período de tempo seco escolhido para a análise da infiltração de base (GWI) deve preceder imediatamente o período de tempo húmido escolhido para a análise da afluência pluvial (RDII). Esse procedimento é importante porque assim é possível fazer uma comparação entre os dados recolhidos em ambos os períodos, quando as condições de subsolo são similares, permitindo dessa forma uma maior congruência nos resultados.

O cálculo do caudal residual doméstico (BSF) pode ser feito seguindo duas metodologias distintas: através da análise do registo de caudais ou pela análise do registo de consumos domésticos de água. Só é possível realizar esta última análise caso toda a população abrangida pelo sistema de drenagem tenha contadores de água que meçam o seu consumo.

O primeiro método consiste em analisar o registo de caudais na ETAR, durante um período de 7 a 14 dias em tempo seco. É útil escolher-se o período de tempo seco na altura em que os níveis freáticos são mais elevados (em Portugal esse período coincide com o fim do inverno e o início da primavera), visto que dessa forma é possível calcular, adicionalmente, o caudal de ponta de infiltração de base. Através do registo de caudais procede-se ao cálculo do caudal médio diário de tempo seco (ADW). Posteriormente, o caudal residual doméstico (BSF) pode ser obtido subtraindo o caudal médio diário de tempo seco (ADW) pelo caudal de infiltração de base (GWI), cujo método de cálculo é explanado adiante.

O segundo método inclui a análise do registo de consumos domésticos de água, o qual pode ser usado para calcular o caudal residual doméstico (BSF) da população abrangida pelo sistema de drenagem. A melhor altura para calcular o caudal segundo este método é durante o período em que o uso de água no exterior das habitações é reduzido (em Portugal esse período coincide com os meses de inverno), para que se possa assumir que o consumo residual doméstico numa dada área residencial é igual ao consumo de água faturada. O caudal de infiltração de base (GWI) pode ser

obtido pela diferença entre o caudal médio diário de tempo seco (ADW) e o registo de consumos domésticos de água, após aplicação de um fator de afluência.

A infiltração de base (GWI) pode ser calculada, alternativamente, a partir do registo de caudais afluentes à ETAR durante um período de tempo seco em que os níveis freáticos sejam os mais elevados. É conveniente que esse período seja coincidente com o do cálculo do caudal residual doméstico (BSF), no entanto, é mais importante que o registo de caudais seja relativo a um período em que se verifique os níveis freáticos máximos, já que dessa forma é possível, tal como indicado, calcular o caudal de ponta de infiltração de base.

Durante o período em que os níveis freáticos são mais elevados (fim do inverno e início da primavera) a infiltração de base (GWI) atinge o seu pico. Nessa altura, o caudal de infiltração de base pode ser calculado através da média dos caudais noturnos na ETAR (das 00:00 às 06:00), durante vários dias, em tempo seco. Assume-se que os caudais noturnos são maioritariamente infiltração de base (após subtrair-se os caudais noturnos industriais e comerciais que sejam considerados significativos), porque esse intervalo de tempo coincide com o período reservado para o sono da vasta maioria das pessoas e, portanto, o consumo de água por parte das mesmas é virtualmente nulo. Amorim (2007) e FCM e NRC (2003) mencionam valores para a GWI em período noturno de 90 % e 85 % do caudal residual total, respetivamente. Aconselha-se, no entanto, o recurso a estudos locais específicos para cada caso individual, dado que, na realidade, essas percentagens variam consoante o sistema de drenagem.

A afluência pluvial (RDII) representa a influência que o tempo húmido exerce no sistema de drenagem e pode ser calculada subtraindo ao caudal médio de tempo húmido (AWW) as componentes do caudal residual doméstico (BSF) e da infiltração de base (GWI).

O caudal de ponta de afluência pluvial e o volume total de afluência pluvial podem ser calculados através do registo de caudais. O caudal de ponta de afluência pluvial é a maior diferença de caudal, no período de uma hora, existente entre o registo de caudais associado ao evento de precipitação e o registo de caudais associado ao período de tempo seco imediatamente precedente ao início do evento de precipitação. Tal como explicado anteriormente, o volume total de afluência pluvial pode ser repartido em duas componentes: afluência pluvial imediata e afluência pluvial retardada.

Em alguns casos, um segundo evento de precipitação terá início antes que o caudal de tempo seco seja retomado. Quando tal acontece, a afluência pluvial retardada expectável pode ser extrapolada através do registo de caudais recolhido antes do segundo evento.

Com todas as componentes supracitadas torna-se possível avançar com o cálculo das afluências indevidas (I/I), do seguinte modo:

- **Caudal de I/I mensal máximo:** obtém-se subtraindo o caudal residual doméstico (BSF) ao caudal afluente médio mensal máximo;
- **Caudal de I/I anual médio:** obtém-se subtraindo o caudal residual doméstico (BSF) ao caudal afluente anual médio;
- **Volume de I/I anual:** obtém-se multiplicando o caudal de I/I anual médio por 365 dias.

Este foi o método principal escolhido para a obtenção dos resultados pretendidos no caso de estudo. Aponta-se, no entanto, que foram implementadas algumas variações, consoante a particularidade de cada um dos passos indicados.

3.7.2 Métodos gráficos para avaliação de RDII

De seguida apresenta-se uma visão geral dos métodos gráficos disponíveis para estimar a afluência pluvial (RDII) a um sistema de drenagem de águas residuais. Bennett *et al.* (1999) e Ferreira (2014) descrevem sete métodos distintos:

- Método dos rácios característicos (*Constant unit rate*);
- Método das percentagens de volume de precipitação (*R-value*);
- Método de escoamento em linhas de água (*Percentage of stream flow*);
- Método do hidrograma unitário (*Synthetic unit hydrograph*);
- Método probabilístico (*Probabilistic method*);
- Método da correlação precipitação/caudal em linhas de água (*Predictive equations based on synthetic rainfall/flow regression*);

- Método da extrapolação com base em modelos de simulação hidrológica (*Predictive equations based on synthetic stream flow and basin characteristics*).

No Quadro 3.3 faz-se uma descrição resumida de cada método e apresenta-se as suas vantagens e desvantagens.

Quadro 3.3 - Resumo dos diferentes métodos de avaliação das afluências pluviais (RDII).
Adaptado de Ferreira (2014).

Método	Descrição resumida	Vantagens	Desvantagens
Rádios Característicos (<i>Constant unit rate</i>)	Rádios em função das características da zona (por ex. m ³ por mm de precipitação, por unidade de área, m ³ por mm de precipitação por habitante).	Fácil aplicação como o dimensionamento de sistemas de drenagem para eventos de precipitação frequentes e pode ainda ajudar a prever o volume RDII para condições não monitorizadas.	Rádios normalmente não aplicáveis a diferentes áreas. Não permite a representação de variações temporais de instalações de caudais onde o tempo e forma do hidrograma são necessários.
Porcentagem de volume de precipitação (<i>R-Value</i>)	Calcula o volume RDII como uma percentagem fixa do volume de precipitação a montante. Relação entre o volume de RDII verificado num ponto de monitorização da rede e o volume de precipitação verificado na área de influência dessa estação de monitorização.	Fácil de calcular, desde que existam dados suficientes de monitorização e registos de precipitação para aferir a sua relação. Permite a definição de intervalos de variação de afluências para bacias de drenagem com monitorização.	Não permite a representação de variações temporais. Necessária informação de um número representativo de eventos de precipitação. Suposições simplificadas sobre os processos físicos que afetam o volume RDII e a percentagem de RDII que entra no sistema de drenagem.
Porcentagem de escoamento em linhas de água (<i>Percentage of stream flow</i>)	Relação entre dados de caudais de água residual verificados na rede e dados de caudais em linhas de água ou rios existentes na área. Pressupõe a existência de uma boa correlação entre os dois tipos de dados.	Aplicável para dados de caudal disponíveis em bacias hidrográficas calibradas com características semelhantes às da bacia de drenagem.	RDII condicionado por bacias de drenagem de dimensão muito inferior às bacias hidrográficas das linhas de água com dados de monitorização (fatores de escala diferentes).

Método	Descrição resumida	Vantagens	Desvantagens
Hidrograma unitário de aflúências pluviais indevidas (<i>Synthetic unit hydrograph</i>)	Pressupõe que as aflúências pluviais indevidas são influenciadas pela intensidade e duração da precipitação, de forma idêntica aos volumes de água pluvial e que a forma do hidrograma unitário correspondente é função das características da bacia de drenagem.	Com a definição do hidrograma unitário, é possível obter resultados para uma ampla gama de eventos de precipitação por proporção da precipitação e duração da mesma.	Diretamente relacionado com a disponibilidade de dados. Poderão ser necessários vários hidrogramas unitários para a representação dos diferentes componentes que constituem as aflúências pluviais indevidas.
Método probabilístico (<i>Probabilistic method</i>)	Toma por base a análise de frequência dos valores de ponta de caudal de águas residuais a longo prazo utilizando a teoria da probabilidade. Adequado para o estabelecimento de uma relação entre o caudal de ponta RDII e o período de retorno associado.	Boa representação da probabilidade de ocorrência de um determinado valor de pico de RDII.	Não permite a obtenção de um hidrogramas para eventos de precipitação específicos, que apresentem diferentes tipos de bacias de drenagem, idades e impactos sazonais.
Correlação com dados de precipitação/caudal em linhas de água (<i>Predictive equations based on synthetic rainfall/flow regression</i>)	Utilização de correlações lineares múltiplas para obtenção de uma relação entre dados horários de precipitação (ou de caudal em linhas de água) e valores de RDII.	Permite a obtenção de relações representativas (forma e magnitude) para previsão do hidrograma de RDII para determinados valores de precipitação ou de caudal em linhas de água.	Método bastante sensível à qualidade e quantidade dos dados de precipitação ou de caudal usados para a obtenção das relações. Poderão ser necessárias múltiplas relações para representação de eventos de precipitação com características distintas das anteriores.

Método	Descrição resumida	Vantagens	Desvantagens
Extrapolação com base em modelos de simulação hidrológica (<i>Predictive equations based on synthetic stream flow and basin characteristics</i>)	Utilização de regressões múltiplas para correlacionar resultados de um modelo contínuo de simulação hidrológica calibrado para a região em análise (dados diários de escoamento superficial e subsuperficial) e os diferentes componentes dos caudais de água residual (valores diários de infiltração de base e de afluência pluvial).	Aplicação da teoria de simulação hidrológica à geração de RDII. Poderão ser obtidos bons resultados se houver uma boa calibração do modelo.	Apenas justificável se já existir um modelo desenvolvido e calibrado para a região em avaliação

Os registos de caudal e precipitação formam a base para a quantificação da afluência pluvial (RDII) e são, por conseguinte, essenciais para implementar qualquer um dos métodos descritos acima. Dá-se preferência à utilização de dados com maior amplitude temporal. Não obstante, os mesmos devem ser usados criteriosamente no caso das características da rede de drenagem se alterarem de modo significativo.

A escolha do método a seguir deve ser feita após considerar-se cuidadosamente a informação, tempo e pessoal disponíveis, e os próprios objetivos da quantificação de RDII. No entanto, recomenda-se que essa escolha seja feita dando-se uma maior importância à disponibilidade de dados do que à precisão do método (BENNETT *et al.*, 1999).

Para um melhor entendimento da sua aplicabilidade, apresenta-se um resumo dos dados e precisão/utilidade de cada método no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Resumo dos dados e precisão/utilidade dos diferentes métodos de avaliação das
 aflúências pluviais (RDII). Adaptado de Bennett *et al.* (1999).

Método	Requisitos de informação	Quantidade de dados	Rigor dos dados	Precisão do método	Utilidade do método
Rácios Característicos (Constant unit rate)	Caracterização da bacia de drenagem em relação à localização do registo de caudal, através de um ou mais dos seguintes parâmetros: área, utilização dos solos, população, diâmetro/comprimento da tubagem, idade da tubagem.	Baixa, exige um menor número de elementos relativamente a outros métodos.	Baixo, os dados necessitam apenas de ser estimados e usados de forma consistente.	Baixa, requer dados menos precisos do que outros métodos.	Rápida análise da capacidade do sistema de drenagem relativa aos caudais de ponta de tempo húmido hipotéticos.
Porcentagem de volume de precipitação (R-Value)	Um ou mais udómetros razoavelmente representativos das bacias de drenagem; eventos múltiplos de monitorização de precipitação/caudal.	Alta, exige dados de caudal e precipitação para vários eventos.	Médio, exige representação precisa dos volumes nos eventos de precipitação, mas não necessariamente das variações presentes em cada evento.	Média, requer dados menos precisos do que métodos que dependem de variações subtis entre observações para estabelecer tendências usadas no método.	Representação do volume de resposta de RDII aos eventos de precipitação.
Porcentagem de escoamento em linhas de água (Percentage of stream flow)	Dados de escoamento correspondentes no tempo com dados do sistema de drenagem.	Alta, exige dados de escoamento de longo prazo numa bacia hidrográfica análoga à bacia de drenagem.	Baixo, necessita que apenas as bacias completas sejam monitorizadas.	Média, requer dados menos precisos do que métodos que dependem de variações subtis entre observações para estabelecer tendências usadas no método.	Representação do volume de resposta de RDII aos eventos de precipitação.

Método	Requisitos de informação	Quantidade de dados	Rigor dos dados	Precisão do método	Utilidade do método
Hidrograma unitário de afluências pluviais indevidas (Synthetic unit hydrograph)	Parâmetros de escoamento pluvial na área da bacia de drenagem; vários conjuntos de dados de precipitação e correspondentes dados de resposta do caudal do sistema de drenagem.	Média, exige vários eventos de precipitação mas não requer dados contínuos.	Médio, os dados devem representar apenas a forma geral dos hidrogramas e hietogramas.	Alta, se bem calibrado.	Representação completa do hidrograma de RDII para a caracterização do sistema e inserção em modelos hidráulicos.
Método probabilístico (Probablistic method)	Série extensa de registos de caudal contínuos.	Alta, exige dados de caudal consistentes para todos os picos durante um longo período de tempo.	Baixo, necessita que apenas as bacias de drenagem completas sejam monitorizadas.	Baixa, o método depende diretamente dos dados de caudal e como tal não está sujeito aos erros acumulados que ocorrem em extrapolações.	Caracterização dos caudais de ponta de RDII segundo o intervalo de recorrência.
Correlação com dados de precipitação/caudal em linhas de água (Predictive equations based on synthetic rainfall/flow regression)	Dados prolongados de caudal e precipitação em tempo húmido. Os udómetros devem representar razoavelmente a precipitação na área de drenagem dos caudalímetros.	Média.	Alto.	Alta, se os eventos de precipitação forem similares aos eventos para os quais são geradas as equações.	Representação completa do hidrograma de RDII para a caracterização do sistema e inserção em modelos hidráulicos.
Extrapolação com base em modelos de simulação hidrológica (Predictive equations based on synthetic stream flow and basin characteristics)	Programa de simulação hidráulica contínuo e calibrado; registo de precipitação; registo diário de caudal.	Alta.	Médio.	Média.	Representação do volume de resposta de RDII aos eventos de precipitação.

Segundo Bennett *et al.* (1999), a maioria dos métodos supracitados podem ser implementados na modelação hidráulica com recurso a aplicações informáticas. Por exemplo, o SWMM, o MOUSETM e o

HydroWorks™ incluem componentes que estabelecem uma previsão de RDII com base em parâmetros físicos inseridos pelo utilizador. A maioria dessas aplicações tem um ou mais métodos de quantificação de RDII incorporados no seu funcionamento, mesmo que não usem a mesma terminologia para os descrever. Outros exemplos de aplicações são: o XP-SWMM, o SWMM TRANSPORT e o SWMM RUNOFF.

A utilização desses métodos para modelação hidráulica não faz parte do âmbito deste estudo, visto que tal seria bastante moroso, tendo em conta a amplitude do subsistema em análise e as restrições temporais impostas. Reconhece-se que é um trabalho interessante de ser feito futuramente, tendo em conta, porém, que é preciso dispor de uma maior quantidade de informação disponível e de um maior conhecimento de todo o subsistema, face à situação atual.

3.7.3 Método do triângulo

O Método do Triângulo é baseado no método da decomposição do hidrograma de águas residuais. Trata-se de uma metodologia usada na determinação da afluência pluvial (RDII), através do escoamento superficial gerado pela precipitação, e da infiltração de base (GWI) (BONITO, 2014).

Para aplicação do método, é necessário definir o intervalo de tempo em que se pretende estudar a infiltração (normalmente esse período equivale a um ano) e ter acesso a séries de caudais diários totais medidos nos pontos de interesse (*e.g.*, à entrada da ETAR), ao longo desse período (BONITO, 2014; RODRIGUES, 2013). A sua aplicação resulta na construção de um gráfico, no qual as ordenadas correspondem ao caudal diário em percentagem do valor máximo e as abcissas correspondem à percentagem temporal do período considerado. Assim, organizam-se as séries por ordem crescente de grandeza, desprezando-se a ordem cronológica das medições de caudal.

A Figura 3.12 representa um exemplo da aplicação do método do triângulo.

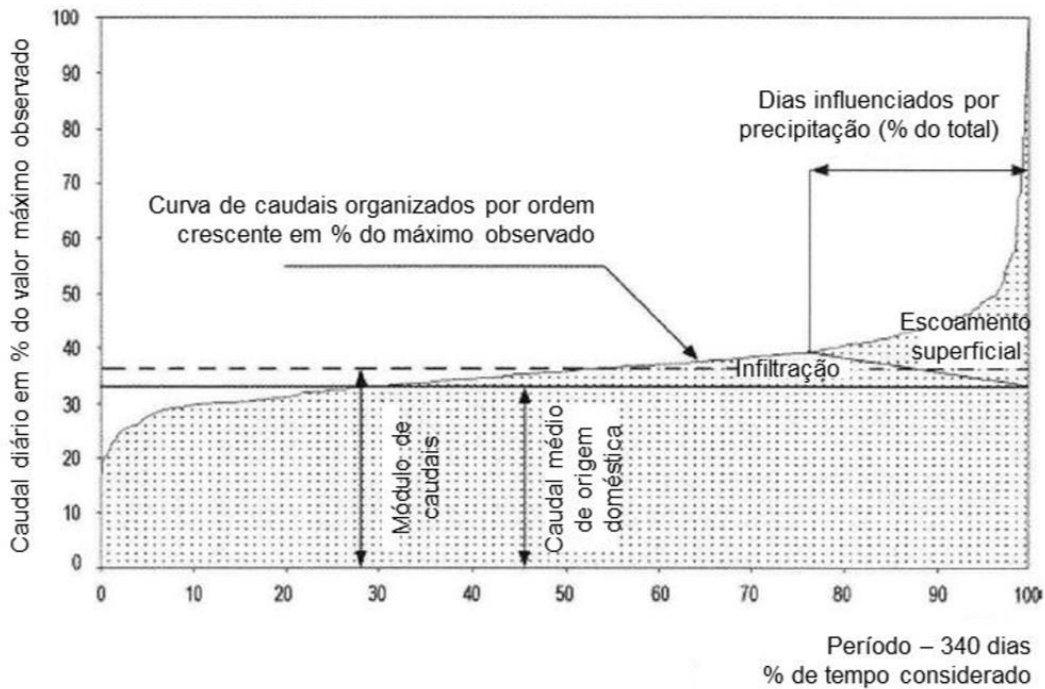


Figura 3.12 – Gráfico resultante da aplicação do método do triângulo na ETAR de Mirandela (AMORIM, 2007).

Torna-se necessária, *a priori*, a determinação do caudal médio de origem doméstica, representado no gráfico pela linha horizontal contínua. Assim, a área delimitada pela curva, abaixo dessa linha horizontal, representa o volume total de água residual de origem doméstica e industrial/comercial.

Para além disso, é necessário quantificar os dias nos quais se verifica a ocorrência de precipitação. O valor daí resultante é usado na construção do gráfico, contabilizando-se a sua percentagem relativamente à totalidade dos dias, da direita para a esquerda. Conceptualmente, considera-se que o ponto de interseção entre o número de dias secos e a curva de caudais divide os caudais de tempo seco (à esquerda do ponto) dos caudais associados a tempo de chuva (à direita). Admitindo que existe uma relação matemática linear, traça-se uma reta entre os dois extremos (RODRIGUES, 2013). Assim, o volume total de GWI corresponde à área delimitada por essa reta, a curva e a reta horizontal do caudal doméstico, enquanto que o volume total de RDII é representado pela área restante.

Este método foi implementado no caso de estudo, como termo de comparação ao método principal adotado.

3.7.4 Método do mínimo móvel

O método do mínimo móvel baseia-se, também, em medições diárias. Assume-se que o caudal de tempo seco é igual ao caudal de água residual total mínimo observado nos dias anteriores. Por consequência, considera-se que deve existir pelo menos um dia de tempo seco no período de tempo escolhido (FRANZ, 2007). O resultado é um hidrograma como o representado na Figura 3.13. É necessário estimar um valor teórico para a componente de águas residuais de origem doméstica, a qual se considera constante na aplicação do método. Subtraindo a média diária de água residual doméstica à média do mínimo móvel obtém-se uma estimativa para o volume total de infiltração de base durante o período de tempo considerado no estudo (MORTINHO, 2011; RODRIGUES, 2013).

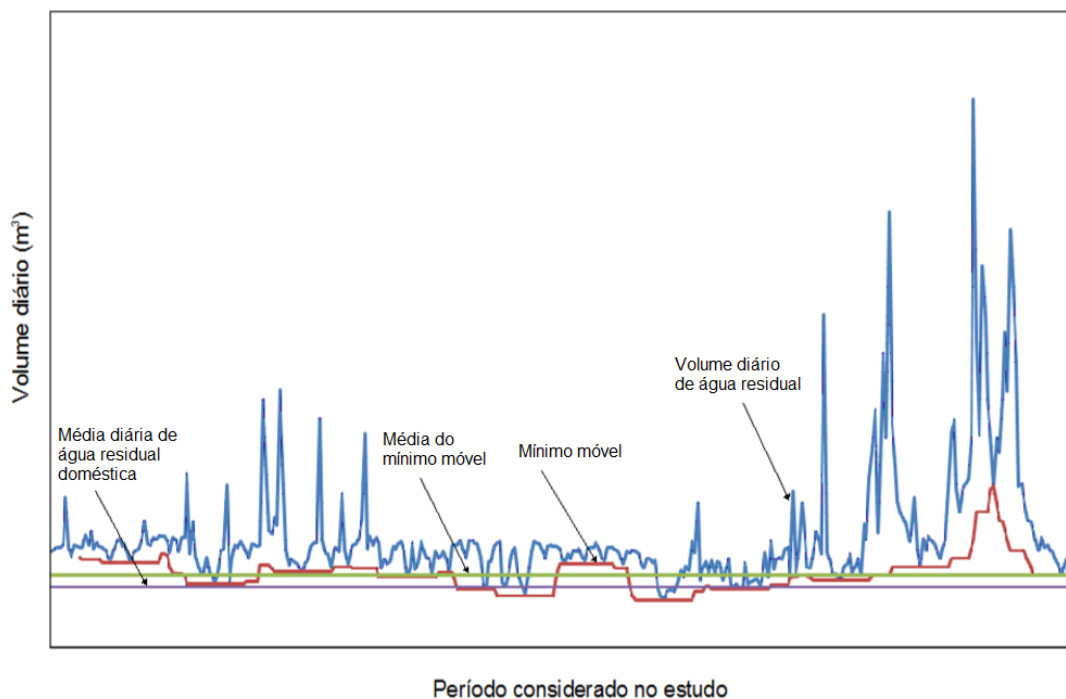


Figura 3.13 – Representação esquemática do método do mínimo móvel.

Adaptado de Mortinho (2011).

O intervalo de tempo representa o tempo de resposta do sistema aos eventos de precipitação anteriores, o qual é refletido no aumento das afluições indevidas. Sendo assim, esse intervalo de tempo filtra o escoamento superficial e permite o isolamento das componentes da água residual de origem doméstica e da infiltração de base. Segundo ATV-DVWK (*apud* FRANZ, 2007, p. 50), a realização de testes mostrou que um intervalo de tempo igual a 21 dias é suficiente para excluir o

escoamento superficial de curta duração. Um período de tempo menor leva a uma sobrestimação do volume de afluições indevidas.

Este método possui a vantagem de permitir a inclusão tanto de períodos de tempo seco como de períodos de tempo húmido, tornando-se desnecessária a escolha de um conjunto de dias de tempo seco como referência. A determinação da variação temporal das afluições indevidas é possível devido à estimativa contínua realizada a uma escala diária (FRANZ, 2007).

Parte deste método foi adotado como complemento ao método principal utilizado no caso de estudo, tendo sido usado como parte constituinte do mesmo. A sua aplicação consistiu na escolha dos caudais mínimos noturnos, a partir da aplicação de mínimos móveis de 21 dias, tal como explicado acima.

3.7.5 Método das séries temporais de cargas poluentes

Neste método, a infiltração de base é determinada através de uma análise combinada de séries temporais de concentrações de Carência Química de Oxigénio (CQO) e do caudal de água residual (MORTINHO, 2011). A exigência básica deste método consiste numa resolução temporal das medições muito elevada, *e.g.*, 2 minutos (FRANZ, 2007).

As afluições indevidas são separadas segundo as suas componentes de infiltração de base e afluição pluvial, expressas segundo a Equação (3.1).

$$Q_{I/I} = Q_{GWI} + Q_{0,RDII} \times e^{-k \times (1-t_0)} \quad (3.1)$$

onde:

$Q_{I/I}$ - caudal de afluições indevidas (GWI + RDII);

Q_{GWI} - caudal de infiltração de base (GWI);

$Q_{0,RDII}$ - caudal de afluição pluvial (RDII) no instante t_0 ;

k - constante de recessão;

t - tempo.

Durante a ocorrência de um dado evento de precipitação, a existência de afluição pluvial é bastante significativa, atingindo o seu máximo após a ocorrência deste. Tal como explicado anteriormente, depois de atingir esse pico, a afluição pluvial começa a diminuir, dando origem a afluição pluvial de

efeito retardado. Assim, a função exponencial que demonstra o seu decréscimo é a seguinte parcela da Equação (3.1): $e^{-k \times (1-t_0)}$.

Uma série temporal para a concentração de CQO pode ser modelada através de medições do caudal total de águas residuais, pela Equação (3.2):

$$C_{CQO, TOTAL, modelo} = ((Q_{TOTAL} - Q_{I/I}) \times C_{CQO, BSF}) / Q_{TOTAL} \quad (3.2)$$

onde:

$C_{CQO, TOTAL, modelo}$ - concentração modelada de CQO, referente ao caudal total de águas residuais;

Q_{TOTAL} - caudal total de águas residuais;

$Q_{I/I}$ - caudal de afluências indevidas;

$C_{CQO, BSF}$ - concentração de CQO referente ao caudal de água residual de origem doméstica e industrial/comercial (sem o caudal de afluências indevidas).

O parâmetro $C_{CQO, BSF}$ pode ser definido como um valor constante ou pode ser expresso como uma função polinomial em função do caudal de água residual de origem doméstica e industrial/comercial ou através de uma função de frequência dependente da altura do dia, de forma a incluir variações diurnas das concentrações de água residual de origem doméstica e industrial/comercial. Ajustando o modelo às séries temporais medidas, os parâmetros desconhecidos de $Q_{I/I}$ podem ser determinados.

Segundo Franz (2007), o método em causa é muito flexível e reflete a dinâmica dos processos de infiltração. Tem em conta os processos de armazenamento natural e de escoamento subsuperficial, ao mesmo tempo que evita as simplificações de outros métodos.

A implementação do método das séries temporais de cargas poluentes foi impossível, no âmbito do presente trabalho, dado que a resolução temporal da concentração de CQO exigida é demasiado elevada, face à resolução dos dados existentes. Considera-se importante que, de futuro, se implemente um sistema que permita a obtenção de um registo de medições com um nível de resolução suficientemente elevado para a execução do método.

3.7.6 Método dos isótopos naturais

No método dos isótopos, proposto por Bénédictis e Bertrand-Krajewski (2005), é usada a razão entre dois isótopos de oxigénio, ^{18}O e ^{16}O . Esta razão, também designada por $\delta^{18}\text{O}$, pode ser calculada por

comparação com o padrão de água que define a composição isotópica da água doce, SMOW (*Standard Mean Oceanic Water*), como mostra a Equação (3.3).

$$(\delta^{18}O)_{amostra} = 1000 \times ((^{18}O/^{16}O)_{amostra} - (^{18}O/^{16}O)_{SMOW}) / (^{18}O/^{16}O)_{SMOW} \quad (3.3)$$

Assume-se que a água proveniente do consumo doméstico e a água da infiltração de base apresentam razões isotópicas $\delta^{18}O$ significativamente diferentes para cada uma delas e constantes, quaisquer que sejam as condições, nas escalas temporal e espacial do estudo. Os isótopos de oxigênio utilizados são insuscetíveis de alterações induzidas por vários fenómenos, tais como diferenças de pH ou variações de temperatura, entre outros. Assim, a razão isotópica pode ser aplicada na estimativa do nível de infiltração de base presente (FRANZ, 2007).

O objetivo passa, então, por usar os isótopos de oxigênio presentes na água da rede como referência para as águas residuais de origem doméstica, e os das águas subterrâneas locais como referência para a infiltração de base (KRACHT *et al.*, 2005). Por essa razão, o método é apenas aplicado em períodos de tempo seco, onde apenas estão presentes essas duas componentes.

Na Figura 3.14 apresenta-se um exemplo da aplicação do método dos isótopos naturais, com a quantificação da razão isotópica $\delta^{18}O$ e posterior decomposição do hidrograma de águas residuais, resultando na representação da componente da água residual (BSF) e da infiltração (GWI). A decomposição do hidrograma torna-se possível após aplicação de um conjunto de fórmulas indicadas por Bénédictis e Bertrand-Krajewski (2005).

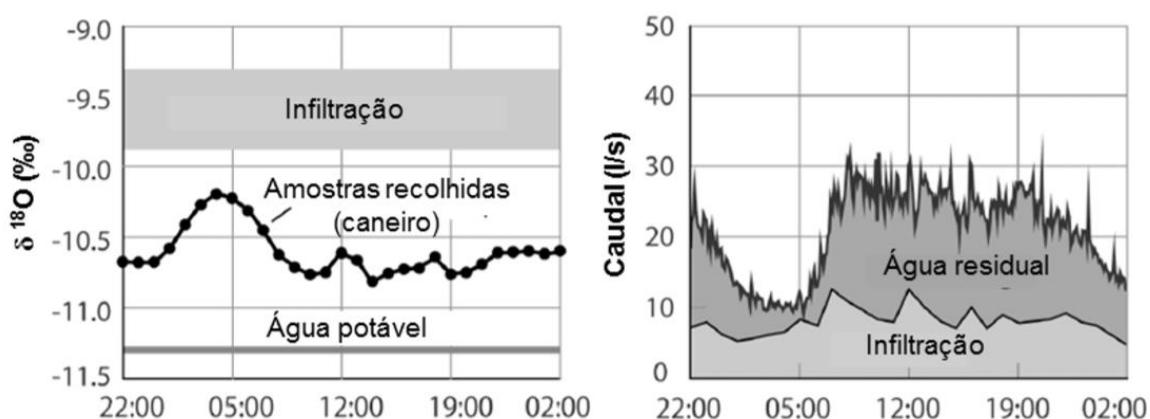


Figura 3.14 – Exemplo da aplicação do método dos isótopos naturais (RODRIGUES, 2013).

Apesar de simples e pouco dispendioso, o método dos isótopos tem uma utilização limitada, podendo apenas ser aplicado em áreas onde as características isotópicas das águas de consumo (BSF) e das águas subterrâneas (GWI) sejam homogêneas, para além de permitir a distinção somente entre essas duas componentes (RODRIGUES, 2013).

No presente trabalho não foi possível implementar este método, devido à inexistência de dados imprescindíveis para a sua aplicação, especificamente, das medições dos isótopos de oxigénio mencionados anteriormente. Seria interessante que, de futuro, se fizessem as medições necessárias para que se tivesse mais um método disponível como termo de comparação.

4 CASO DE ESTUDO

4.1 DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA

O Subsistema de Gaia Litoral é um subsistema de drenagem de águas residuais separativo que recebe um caudal, em tempo seco, maioritariamente proveniente de águas residuais urbanas e/ou industriais e comerciais. Contudo, em tempo húmido, recebe uma quantidade elevada de aflúências indevidas, particularmente, de aflúência pluvial. Isso é claramente visível em eventos de precipitação elevada, quando o caudal observado nas câmaras de visita aumenta drasticamente, em vários locais. O caudal afluyente à ETAR sofre um aumento e o efluente torna-se mais diluído. Em alguns pontos o sistema entra em sobrecarga, sendo possível observar, por vezes, o transbordamento de algumas câmaras de visita (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Transbordamento de uma câmara de visita.

Para além da água da chuva entrar diretamente no sistema pelas câmaras de visita ou através de outros processos, verifica-se a existência de ligações pluviais ilegais. Ademais, é observável a

existência de vários detritos em alguns pontos do sistema, o que por vezes provoca o bloqueio do efluente, contribuindo também para as situações de sobrecarga e/ou transbordamentos.

4.2 RECOLHA DA INFORMAÇÃO

A recolha da informação foi realizada durante um período inicial do estágio. Para além disso, sempre que se considerou necessária a obtenção de um novo conjunto de dados, a mesma fez-se gradualmente, consoante essa necessidade. Todos os dados mencionados abaixo encontram-se no Anexo A.

A recolha de informação inicial resultou na compilação de um conjunto de dados, fornecidos pela SIMDOURO, referentes ao registo do caudal diário afluente à ETAR de Gaia Litoral (do ano 2014), cuja medição é efetuada em canal *Parshall*, e aos resultados analíticos internos, os quais dizem respeito às análises laboratoriais feitas ao efluente que chega à ETAR (do ano 2014). Os resultados analíticos internos contêm dados referentes a uma série de parâmetros que servem para caracterizar o efluente, nomeadamente o potencial de hidrogénio (pH), os sólidos suspensos totais (SST), os sólidos suspensos voláteis (SSV), a carência química de oxigénio (CQO), a carência bioquímica de oxigénio aos 5 dias (CBO₅), o fosfato (P-PO₄), o azoto total (N Total), o amónio (N-NH₄) e o nitrato (N-NO₃).

Adicionalmente, foi criada uma base de dados com várias características referentes a cinco dos interceptores pertencentes ao Subsistema de Gaia Litoral – Ateães, Madalena, Valadares, Canelas e Espírito Santo – com base numa análise ao nível da inspeção visual e do levantamento topográfico. Essa análise, efetuada pela SIMDOURO, incluiu somente os interceptores referidos e permitiu obter um conjunto de dados diversos relativos aos troços em análise, às coordenadas e localização das câmaras de visita, quantidade e tipo de ligações existentes, patologias existentes, entre outras características que permitiram apresentar o estado geral de cada câmara de visita e fazer uma caracterização mais pormenorizada da rede em “alta”.

Inicialmente foi também atempada a recolha do registo de consumos domésticos de água relativo às populações servidas pelo Subsistema de Gaia Litoral, para que mais tarde se pudesse proceder à análise das várias componentes do caudal afluente e, por fim, estimar o volume de afluências indevidas. Porém, a obtenção desses dados revelou-se particularmente difícil e eventualmente morosa. Por essa razão, na indisponibilidade de alguns dados, optou-se também pela utilização de

dados teóricos, recorrendo à literatura da especialidade. Para esse efeito reuniram-se dados, fornecidos pela SIMDOURO, que dizem respeito à população residente nas várias freguesias do Concelho, com base nos censos de 2001, e de uma série de projeções relativas aos valores das capitações, nível de atendimento na baixa, adesão da população à rede em baixa e ao caudal doméstico e industrial/comercial.

Para além disso, em falta de um udómetro ou sistema semelhante que permitisse a medição contínua da precipitação na área de influência da ETAR, tentou-se reunir valores da precipitação na área em estudo, pertencentes ao sítio da internet do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Contudo, também não foi possível obter esses dados durante o decorrer do estágio, pelo que se optou pela utilização dos dados de precipitação retirados do sítio da internet do Windguru (relativos à zona de Gaia-Canidelo e ao ano de 2014). Este fornece um conjunto de previsões baseadas no modelo meteorológico GFS 27 km, o qual oferece uma previsão acumulada de 3 em 3 horas (WINDGURU, 2015). De futuro, seria interessante cruzar estes dados com os do IPMA de forma a validar a sua utilização.

É importante referir que a monitorização do caudal afluente oferece uma estimativa do caudal presente no sistema de drenagem, e não uma quantificação exata do mesmo. Os medidores de caudal funcionam tipicamente através da medição indireta do caudal, medindo diretamente outros parâmetros, como a profundidade da lâmina de água e a sua velocidade. O cálculo do caudal é feito posteriormente, utilizando uma combinação desses parâmetros e outras suposições. Por conseguinte, é natural que o registo de caudal contenha uma parcela de erro associada, mesmo após calibração cuidada dos dados (BENNETT *et al.*, 1999).

Tal como a informação relativa ao caudal, os registos de precipitação também se encontram sujeitos a erros. Mesmo quando se usam instrumentos de medição altamente precisos, continua a existir uma série de causas que geralmente afetam a qualidade dos registos de precipitação. Segundo Bennett *et al.* (1999), as seguintes fontes de erro poderão estar presentes:

- Distância do ponto de medição até à bacia de drenagem, que pode resultar numa má representação da precipitação incidente no sistema de drenagem;
- Localização do udómetro, que pode fazer com que muita da precipitação não seja capturada pelo recipiente;

- Diferenças de altitude, que podem resultar em diferentes níveis de precipitação experienciados pelo ponto de medição e pela bacia de drenagem;
- Ventos fortes, que podem originar um efeito Venturi sobre o udómetro, fazendo com que seja capturada menos precipitação do que a que realmente incidiu nas superfícies próximas (este impacto pode ser minimizado com proteções adequadas);
- Congelamento do udómetro, o que pode resultar em medições erróneas em temperaturas negativas (este impacto pode ser minimizado com o uso de aquecedores).

Considerando que o registo de precipitação usado é constituído por um conjunto de previsões incidentes sobre a área de Gaia-Canidelo, e sabendo que a área de influência do Subsistema de Gaia Litoral se expande além desse ponto de medição, há que ter em conta todos estes fatores na análise da informação existente. Estes motivos podem explicar algumas das imperfeições posteriores da análise deste trabalho, mas reconhece-se que a utilização destes dados constitui uma base de partida, contribuindo para uma modelação preliminar do subsistema estudado.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA REDE EM “ALTA”

Tal como referido, os dados existentes relativos ao Subsistema de Gaia Litoral incidem sobre cinco dos seus intercetores (Ateães, Madalena, Valadares, Canelas e Espírito Santo), cujas bacias de drenagem se apresentam na Figura 4.2. A bacia de drenagem do intercetor de Ateães cobre uma área de 1,64 km², o da Madalena 7,36 km², o de Valadares 11,01 km², o de Canelas 8,69 km² e o de Espírito Santo 6,46 km². Existem 69 câmaras de visita ao longo do intercetor de Ateães, 193 no da Madalena, 265 no de Valadares, 158 no de Canelas e 117 pertencentes ao intercetor de Espírito Santo.

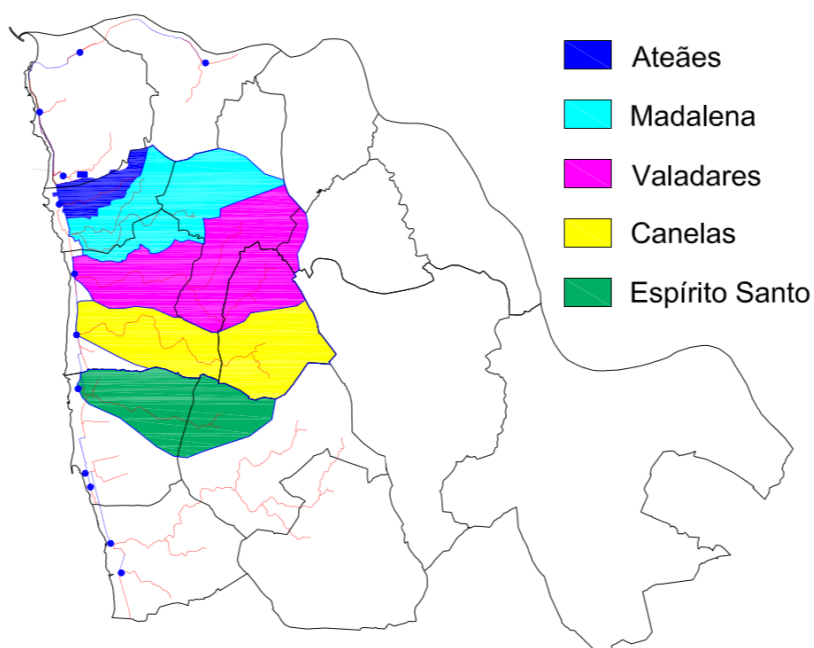


Figura 4.2 - Bacias de drenagem dos interceptores analisados.

Assinalam-se algumas incongruências nos resultados provenientes da inspeção, nomeadamente, a quantidade díspar de alguns elementos, a qual se deve à inexistência de dados relativos a certos locais ou troços. Isso deve-se, por outro lado, à impossibilidade da análise de certos elementos da parte do subsistema em análise, quer pela dificuldade em encontrar algumas das câmaras de visita existentes, quer por algumas delas estarem enterradas. Dá-se como exemplo a percentagem do total de câmaras de visita (presente nos quadros abaixo), que nem sempre resulta numa soma igual a 100 %. Isso deve-se à inexistência de dados suficientes relativos a algumas das câmaras de visita.

Na análise efetuada pela SIMDOURO foram inspecionadas 808 câmaras de visita, numa extensão total de 31.973,4 m. O material das tubagens existentes entre as câmaras de visita é listado no Quadro 4.1, dividindo-se em Ferro Fundido Dúctil (FFD) e Policloreto de Vinil (PVC).

Quadro 4.1 - Material das tubagens.

FFD		PVC	
Quantidade	% do total das CV	Quantidade	% do total das CV
253	31,31	391	48,39

As câmaras de visita encontram-se em vários tipos de localização. Na sua grande maioria situam-se em locais privados ou arruamentos (Quadro 4.2).

Quadro 4.2 - Localização das câmaras de visita.

Tipo de localização	Quantidade	% do total das CV
Privado	415	51,36
Arruamento	230	28,47
Leito do rio	2	0,25
Passeio	6	0,74
Ribeiro	4	0,5
Passagem inferior	2	0,25
Estação elevatória	2	0,25
Parque	3	0,37
Σ	664	82,19

A maioria das câmaras de visita apresenta uma boa acessibilidade (Quadro 4.3), sendo que um número reduzido necessita de desmatação para que sejam acedidas.

Quadro 4.3 - Acessibilidade das câmaras de visita.

Acessibilidade	Quantidade	% do total das CV
Boa	140	17,33
Média	9	1,11
Má	10	1,24
Σ	159	19,68

O tipo de pavimento em que se encontram as câmaras de visita é da mais variada tipologia, estando a maioria delas inserida em terreno florestal (Quadro 4.4). Quando as câmaras de visita se encontram em pavimento com uma maior cobertura vegetal (florestal, agrícola, etc.) e as tubagens se encontram sob esse tipo de solo, o nível freático pode ser mais elevado. Nessas zonas, pode ocorrer um maior nível de infiltrações, visto que existe uma maior probabilidade das tubagens e parte das câmaras de visita estarem em contacto com a água presente no lençol freático. Para além

disso, são locais mais propícios à existência de raízes, que podem representar problemas adicionais ao nível de infiltrações.

Quadro 4.4 - Tipo de pavimento em que se inserem as câmaras de visita.

Tipo de pavimento	Quantidade	% do total das CV
Agrícola	92	11,39
Florestal	294	36,39
Cubo	73	9,03
Betuminoso	145	17,95
Terra batida	24	2,97
Leito do rio	2	0,25
Jardim	9	1,11
Betão	14	1,73
Σ	653	80,82

Relativamente ao número e tipo de ligações existentes, para além das ligações de interceptor com interceptor, foram encontrados dois tipos de ligações a redes em baixa – Rb (ligação intermédia - coletor) e Rm (ligação direta à habitação – ramal de ligação). Essas ligações estão quantificadas no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Redes em baixa existentes.

Tipo de rede	Quantidade	% do total das CV	% do total das redes em baixa
Rb	91	11,26	30,64
Rm	206	25,5	69,36
Σ	297	36,76	100

As câmaras de visita podem ser categorizadas em três tipos quanto à forma de implementação no pavimento – elevada, à face ou enterrada (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 - Tipos de câmara de visita quanto à forma de implementação.

Tipo	Quantidade	% do total das CV
Elevada	400	49,5
À face	296	36,63
Enterrada	7	0,87
Σ	703	87

Na Figura 4.3 dão-se exemplos para cada tipo de câmara de visita, quanto à sua forma de implementação.



Figura 4.3 - Exemplo de uma câmara de visita elevada (esquerda), à face (centro) e a marcação de uma câmara de visita enterrada (direita).

Como se pode observar no Quadro 4.6, grande parte das câmaras de visita são do tipo elevada, o que pode potencialmente representar um problema ao nível de uma maior quantidade de infiltrações, através de eventuais fissuras ou até mesmo aberturas de maior dimensão na parte visível da câmara de visita, que podem ocorrer com maior facilidade quando existe essa configuração. Isso pode acontecer porque, em primeiro lugar, a própria configuração da câmara de visita faz com que a mesma tenha uma maior altura do que teria se fosse do tipo à face ou enterrada, o que faz com que exista, em comparação, uma maior área potencial por onde podem ocorrer infiltrações. Em segundo lugar, o facto de parte da câmara de visita estar no exterior faz com que a mesma esteja mais suscetível a danos infligidos de várias maneiras, os quais podem abrir fissuras ou outro tipo de aberturas, facilitando a entrada de outras águas (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Abertura no corpo de uma câmara de visita do tipo elevada.

A vasta maioria das câmaras de visita tem forma circular, revestimento interior em ceresite e o material de fabrico são os anéis prefabricados. Isto pode implicar um problema adicional ao nível das infiltrações, porque a utilização de anéis prefabricados pressupõe a existência de juntas no corpo da câmara de visita. Por si só, isso origina, em vários casos, locais adicionais por onde se dá a infiltração de água direta ou indiretamente através de raízes, as quais se podem alojar no interior da câmara de visita, tendo como ponto de entrada essas juntas. Caso a câmara de visita seja em betão armado *in situ*, por exemplo, esse problema torna-se inexistente, dado que as próprias juntas deixam de existir.

Quase todas as tampas das câmaras de visita são em metal. Porém, existe um número reduzido de casos em que essa tampa é inexistente e foi substituída por uma tampa em betão (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Exemplo de uma câmara de visita com tampa em betão.

Praticamente todas as escadas no interior das câmaras de visita são em ferro ou com o compósito Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV). A maioria é do tipo ferradura ou degraus (Quadro 4.7). Na zona de ligação das escadas ao corpo da câmara de visita pode dar-se o risco de ocorrer infiltrações devido a uma implementação descuidada. Caso a escada esteja cravada na totalidade da espessura do betão do corpo da câmara de visita, desde o seu interior até ao exterior, com o tempo podem abrir-se fissuras através das fixações, as quais também permitem a entrada da água.

Quadro 4.7 - Tipo e material das escadas no interior das câmaras de visita.

	Material			Tipo		
	Ferro	PRFV	Aço Inox	Ferradura	Corrida	Degraus
Quantidade	237	58	1	456	1	164
% do total das CV	29,33	7,18	0,12	56,44	0,12	20,3

Foi identificada uma série de patologias em várias partes constituintes das câmaras de visita, nomeadamente, na tampa, no corpo e no fundo das câmaras de visita.

A grande maioria das patologias presentes nas tampas das câmaras de visita são relativas à falta do fecho (Figura 4.6).

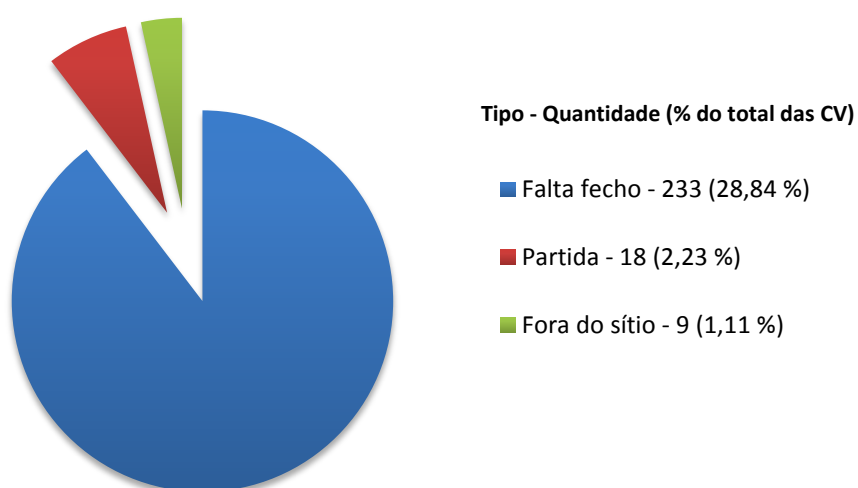


Figura 4.6 – Patologias existentes nas tampas das câmaras de visita.

Na Figura 4.7 apresenta-se um exemplo de uma câmara de visita com a tampa partida.



Figura 4.7 - Exemplo de uma câmara de visita com a tampa partida.

Através da Figura 4.8, é possível concluir que as patologias relativas ao revestimento do corpo das câmaras de visita distribuem-se, essencialmente, por casos em que o revestimento está descascado ou apresenta fissuras.

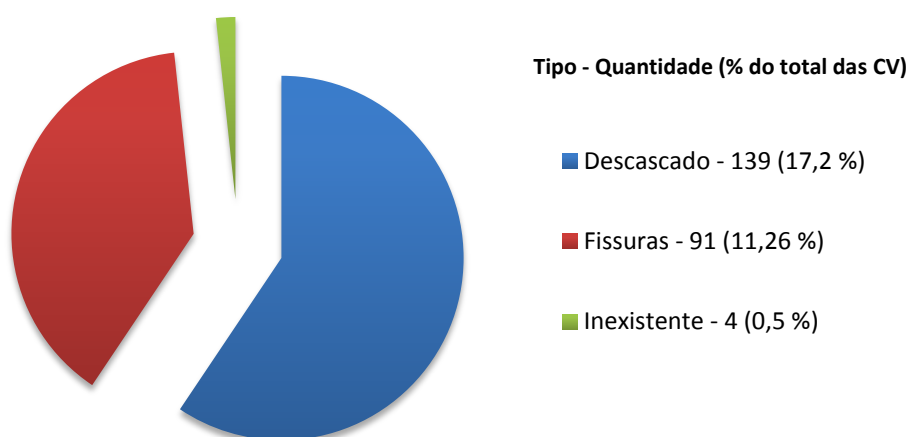


Figura 4.8 – Patologias existentes no revestimento do corpo das câmaras de visita.

A Figura 4.9 apresenta o corpo de uma câmara de visita com o revestimento fissurado.



Figura 4.9 - Exemplo de uma câmara de visita com o revestimento fissurado.

As patologias no betão presente no corpo das câmaras de visita são, na sua maioria, relativas a fissuras, ainda que exista um número considerável de casos em que se podem observar problemas nas juntas ou armaduras à vista (Figura 4.10).

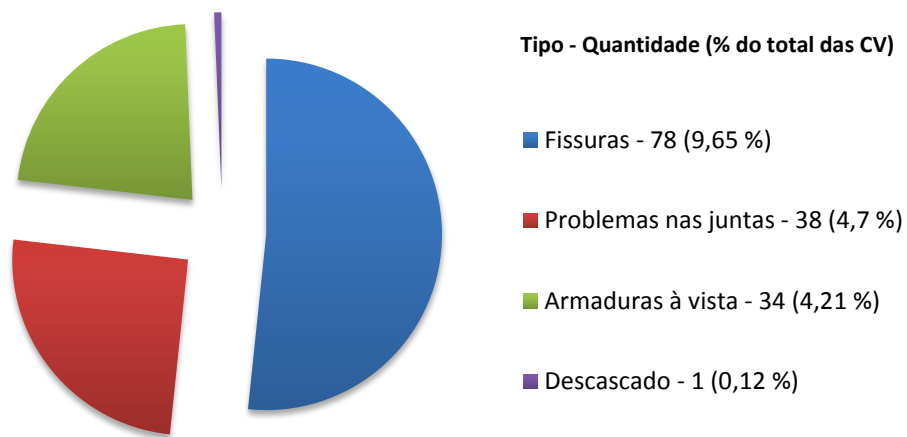


Figura 4.10 – Patologias existentes no betão do corpo das câmaras de visita.

Na Figura 4.11 observa-se uma câmara de visita com o betão fissurado, enquanto que na Figura 4.12 apresenta-se uma câmara de visita com problemas nas juntas.



Figura 4.11 - Exemplo de uma câmara de visita com o betão fissurado.



Figura 4.12 - Exemplo de uma câmara de visita com problemas nas juntas.

A vasta maioria das patologias presentes nas escadas das câmaras de visita são relativas à sua corrosão (Figura 4.13). Existe, para além disso, um número mais reduzido de casos em que não existem escadas.

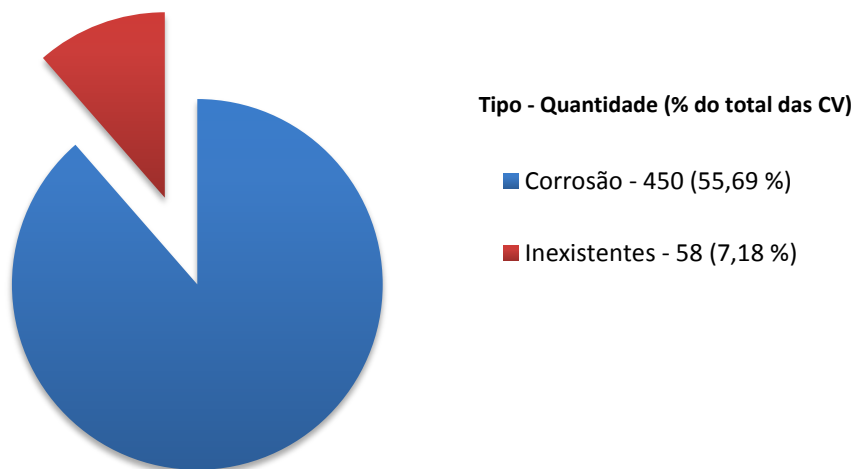


Figura 4.13 – Patologias existentes nas escadas das câmaras de visita.

A maior parte das patologias presentes no fundo das câmaras de visita são devidas à zona do encaixe partida, com alguns casos de ligações partidas ou esmagadas (Figura 4.14).

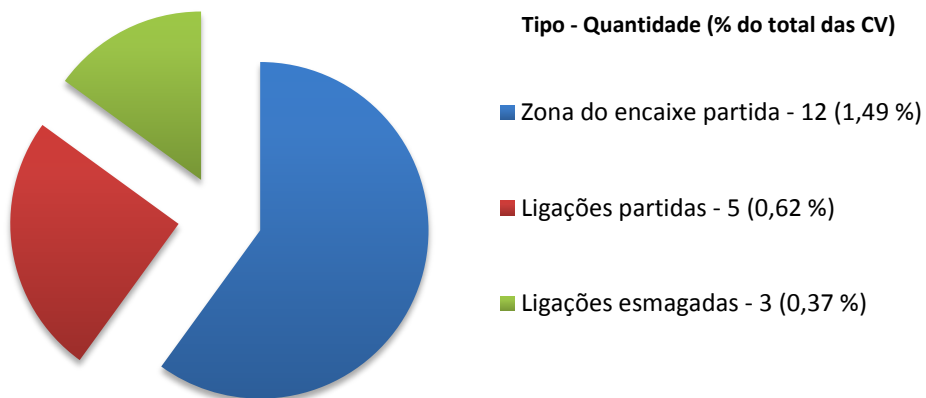


Figura 4.14 – Patologias existentes no fundo das câmaras de visita.

Para além dessas patologias, foi identificado um conjunto de problemas associados a vários fatores, tais como infiltrações, detritos, espumas, cheiros, acessibilidade e raízes (Figura 4.15).

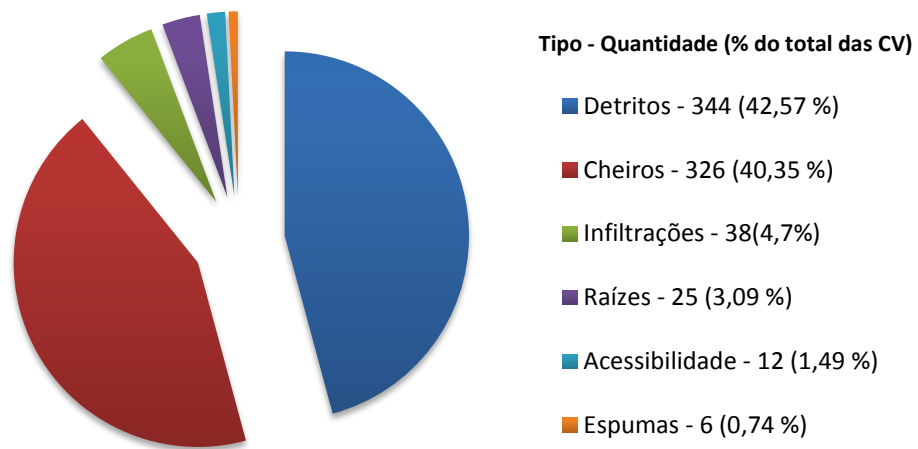


Figura 4.15 – Problemas gerais existentes nas câmaras de visita.

Na Figura 4.16 apresenta-se um exemplo de uma câmara de visita com presença de raízes nas juntas, e na Figura 4.17, uma câmara de visita com raízes presentes em todo o seu interior.



Figura 4.16 - Exemplo de uma câmara de visita com raízes nas juntas.



Figura 4.17 - Exemplo de uma câmara de visita com raízes em todo o seu interior.

Na Figura 4.18 pode observar-se uma câmara de visita com a ocorrência de infiltrações através das fissuras presentes no betão, e na Figura 4.19, uma câmara de visita com infiltrações através das raízes presentes no seu interior.



Figura 4.18 - Exemplo de uma câmara de visita com infiltrações pela fissura no betão.



Figura 4.19 - Exemplo de uma câmara de visita com infiltrações pelas raízes.

A junção de todos os elementos acima descritos permitiu atribuir uma classificação representativa do estado geral de cada câmara de visita igual a “bom”, “médio” ou “mau” (Figura 4.20). Essa avaliação foi realizada com base na quantidade e gravidade das patologias e problemas associados a cada câmara de visita.

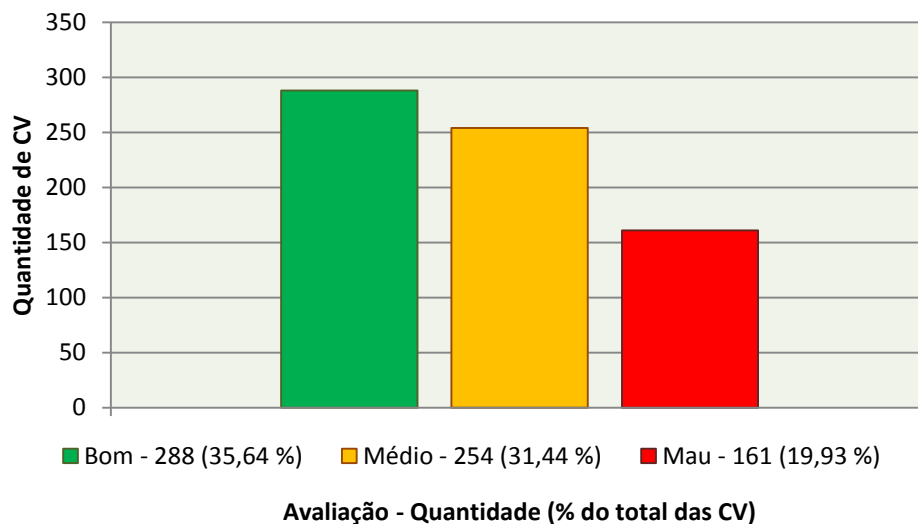


Figura 4.20 – Avaliação do estado geral das câmaras de visita.

No Quadro 4.8 separa-se essa avaliação por cada um dos interceptores analisados, o que possibilita deduzir quais os interceptores com maior necessidade de intervenção nas câmaras de visita.

Quadro 4.8 – Avaliação do estado geral das câmaras de visita repartida pelos cinco interceteores analisados.

	Quantidade			% do total das CV		
	Bom	Médio	Mau	Bom	Médio	Mau
Ateães	26	10	22	3,22 %	1,24 %	2,72 %
Madalena	156	12	5	19,31 %	1,49 %	0,62 %
Valadares	73	110	49	9,03 %	13,61 %	6,06 %
Canelas	10	59	70	1,24 %	7,3 %	8,66 %
Espírito Santo	23	63	15	2,85 %	7,8 %	1,86 %

Nota-se que o interceteor de Canelas parece ser o que está em pior condições, relativamente ao estado geral das câmaras de visita. Em relação à condição das tubagens, não existem dados concretos. Para isso, seria necessário recorrer a outros métodos, tais como o ensaio de fumo ou a análise CCTV, para que se adquirisse uma noção clara da natureza e localização das patologias presentes nas tubagens.

4.4 CAPACIDADE HIDRÁULICA

Tendo em conta a informação insuficiente no que diz respeito aos dados de projeto, nomeadamente em relação aos caudais, inclinações e diâmetros, realizou-se uma análise da capacidade hidráulica dos troços pertencentes aos interceteores em estudo.

O Artigo 133.º do RGSPDADAR refere que, nos coletores de águas residuais, a altura da lâmina líquida não deve exceder 0,5 da altura total para diâmetros iguais ou inferiores a 500 mm e 0,75 para diâmetros superiores a este valor, no dimensionamento hidráulico-sanitário. Tendo em conta estas restrições, calcula-se o caudal máximo regulamentar para cada troço, recorrendo à fórmula de Manning-Strickler, na Equação (4.1).

$$Q = A \times K_s \times R h^{2/3} \times i^{1/2} \quad (4.1)$$

onde:

Q – caudal máximo regulamentar (m³/s);

A – área da secção do escoamento ou área molhada (m²);

Ks – coeficiente de rugosidade ($m^{1/3}/s$);

Rh – raio hidráulico (m);

i – inclinação da conduta (-).

Nos cálculos (apresentados no Anexo B) foram usados os valores do coeficiente de rugosidade (Ks) indicados por Marques e Sousa (2011, p. 420), igual a $110 m^{1/3}/s$ para as condutas em PVC e $70 m^{1/3}/s$ para as condutas em FFD.

No Quadro 4.9 estão quantificados os troços dos intercetores segundo o tipo de informação extraída da análise. Para além do caudal máximo regulamentar, estão discriminados os troços sem informação suficiente e os troços com inclinação nula ou negativa.

Quadro 4.9 – Quantificação de troços resultante da análise da capacidade hidráulica.

		Intercetores				
		Ateães	Madalena	Valadares	Canelas	Espírito Santo
Caudal máximo regulamentar (l/s)	]0,50]	13	26	38	11	37
	]50,100]	33	26	58	26	28
	]100,150]	7	20	40	24	11
	]150,200]	1	17	24	14	2
	]200,250]	-	14	18	15	3
	]250,300]	-	9	6	3	-
	]300,350]	-	3	7	6	-
	]350,400]	-	8	5	2	1
	]400,450]	-	6	4	1	-
	]450,500]	-	6	1	1	1
	]500,600]	-	1	4	1	-
	]600,700]	-	2	1	-	-
	]700,800]	-	1	-	-	-
	]800,900]	-	1	-	-	-
	]900,1000]	-	1	-	-	1
	> 1000	-	6	-	-	-
	i. nula ou negativa	1	14	5	18	4
s/ informação	13	34	54	35	28	

A Figura 4.21 apresenta o resultado final da análise efetuada aos intercetores de Ateães e da Madalena. O resultado relativo ao interceptor de Valadares está visível na Figura 4.22, enquanto que o resultado dos intercetores de Canelas e de Espírito Santo está presente na Figura 4.23.

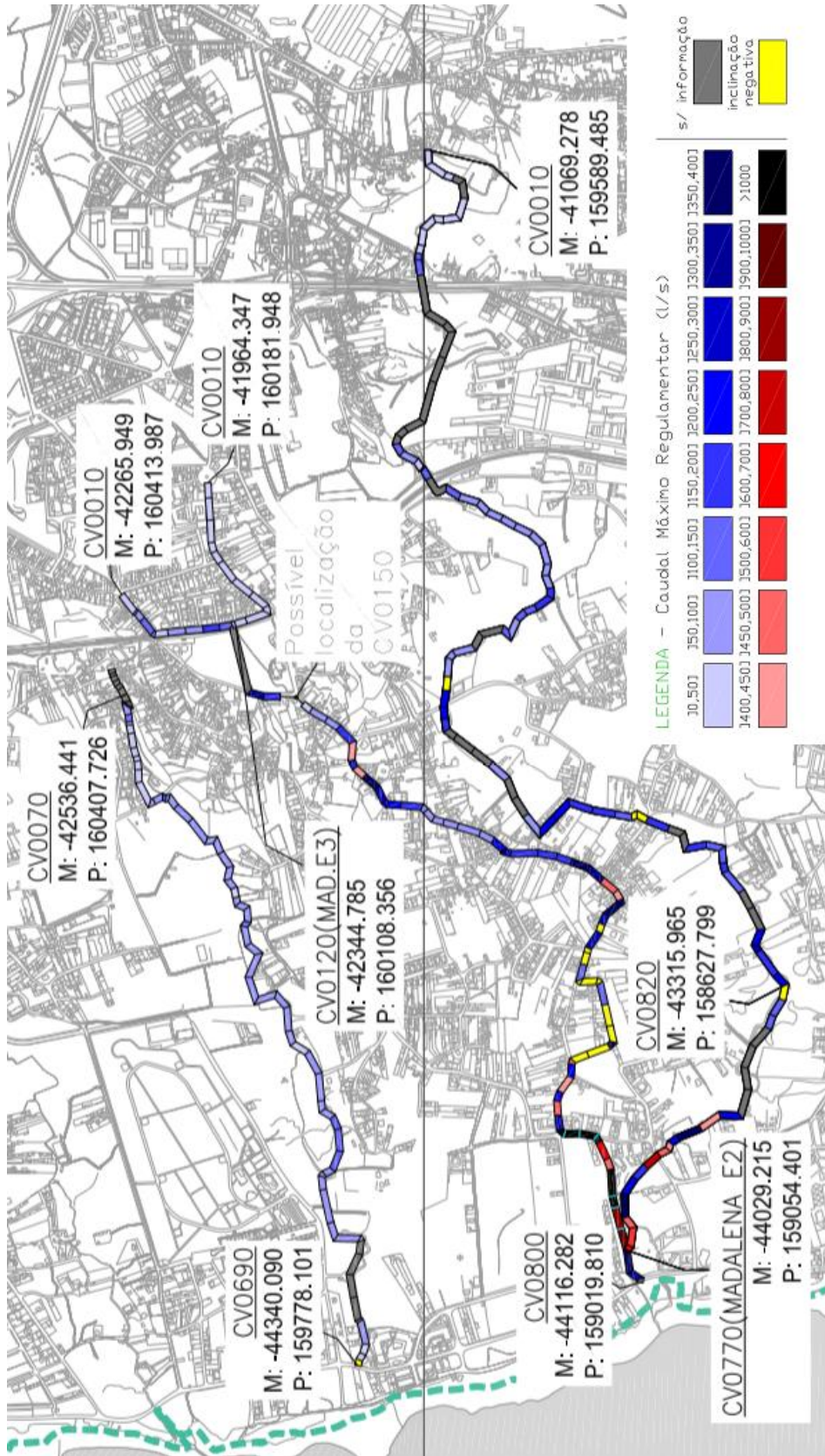


Figura 4.21 - Análise da capacidade hidráulica dos interceptores de Ates e da Madalena.

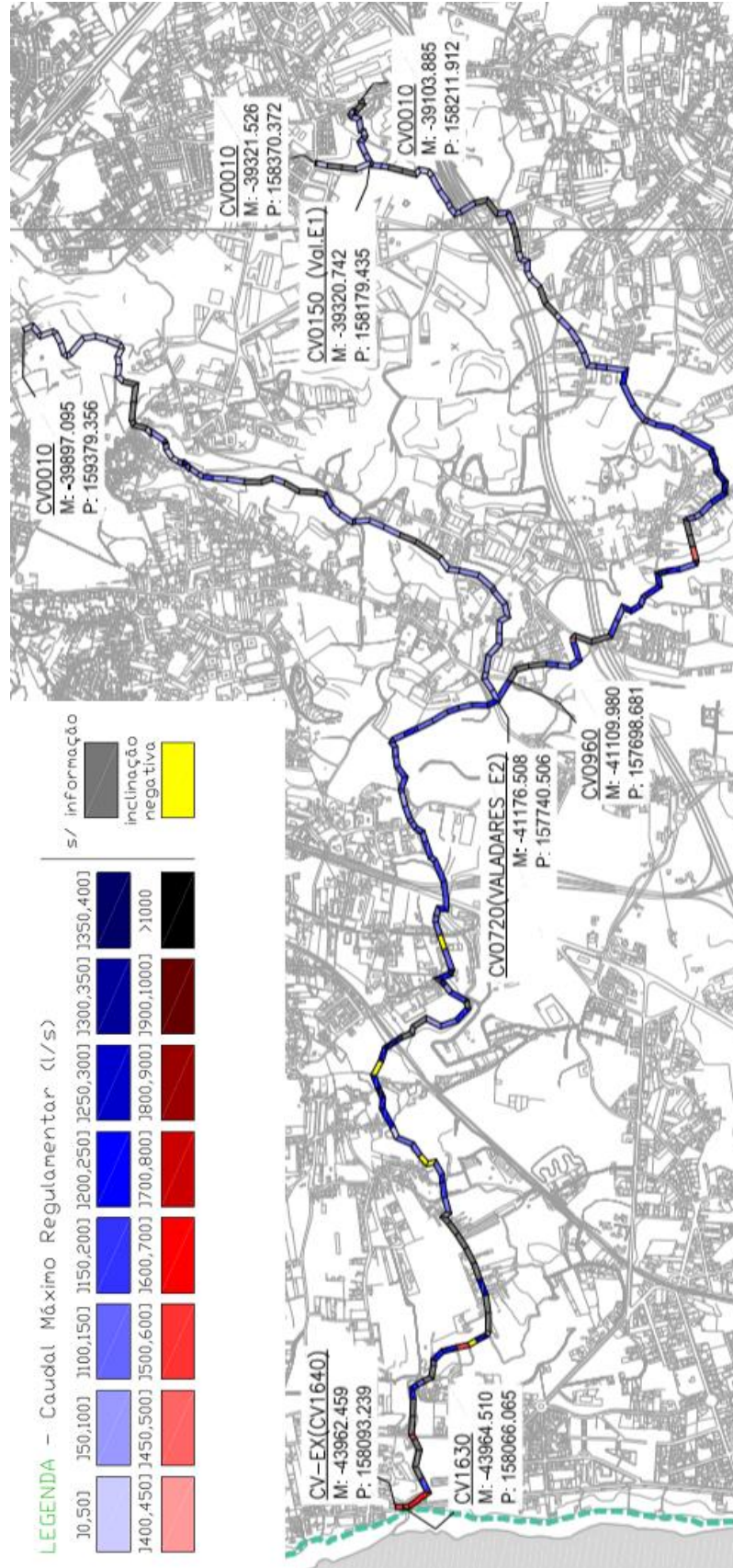


Figura 4.22 - Análise da capacidade hidráulica do interceptor de Valadares.

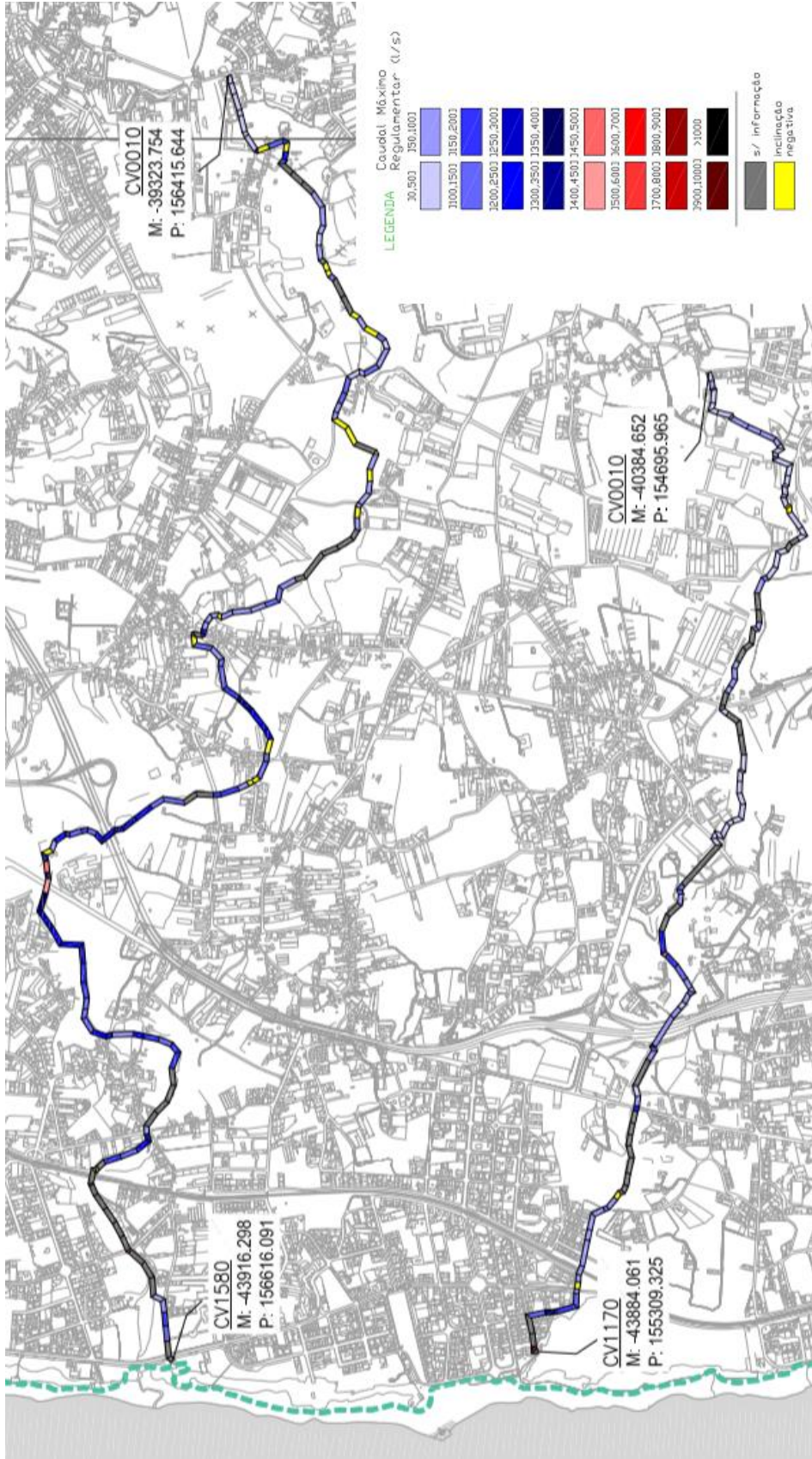


Figura 4.23 - Análise da capacidade hidráulica dos interceptores de Canelas e de Espírito Santo.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Através da análise dos resultados analíticos internos é possível fazer uma caracterização do efluente que chega à ETAR, antes do seu tratamento. Como referido anteriormente, os resultados analíticos internos permitem obter uma visualização de vários parâmetros. Dois dos mais importantes são o CQO, que mede a quantidade de matéria orgânica suscetível de ser oxidada por meios químicos, e o CBO₅, que mede a quantidade de oxigénio consumido na degradação da matéria orgânica por processos biológicos. CBO₅ corresponde ao oxigénio consumido na degradação da matéria orgânica a uma temperatura média de 20 °C durante 5 dias (IAPMEI, 2015).

Na Figura 4.24 estão visíveis as concentrações de CQO e CBO₅ no efluente, registadas ao longo do ano de 2014.

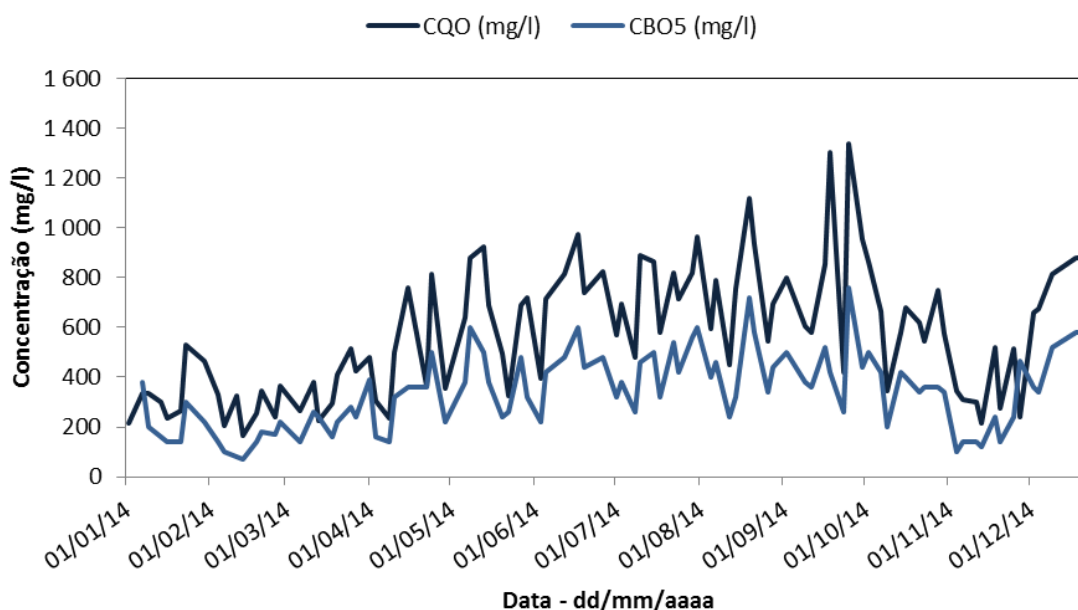


Figura 4.24 - Concentrações de CQO e CBO₅.

Esses dois parâmetros permitem avaliar indiretamente a qualidade da água. Consequentemente, é de se esperar que quando a água está menos diluída se observem valores mais elevados de CQO e CBO₅.

Como se pode observar na Figura 4.25, os valores mais elevados dos parâmetros representados estão presentes, sensivelmente, nos meses mais quentes (quando existe menor precipitação).

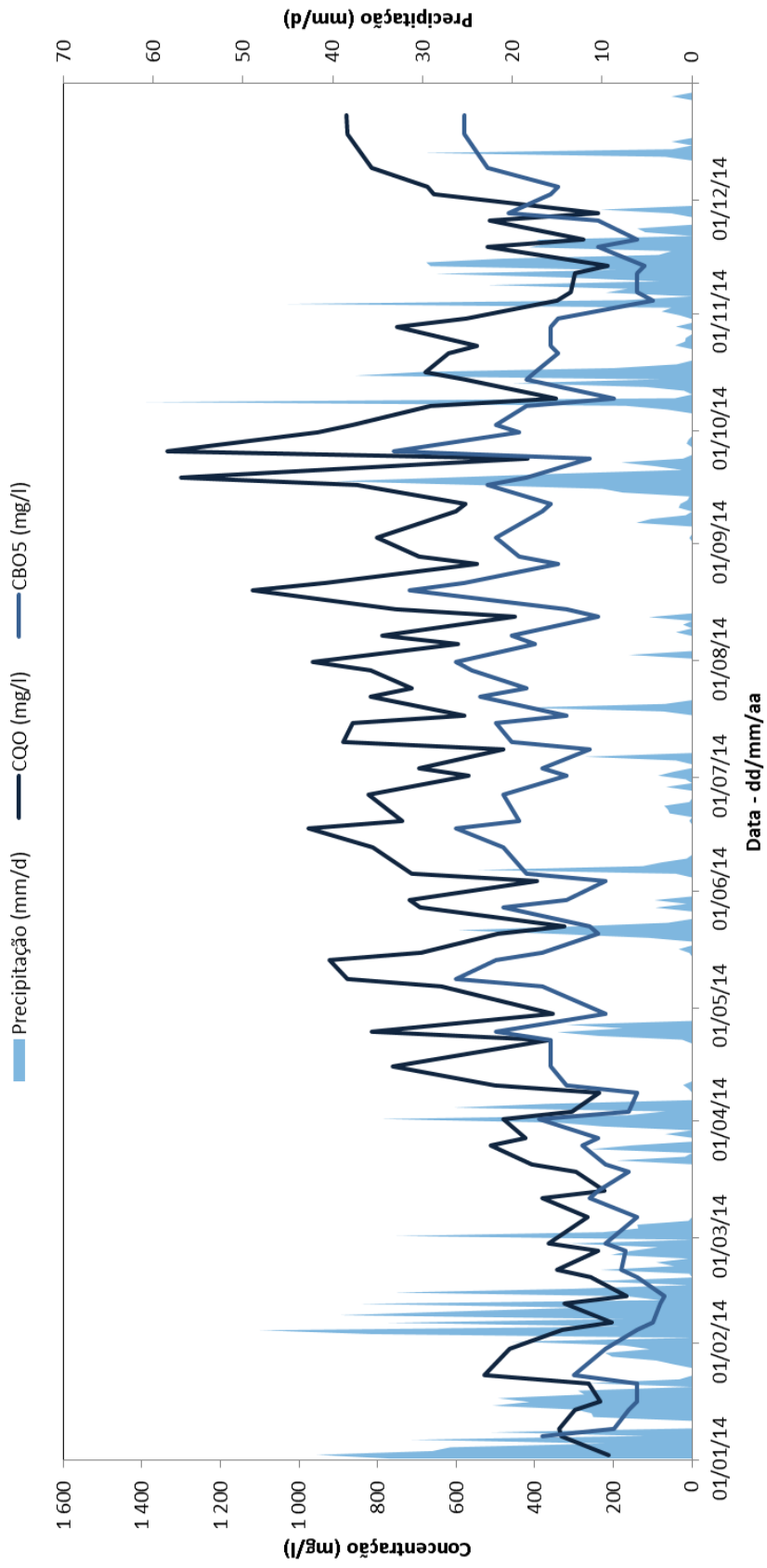


Figura 4.25 - Precipitação diária e concentrações de CQO e CBO₅.

Como a precipitação contribui para a afluência indevida presente no efluente que chega à ETAR, é de esperar que, quando existam picos de precipitação, pouco tempo depois se observem descidas nos valores dos parâmetros em análise.

Juntando os valores da precipitação aos da avaliação dos parâmetros anteriores, torna-se possível avaliar que, de facto, essa correlação existe. Não é uma correlação completa, mas é perfeitamente observável, especialmente nos picos de precipitação mais isolados, um desfasamento que evidencia uma descida brusca dos valores de CQO e CBO₅, apontando para uma diluição do efluente associada ao aumento da precipitação.

É possível fazer uma outra análise, juntando desta vez o caudal residual afluente à ETAR, ao invés da precipitação. Essa análise está visível na Figura 4.26.

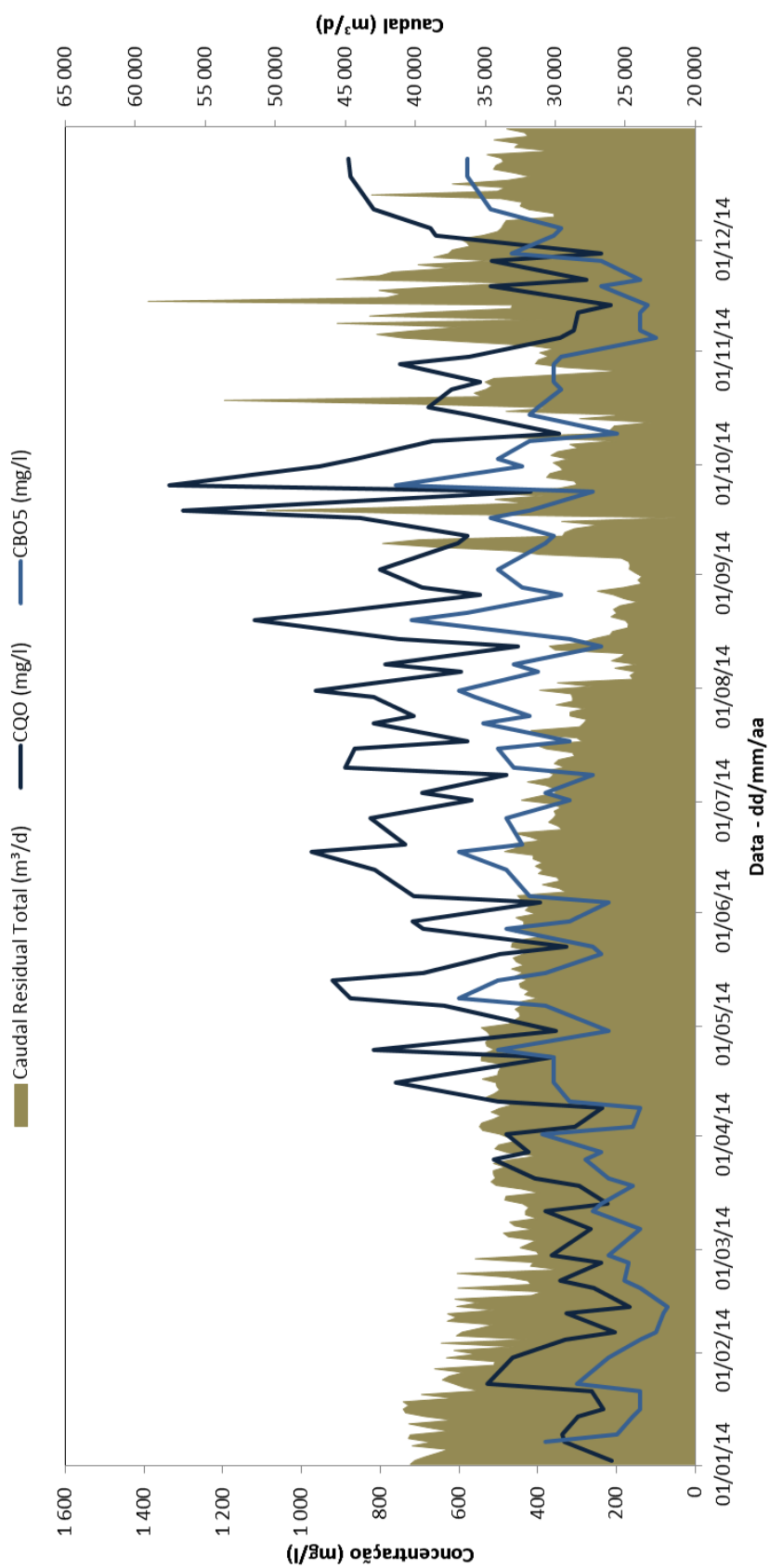


Figura 4.26 - Caudal residual total diário afluente à ETAR e concentrações de CQO e CBO₅.

Regra geral, o caudal é maior quando os valores dos dois parâmetros são menores. Isso está patente nos meses iniciais do ano em que o caudal começa acima das linhas de ambos os parâmetros e, à medida que a Primavera se aproxima, essas linhas começam a sobrepor-se à área do caudal, ultrapassando-a nos meses mais quentes. Isso é uma indicação de que grande parte do caudal residual afluente contém afluência pluvial, nos meses mais chuvosos.

No mês de Dezembro observa-se uma subida repentina dos valores dos dois parâmetros, contrariamente ao que seria de esperar. No entanto, pôde-se comprovar, pelos valores da precipitação da Figura 4.25, que Dezembro de 2014 foi um mês anormalmente seco, justificando assim o aumento desses parâmetros.

4.6 RESULTADOS

4.6.1 Análise inicial

Após a recolha da informação, é prudente realizar uma análise da mesma, de forma a testar a sua plausibilidade e consistência. De acordo com Bennett *et al.* (1999), o teste de plausibilidade mais comum consiste em verificar se os períodos relativos aos dados de caudal coincidem geralmente com os períodos da precipitação. O grau de consistência pode ser verificado com gráficos de dispersão e análises de regressão e/ou correlação, entre outras.

Dado que o registo de caudal afluente à ETAR é composto por valores de caudal diários (m^3/d), foi efetuada uma primeira análise diária do ano de 2014. Recorde-se que os valores da precipitação são acumulações de 3 em 3 horas. Para que se pudesse efetuar uma análise de correlação com os valores diários do caudal afluente, fez-se uma soma dos valores da precipitação para cada dia do ano.

A análise do registo de caudal afluente para o ano de 2014 permite averiguar um valor máximo diário de $59.090,9 \text{ m}^3$ e um valor médio diário de $32.886,5 \text{ m}^3$.

Já a análise do registo de precipitação permite observar uma altura de precipitação máxima diária igual a 60,8 mm e uma altura média diária igual a 5,2 mm.

Foi realizada uma análise conjunta do registo diário de caudal afluente e do registo diário de precipitação, referentes ao ano de 2014 (Figura 4.27).

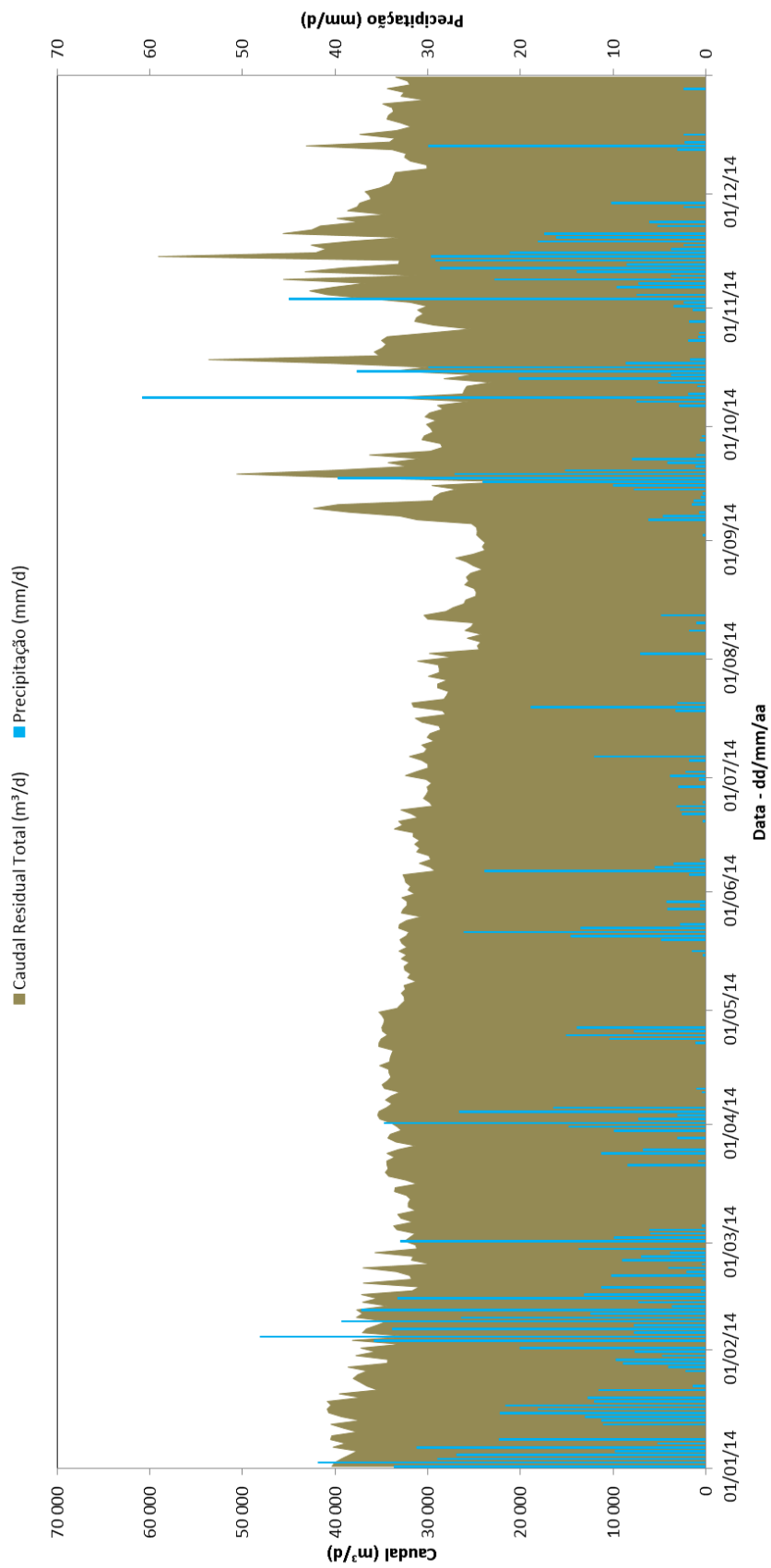


Figura 4.27 - Caudal residual total diário afluente à ETAR e precipitação diária no ano de 2014.

Através da sobreposição dos valores do caudal residual afluente à ETAR e da precipitação observa-se uma forte correlação entre os dois conjuntos de dados. Em muitos dos picos de precipitação está também presente um aumento acentuado do caudal residual, indicando uma relação causal entre ambos.

O facto de haver uma simples correlação não é prova, por si só, de que existe uma causalidade entre os fatores em análise. Porém, nesta situação em particular, a água da chuva é o único fator conhecido que poderia provocar um aumento no caudal residual como o observado. Aliado a essa forte correlação, está também a diluição do caudal residual em eventos de precipitação (indicativo de água límpida que é adicionada ao sistema) e a análise efetuada sobre a caracterização do efluente, no subcapítulo 4.5, a qual oferece uma validação adicional à diferença na qualidade da água e à fiabilidade dos dados de precipitação utilizados.

Contudo, os valores recolhidos nunca são perfeitos e, especialmente nos meses iniciais do ano de 2014, a correlação existente aparenta não ser tão forte como nos meses seguintes, até ao final do ano. Com o intuito de verificar essa situação, foi efetuada uma análise de correlação (Figura 4.28), tendo sido utilizados os mesmos valores da precipitação diária.

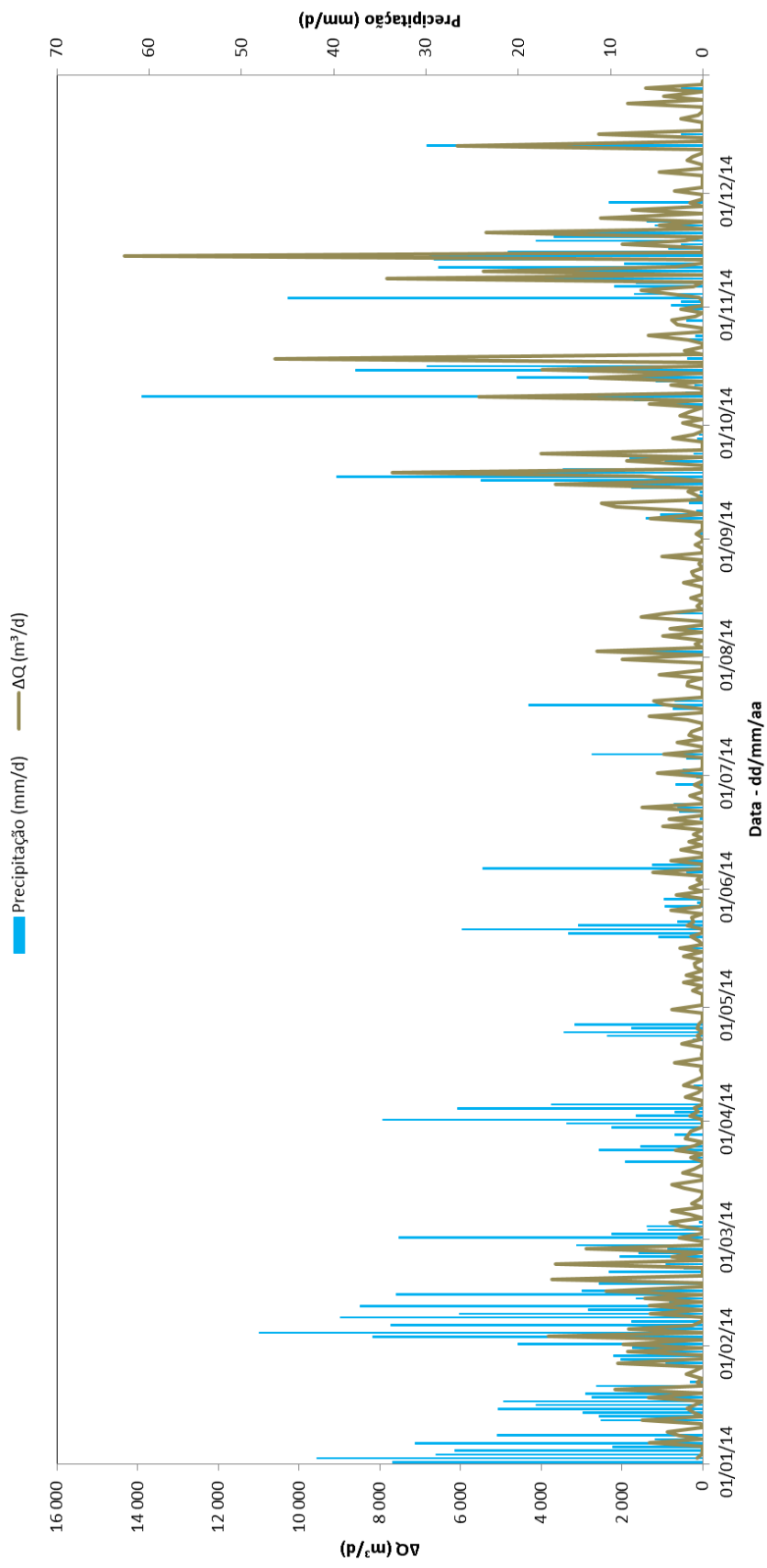


Figura 4.28 - Análise de correlação entre o caudal residual total e a precipitação.

Os valores do caudal (ΔQ) dizem agora respeito a uma subtração entre o valor do caudal afluente diário e o valor da média móvel do caudal afluente em três dias, *i.e.*, do próprio dia da subtração e dos dias imediatamente anterior e posterior ao da subtração. Nos casos em que a subtração apresentou resultado negativo, considerou-se um valor nulo. Desta forma, os resultados evidenciam de uma forma mais clara se, após eventos de precipitação, surge um aumento dos valores do caudal residual medidos. Essa relação parece surgir claramente, sobretudo a partir do mês de Outubro.

Através de gráficos de dispersão, procurou-se traduzir a relação existente entre as duas variáveis. Para quantificar essa relação, efetuou-se uma análise de regressão linear, através da criação de dois diagramas de dispersão – um para o ano de 2014 inteiro (Figura 4.29), e outro para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro (Figura 4.30). Ainda que a correlação seja reduzida, evidencia-se uma maior correlação na Figura 4.30, como expectável.

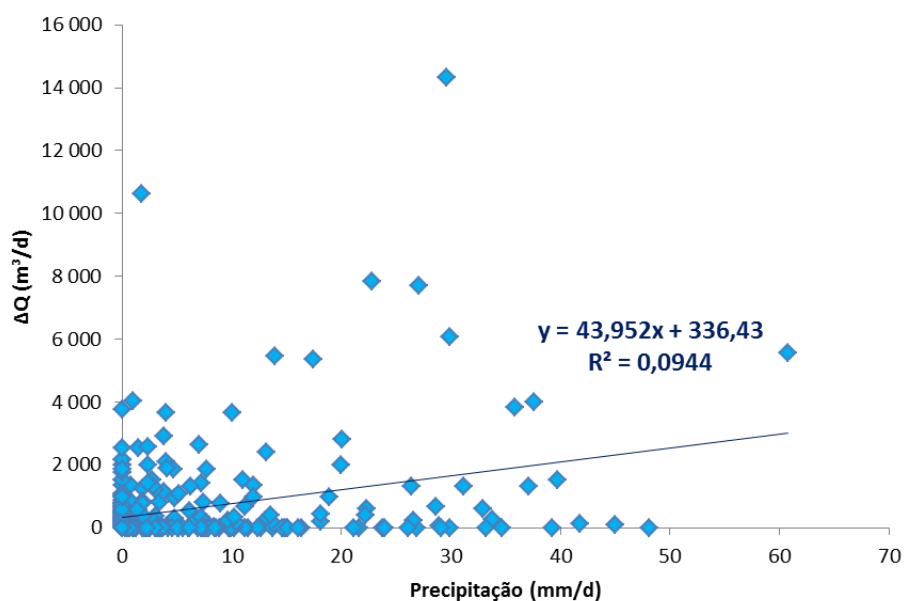


Figura 4.29 - Diagrama de dispersão referente ao ano de 2014.

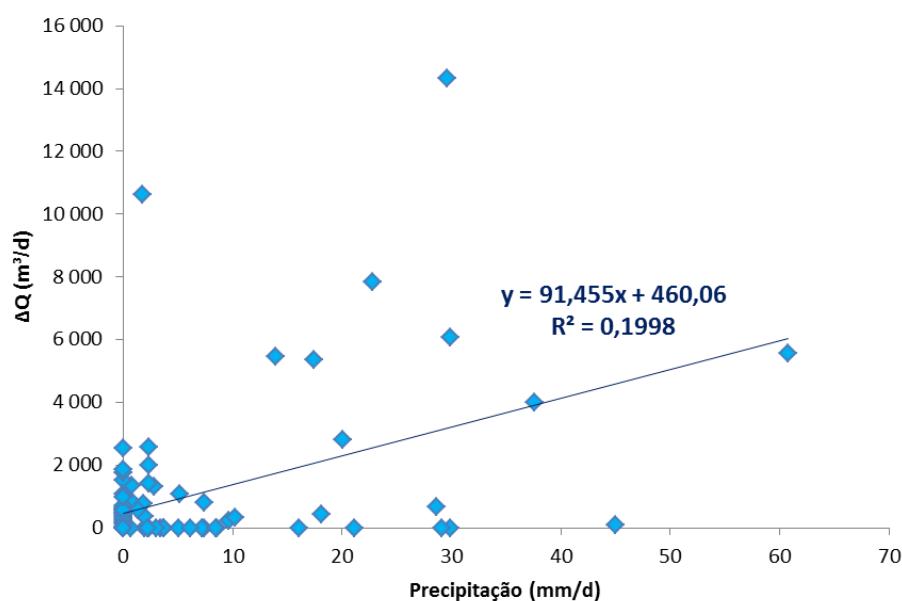


Figura 4.30 - Diagrama de dispersão referente aos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2014.

De facto, os gráficos de dispersão confirmam, de uma forma quantificável, uma relação entre caudais e precipitação. Existe um coeficiente de determinação (r^2) positivo entre as duas variáveis, o que significa que a precipitação e o caudal residual aumentam de forma proporcional (valores altos da precipitação estão associados a valores altos do caudal residual, acontecendo o mesmo para valores baixos). Refira-se que os valores reduzidos de r^2 devem-se ao facto de se estar a utilizar um período de observação bastante alargado. Durante o ano de 2014 apenas se registam valores de precipitação em 171 dias. Ainda assim, o coeficiente de determinação nos meses de Outubro a Dezembro duplicou ($r^2 = 0,1998$), quando comparado com o coeficiente de determinação no ano inteiro, ($r^2 = 0,0944$).

Elaborando uma análise semanal, é possível visualizar de forma similar a relação entre as duas variáveis. Os cálculos correspondentes a essa análise estão no Anexo B. Na Figura 4.31 representam-se o caudal residual semanal e a precipitação semanal no ano de 2014, calculados através da acumulação dos valores diários em cada semana.

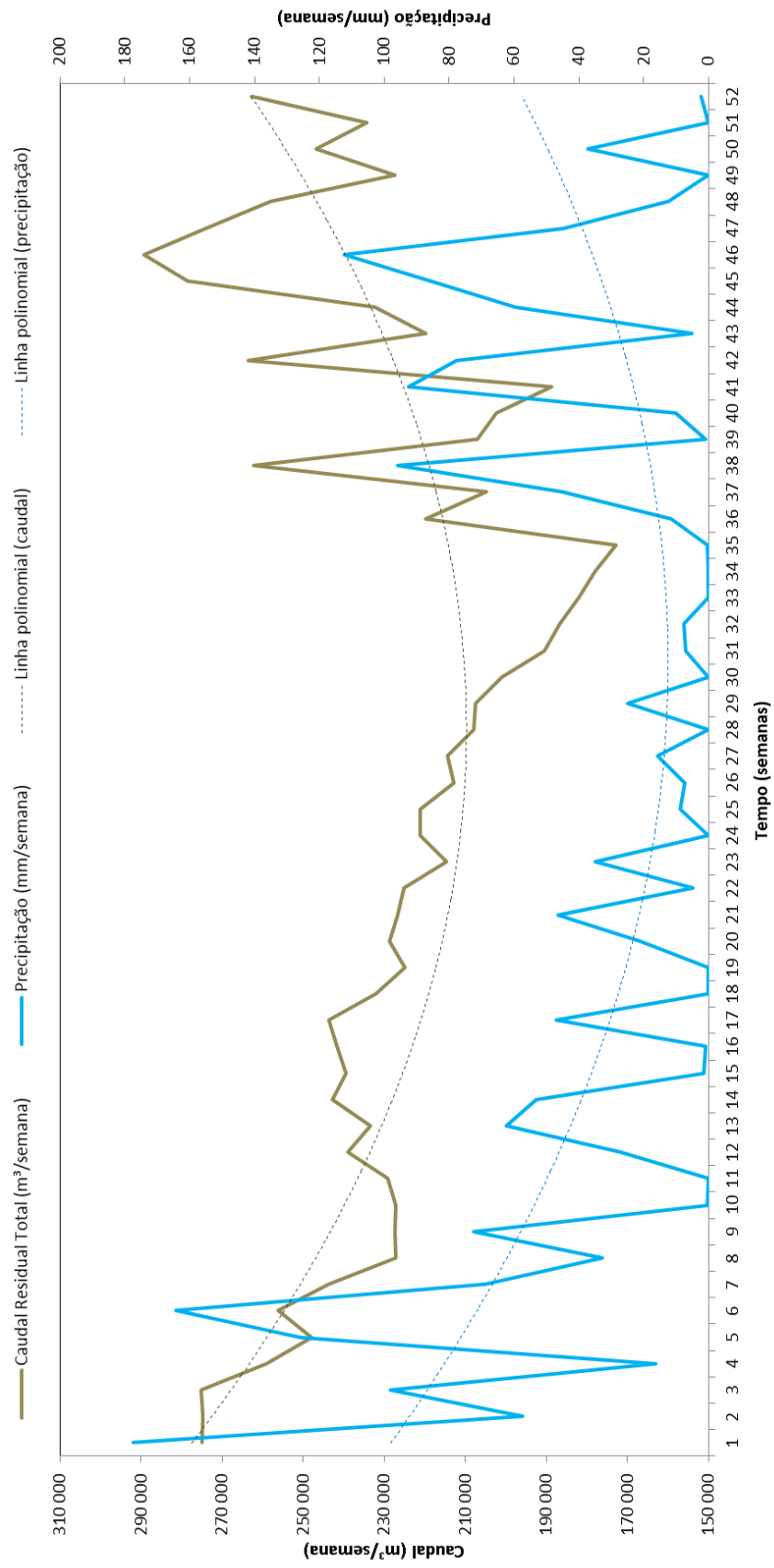


Figura 4.31 - Caudal residual total semanal afluente à ETAR e precipitação semanal no ano de 2014

A análise da Figura 4.31 torna ainda mais clara a variação do caudal e da precipitação, tendo sido acrescentadas duas linhas de tendência polinomiais para facilitar essa leitura. Além das curvas apresentarem uma forma praticamente idêntica, torna-se mais fácil visualizar e comparar os picos de precipitação com os aumentos nos valores de caudal residual.

Fazendo uma análise mensal é possível extrair conclusões adicionais. Os valores utilizados na análise mensal representada na Figura 4.32 foram calculados através da acumulação dos valores diários em cada mês do ano de 2014, e podem ser visualizados no Anexo B.

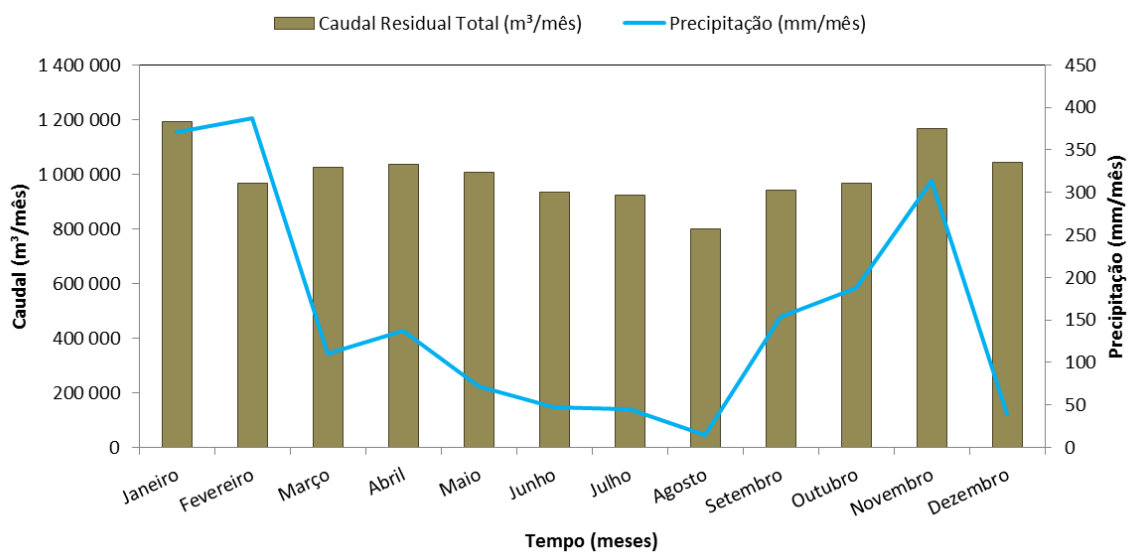


Figura 4.32 - Caudal residual total mensal afluyente à ETAR e precipitação mensal no ano de 2014.

A partir da Figura 4.32 é possível observar o acréscimo e decréscimo das duas variáveis, fazendo uma comparação entre ambas. Em termos gerais, conclui-se que os valores das variáveis sofrem alterações semelhantes, em termos de acréscimos e decréscimos. Entre os meses de Março e Dezembro essa semelhança é óbvia. Algumas exceções podem ser encontradas entre os períodos Janeiro-Fevereiro e Fevereiro-Março.

De Janeiro para Fevereiro a precipitação sofre um acréscimo ao passo que o caudal residual sofre um decréscimo. Essa incongruência torna-se difícil de explicar, visto que seria de esperar, neste tipo de análise, que sempre que houvesse um aumento na precipitação o mesmo seria acompanhado por um aumento no caudal residual. A explicação pode passar por eventuais erros na medição dos registos da precipitação e/ou do caudal residual.

Entre Fevereiro e Março observa-se uma situação contrária (precipitação diminui e caudal aumenta). Tendo em conta que nos meses de Janeiro e Fevereiro existe uma maior altura de precipitação, é possível que no mês seguinte (Março) os níveis freáticos no subsolo estejam suficientemente elevados, de forma a permitir um elevado nível de infiltração de base. Aliando esse fator a um possível aumento dos consumos domésticos e/ou eventuais erros na medição dos registos, encontra-se uma possível explicação para estas circunstâncias.

Assinala-se também que de Novembro para Dezembro a precipitação parece sofrer um decréscimo bastante mais acentuado que o decréscimo por parte do caudal residual. Tendo em conta que no mês de Novembro existe uma maior altura de precipitação, este acontecimento pode ser explicado pelo mesmo raciocínio (níveis freáticos). As condições hidrogeológicas podem fazer com que os níveis de caudal residual sofram, por conseguinte, um decréscimo menor.

4.6.2 Cálculo do caudal residual doméstico

Dado que não foi possível recolher a informação relativa aos consumos de água por parte da população, procurou-se atribuir um padrão teórico aos consumos domésticos por parte das populações e indústrias/comércio.

Marques e Sousa (2011) afirmam que o consumo de água não é uma grandeza constante, apresentando variações em função das estações do ano, dos dias da semana e das horas do dia. Como tal, o primeiro passo consistiu numa análise com base nas variações anuais do consumo doméstico. Considerando a informação disponível exposta no subcapítulo 4.2, calculou-se o caudal anual doméstico, partindo de dados base relativos a valores das capitações, população residente, nível de atendimento na baixa e adesão da população à rede em baixa, para o ano 2014, segundo a Equação (4.2). Nota-se que estes parâmetros variavam consoante as diferentes freguesias do concelho de Vila Nova de Gaia. Adicionalmente, foi considerado um fator de afluência igual a 0,8.

$$Q_{dom} = Pop \times C \times P_{cob} \times P_{at} \times P_{ad} \times fa \quad (4.2)$$

onde:

- Q_{dom} – caudal doméstico (l/dia);
- Pop – população residente (hab.);
- C – capitação (l/hab.dia);
- P_{cob} – cobertura da população (-);

P_{at} – nível de atendimento na baixa (-);

P_{ad} – adesão da população à rede em baixa (-);

fa – fator de afluência (-).

No Quadro 4.10 apresentam-se os valores resultantes da aplicação da fórmula anterior.

Quadro 4.10 – Cálculo do caudal residual doméstico.

União das Freguesias	População residente (hab.)	Capitação (l/hab.dia)	População coberta (%)	Nível de atendimento na baixa (%)	Adesão da população na baixa (%)	Caudal Residual Doméstico (m ³ /ano)
Arcozelo	14 185	163	100	85	91	520999,18
Canelas	14 087	163	100	85	91	517399,75
Canidelo	27 175	164	100	85	91	1004230,71
Grijó e Sermonde	13 155	149	100	85	91	442119,63
Gulpilhares e Valadares	21 526	163	100	85	91	791798,97
Madalena	10 711	164	100	85	91	394609,81
Mafamude e Vilar do Paraíso	59 609	164	93	88	91	2113561,77
Santa Marinha e Afurada	39 154	164	100	91	91	1544992,96
Serzedo e Perosinho	15 452	163	100	85	91	565999,72
São Félix da Marinha	12 787	163	100	85	91	469652,2
Vilar de Andorinho	19 130	164	10	81	91	67514,32
Σ						8432879,02

O caudal doméstico anual resultante é igual a 8.432.879 m³/ano, o que dividido pelos 365 dias do ano de 2014 resulta num caudal doméstico médio diário igual a 23.103,8 m³/dia.

Segundo Marques e Sousa (2011),

no decorrer de um ano médio as variações do consumo acompanham especialmente as variações das condições meteorológicas e, em particular, as da temperatura, de acordo com as estações. A sua amplitude revela-se maior nos climas predominantemente continentais onde se observam fortes variações de temperatura entre o Verão e o Inverno, e, para uma determinada região, poderá variar sensivelmente de um ano para o outro. O aumento de consumo diário, que atingirá por exemplo 20 % da média no decurso de um ano temperado, elevar-se-á a 30 % durante algumas semanas de um Verão particularmente quente e seco, a 50 % durante uma ou duas semanas, e até mesmo a 100 %, ou mais, durante alguns dias excepcionais. Em climas como o nosso a ponta máxima anual ocorre nos meses de Julho e Agosto e, habitualmente, considera-se que o consumo máximo mensal eleva-se 30 % acima do médio. (p. 34)

Lheureux (*apud* MARQUES e SOUSA, 2011, p. 35) estabelece um conjunto de valores que refletem essas variações de consumo. Como tal, optou-se por adotar as médias mensais referidas por Lheureux. Considerando o consumo médio mensal igual à unidade, as oscilações em seu torno indicam-se no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 - Médias mensais das variações de consumo doméstico segundo Lheureux.

Distribuição segundo Lheureux	
Mês	Fator de multiplicação
Janeiro	0,7
Fevereiro	0,7
Março	0,8
Abril	0,9
Maio	1,1
Junho	1,25
Julho	1,3
Agosto	1,3
Setembro	1,25
Outubro	1,15
Novembro	0,85
Dezembro	0,7

Multiplicando o caudal doméstico médio diário pelos fatores de multiplicação relativos a cada mês do ano (Anexo B), e juntando-lhe os valores do caudal residual total, é possível realizar a análise anteriormente descrita. Essa análise está visível na Figura 4.33.

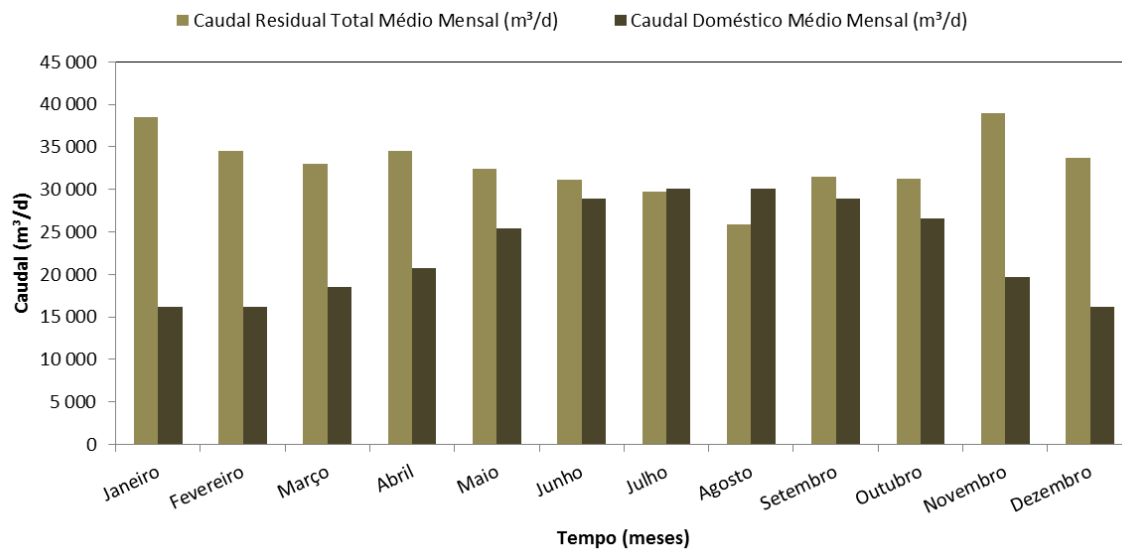


Figura 4.33 - Médias mensais dos valores diários do caudal residual total (medido) e do caudal doméstico (estimado) em 2014.

Considerando que o caudal residual total é o caudal medido na ETAR e, tendo em conta que esse caudal é constituído, para além do caudal de afluência indevida, pelos caudais domésticos, industriais e comerciais, então é impossível que a componente do caudal doméstico estimado que chega à ETAR seja superior ao caudal residual total. Analisando a Figura 4.33, essa situação anómala verifica-se nos meses de Julho e Agosto. Sendo assim, no caso de se utilizar este tipo de distribuição para o caudal doméstico, teria de se efetuar um ajuste nos casos em que tal se verifique, não só em análises mensais como também em análises semanais, diárias ou horárias. Esse ajuste passa por alterar o valor do caudal doméstico hipotético e igualá-lo ao valor do caudal residual, assumindo que não existem afluências indevidas. Caso o registo de consumo de água reportasse a valores efetivamente medidos, ao invés dos dados hipotéticos da Figura 4.33, a diferença entre o caudal doméstico e o caudal total afluente à ETAR poderia ser, eventualmente, explicada pela ocorrência de exfiltração ao longo da rede, fazendo com que o volume de entrega fosse menor que o volume faturado, ou, por outro lado, motivado por algum erro de medição existente.

Tendo em conta que essas situações só se verificam, em princípio, nos meses mais quentes e de menor precipitação, é natural assumir que existam alturas em que a componente do caudal relativa à afluência indevida seja nula, ou praticamente nula, especialmente em tempo seco.

Nos restantes casos, onde o caudal residual é superior ao caudal doméstico, a diferença entre ambos pode ser assumida igual ao caudal de afluência indevida (sem distinção entre infiltração de base e afluência pluvial).

Em média, poder-se-ia concluir que o caudal doméstico médio mensal representa 72 % e os restantes 28 % devem-se às afluências indevidas. O mês de Janeiro assinala a maior diferença entre ambos, onde o caudal doméstico representa 42 % do caudal afluyente total.

O Artigo 13.º do RGSPDADAR apresenta um conjunto de valores de referência relativos às captações na distribuição exclusivamente domiciliária. Esses valores representam valores mínimos a considerar e listam-se no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 - Valores mínimos para a captação aconselhados pelo RGSPDADAR.

Valores mínimos segundo o RGSPDADAR	
População (hab.)	Captação l/(hab.dia)
até 1.000	80
de 1.000 a 10.000	100
de 10.000 a 20.000	125
de 20.000 a 50.000	150
acima de 50.000	175

Ainda que esses valores se refiram apenas ao consumo domiciliário (excluindo indústria/comércio), é possível compará-los com o valor médio anual da captação pertencente ao caudal residual total. Caso todo o caudal anual medido reportasse a consumos domésticos, obtém-se um valor de captação igual a 236 l/(hab.dia). Considerando que a população servida pelo Subsistema de Gaia Litoral, em 2014, é de 174.266 habitantes (obtida através da multiplicação da população residente pelos índices de cobertura, atendimento e adesão), então podemos concluir que o valor de captação mínimo preconizado no RGSPDADAR rondaria os 175 l/(hab.dia).

Por outro lado, é possível estimar novos valores, considerando expressões originalmente propostas para uma população permanente entre 1.000 e 100.000 habitantes, incluindo consumos domésticos e públicos, consumos industriais e agrícolas pouco importantes e perdas (MARQUES e SOUSA, 2011, p. 22). Essas expressões estão indicadas na Equação (4.3), para o início da exploração da obra e na Equação (4.4), para o ano 20.

$$C_0 = 30 + 0,25 \times \sqrt{P_0 - 1000} \quad (4.3)$$

$$C_{20} = 45 + 0,375 \times \sqrt{P_{20} - 1000} \quad (4.4)$$

onde:

C_0 – capitação no início da exploração (l/(hab.dia));

C_{20} – capitação ao fim de 20 anos (l/(hab.dia));

P_0 – população permanente no início da exploração (hab.);

P_{20} – população permanente ao fim de 20 anos (hab.);

Considerando os 174.266 habitantes, obtém-se 134 l/(hab.dia) para o ano início de exploração e 201 l/(hab.dia) para o ano 20. Na verdade, a capitação do caudal residual total ultrapassa qualquer um desses valores entre 102 e 35 l/(hab.dia), o que representa uma capitação 76 % ou 17 % acima dos 134 l/(hab.dia) e 201 l/(hab.dia), respetivamente. Esse desfasamento é claramente indicativo da presença de aflúncias indevidas no volume de efluente que chega à ETAR.

4.6.3 Volume de aflúncias indevidas em função da precipitação

Tal como explicado anteriormente, a escolha do método utilizado na estimativa do volume de aflúncias indevidas ao subsistema de drenagem foi feita com base no tipo e quantidade de dados disponíveis, tendo sido, por isso, apropriado seguir a metodologia indicada na secção 3.7.1 (com as devidas variações), através da decomposição do hidrograma de águas residuais.

O primeiro passo consiste em obter registos horários do caudal afluente à ETAR. Tendo em conta a impossibilidade da extração desses dados a partir do registo de medição dos caudais afluentes à ETAR, em 2014, a máxima amplitude temporal da informação disponível relativa a caudais medidos é diária.

Assim, tornou-se necessário atribuir um padrão teórico que pudesse simular as variações do consumo doméstico ao longo do dia. Para isso, recorreu-se aos diagramas de consumo mencionados

por Marques e Sousa (2011, p. 126), usados originalmente para o dimensionamento de reservatórios de distribuição. Com uma população a servir de 174.266 habitantes, resulta um fator de ponta horário igual a 1,64, correspondente ao diagrama representado na Figura 4.34, equivalente a um fator de ponta igual a 2.

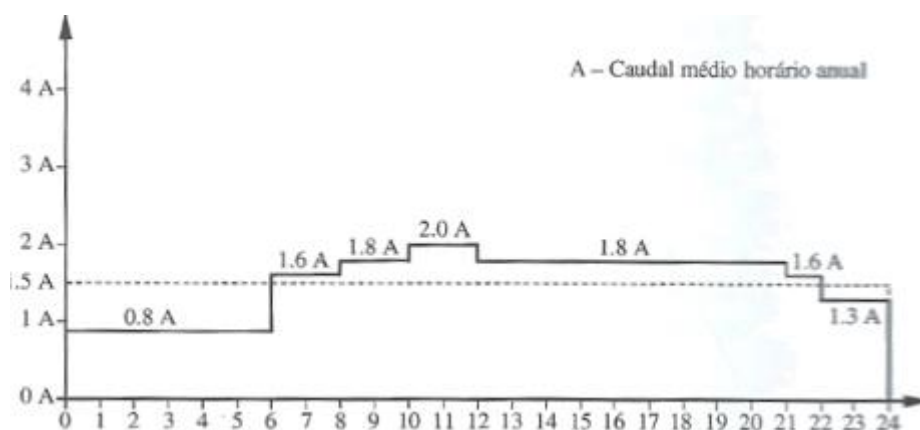


Figura 4.34 – Diagrama de consumos (fator de ponta 2,0) (MARQUES e SOUSA, 2011).

Para validar a utilização do padrão teórico, extraiu-se um conjunto de dados (Anexo A) relativos ao caudal afluente horário (medidos), durante duas semanas (um relativo a Fevereiro de 2015, em tempo húmido e outro relativo a Julho de 2015, em tempo seco). A comparação da média desses valores medidos (em cada semana) com os valores teóricos resultantes da aplicação do diagrama de consumos a essas médias resulta na Figura 4.35 (tempo húmido) e na Figura 4.36 (tempo seco). Os valores resultantes dessa comparação estão no Anexo B.

Observa-se que a comparação entre medições e previsões apresenta algumas diferenças, em particular de madrugada (das 00:00 às 10:00). Como o padrão real (medido) varia consideravelmente de um dia para o outro, ao longo do ano, torna-se especialmente difícil atribuir um padrão de consumos que reflita exatamente a realidade. Tendo isso em conta, considera-se que os padrões são suficientemente próximos para que seja possível utilizar o padrão teórico no presente trabalho.

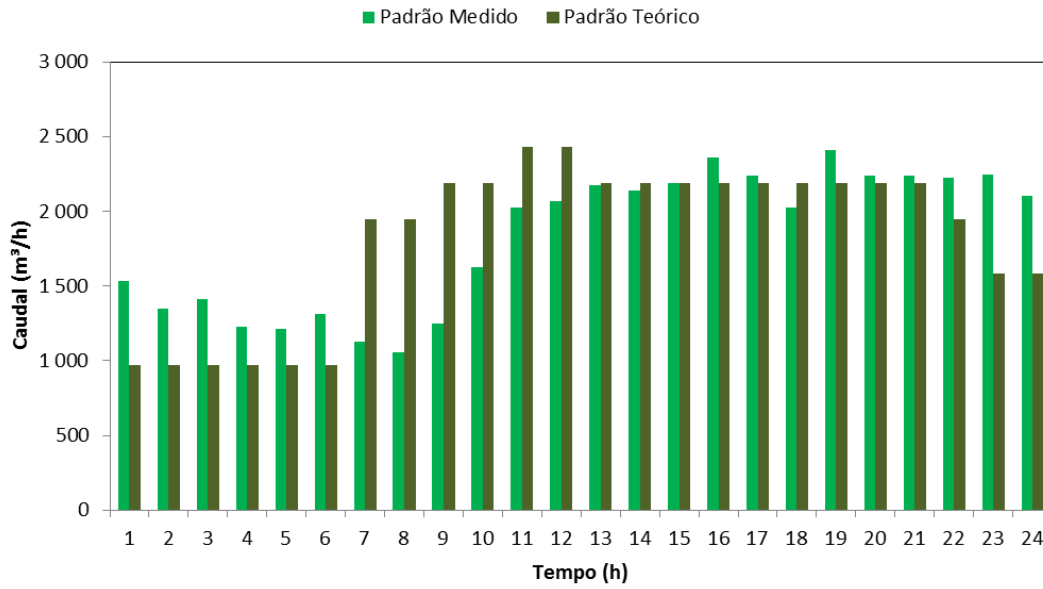


Figura 4.35 – Comparação entre o padrão medido e o padrão teórico em tempo húmido.

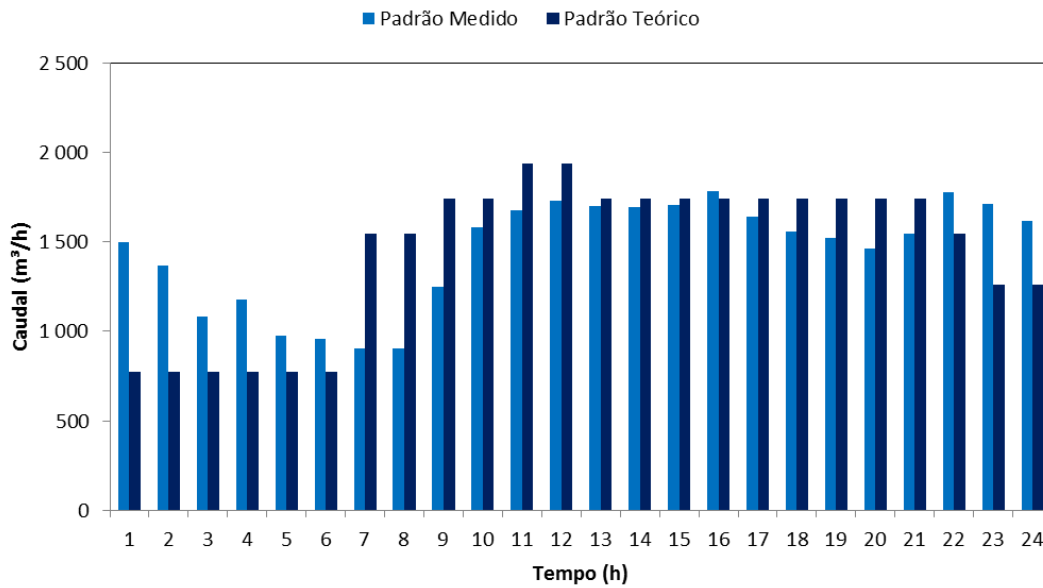


Figura 4.36 - Comparação entre o padrão medido e o padrão teórico em tempo seco.

A transformação dos registos diários de precipitação (através dos dados originais igualmente repartidos por cada hora) e de caudal afluente (através do diagrama de consumos) em registos horários resultou na Figura 4.37.

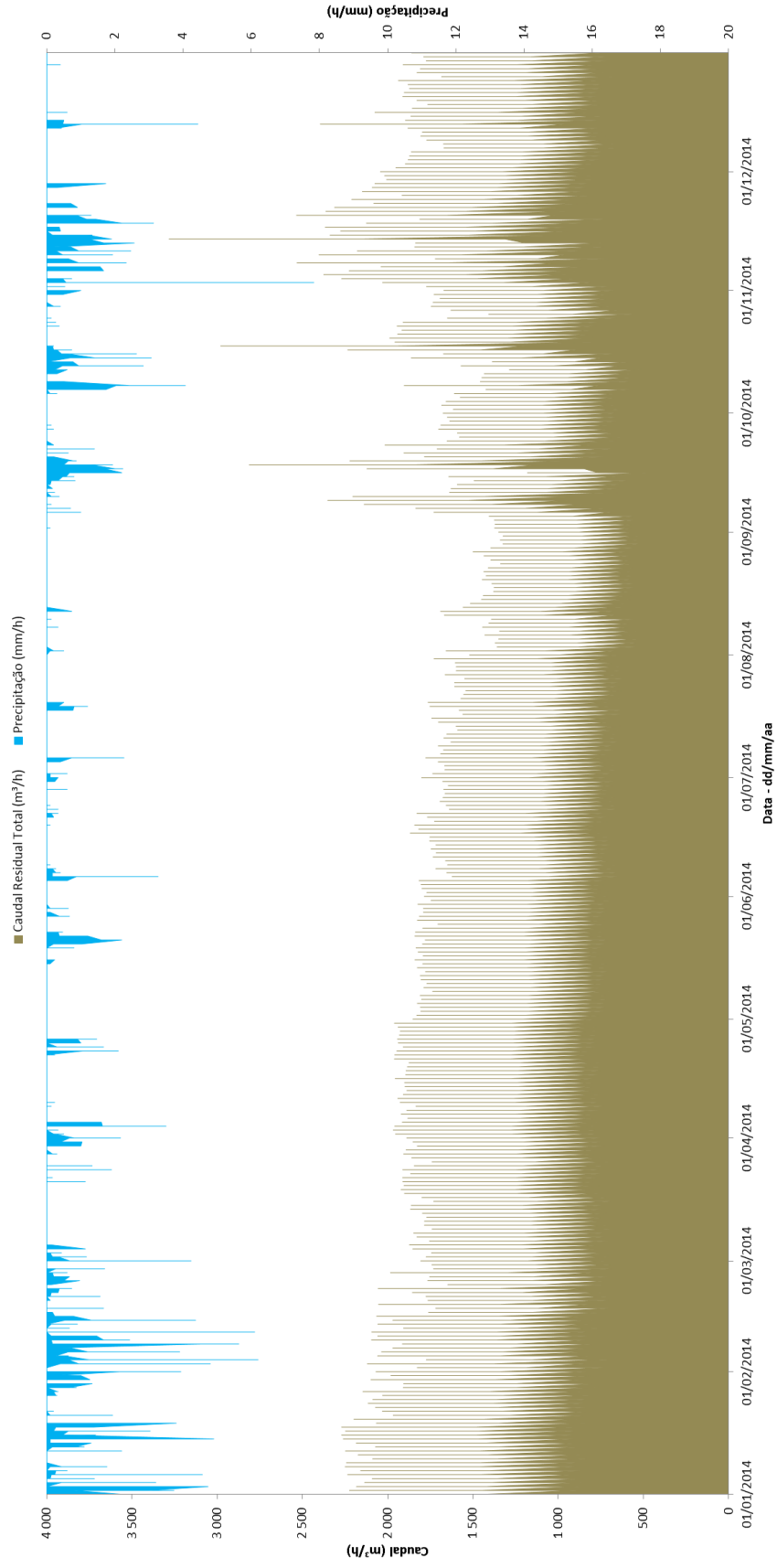


Figura 4.37 - Caudal residual total horário afluente à ETAR e precipitação horária no ano de 2014.

A próxima etapa passa por estimar a contribuição relativa à infiltração de base no caudal afluente à ETAR. Essa tarefa reveste-se de uma dificuldade acrescida, porque, em primeiro lugar, a distinção rigorosa entre os períodos de tempo seco e os períodos de tempo húmido existentes é incerta, devido à natureza dos registos de precipitação e de caudal utilizados. Em segundo lugar, não foi possível obter uma forma de conhecer a contribuição exata dos caudais domésticos e industriais/comerciais em período noturno (00:00 às 06:00).

Com o objetivo de encontrar essa contribuição, a metodologia referente ao método do mínimo móvel foi aplicada ao registo horário de caudais resultante. Assim, foi usado um mínimo móvel de 21 dias para o caudal mínimo noturno (às 00:00), multiplicando-o por 24 horas, assumindo que esse valor é constante ao longo do dia (resultados no Anexo B). Considerando que 85 % desse valor é igual ao caudal de infiltração de base (FCM e NRC, 2003), obtém-se um caudal diário de infiltração de base diferente para cada um desses dias.

Como os dados referentes aos caudais de origem doméstica utilizados são dados teóricos, foi necessário proceder a um ajuste nos valores do caudal de infiltração de base (GWI), primeiramente, e nos valores do caudal residual doméstico (BSF), posteriormente. Assim, nos dias em que a soma do caudal de infiltração de base (GWI) com o caudal residual doméstico (BSF) resulta num valor acima do caudal residual total, retira-se a quantidade de GWI necessária para que essa soma seja equivalente ao caudal residual total. Nos dias em que, mesmo assim, isso não se verifique, retira-se a quantidade de BSF necessária. Nos restantes dias, a diferença entre o caudal residual total e a soma de GWI com BSF é igual ao caudal de afluência pluvial (RDII).

As variações da infiltração de base e do caudal residual doméstico resultantes, ao longo do ano 2014, não representavam de forma adequada o comportamento real dessas componentes do caudal. Então, para simular a variação natural dessas componentes, foi-lhes aplicada uma média móvel de 15 dias, tendo em conta o período de tempo seco mencionada na secção 3.7.1.

O resultado dos cálculos supracitados (Anexo C) dão origem ao gráfico representado na Figura 4.38, com a representação de todas as componentes presentes no caudal afluente à ETAR (GWI, BSF e RDII) e da precipitação.

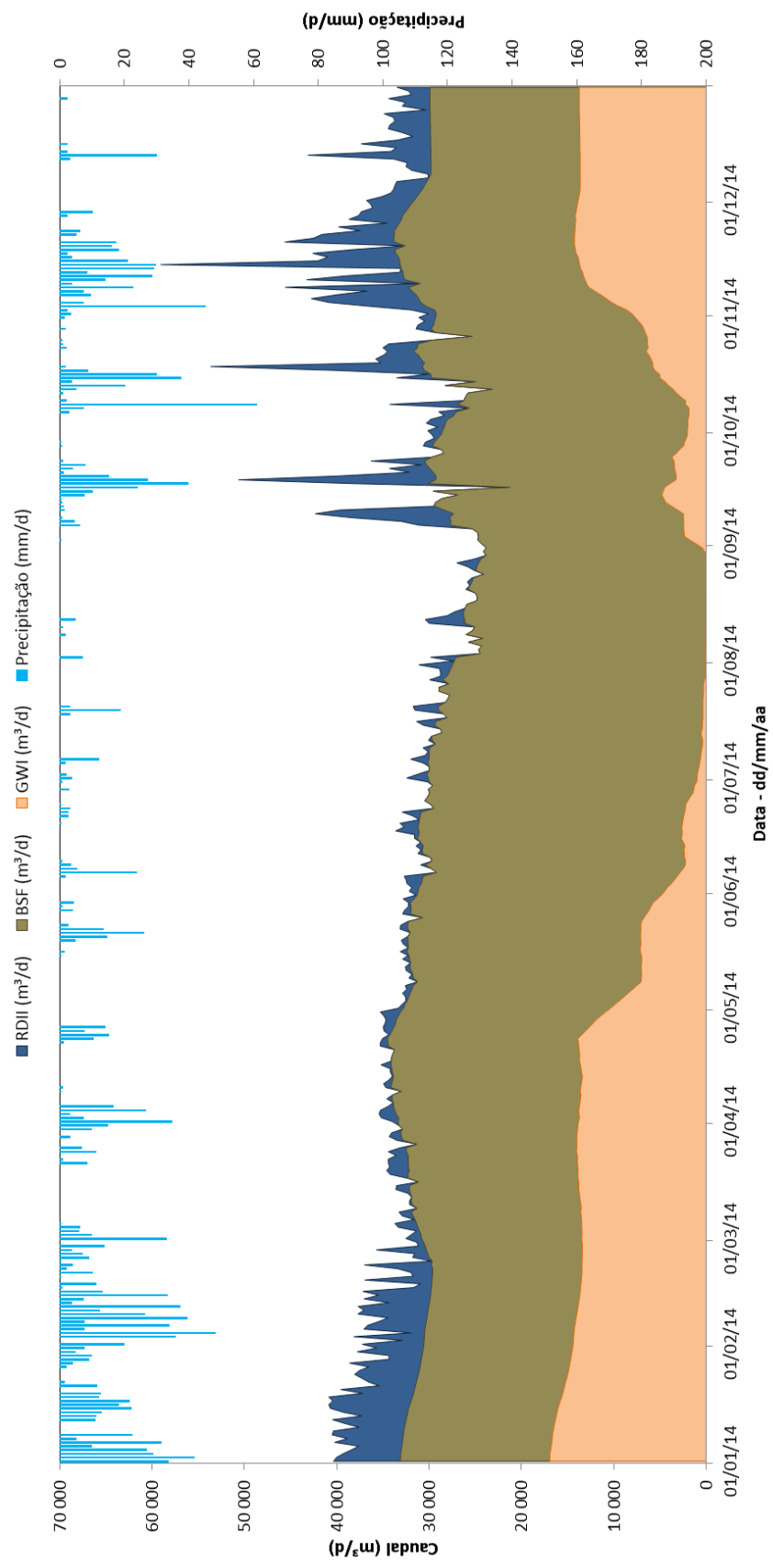


Figura 4.38 – Hidrograma de águas residuais final.

O volume anual de águas residuais, que representa 100 % do volume afluente à ETAR no ano 2014, é igual a 12.003.555 m³. No Quadro 4.13 estão representados os volumes anuais das suas componentes e respetivas percentagens.

Quadro 4.13 – Volumes anuais das componentes de águas residuais e suas percentagens em relação ao volume anual total.

Componentes	Volume (m ³ /ano)	Percentagem (%)
BSF	7.998.652	66,64
GWI	3.065.098	25,53
RDII	939.805	7,83

O volume anual de afluências indevidas (I/I) é igual a 4.004.903 m³ (GWI + RDII), o que representa uma percentagem de 33,36 % em relação ao volume anual total. Tendo em conta que o volume anual de precipitação é igual a 1.880,2 mm, conclui-se que o volume de afluências indevidas em função da precipitação é igual a 2.130,04 m³/mm.

4.6.4 Parâmetros e indicadores de avaliação

Tendo em conta os níveis de afluências indevidas aceitáveis indicados no Quadro 4.14, retiram-se conclusões em relação ao volume calculado.

Quadro 4.14 – Valores de referência de afluências indevidas não excessivas em sistemas de drenagem de águas residuais existentes (ADP, 2007).

Valor do parâmetro	Fonte
11.200 l/(ha.dia) na sequência da ocorrência de um evento de precipitação com um período de retorno inferior a 5 anos (afluências totais indevidas toleráveis: origem freática + pluvial)	<i>Greater Vancouver Regional District, Liquid Waste Management Plan, February 2001</i>
12.000 l/(ha.dia) ou 3.000 l/(cm.km.dia) (infiltração média em sistemas existentes)	<i>Ministère de l'Environnement du Québec, Directive 004, 1989</i>
450 l/(hab.dia) (capitação de águas residuais incluindo as afluências indevidas toleráveis em sistemas separativos domésticos)	<i>US EPA, Handbook Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation, 1991</i>

Valor do parâmetro	Fonte
5.000 l/(cm.km.dia) ou 150 l/(m.dia) (é necessária uma investigação mais detalhada quando a infiltração excede um ou ambos os parâmetros)	<i>Ministère de l'Environnement du Québec, Guide technique sur la réalisation des études préliminaires, 1988</i>

Da comparação entre os valores de referência e os valores calculados, considerando os 174.266 habitantes servidos, um volume total de afluências indevidas igual a 4.004.903 m³ (ou 4.004.903.000 l), um volume anual de águas residuais de 12.003.555 m³ (ou 12.003.555.000 l) e uma área de cobertura do subsistema de 89,2 Km² (ou 8.920 ha), resulta o Quadro 4.15.

Quadro 4.15 – Comparação entre os valores de referência e os valores calculados.

Valor de referência	Valor calculado
11.200 l/(ha.dia)	4.446 l/(ha.dia)
12.000 l/(ha.dia)	941 l/(ha.dia)
450 l/(hab.dia)	189 l/(hab.dia)

Para o primeiro parâmetro foi considerado o dia com um maior volume de afluências indevidas (14 de Novembro de 2014), dividindo-se esse volume (39.655.350 l) pela área de cobertura (8.920 ha). O segundo parâmetro foi calculado através da divisão do volume de infiltração de base médio (8.397.529 l/dia) pela área de cobertura (8.920 ha). No terceiro parâmetro foi considerada a amplitude temporal de um ano, dividindo-se o volume total de águas residuais (12.003.555.000 l) pelo número de habitantes servidos (174.266 hab.) e pelos 365 dias.

Analisando os resultados, conclui-se que o Subsistema de Gaia Litoral apresenta níveis de afluências indevidas aceitáveis ou não excessivos.

Por outro lado, tendo em conta a avaliação indicada no subcapítulo 3.5, relativamente aos indicadores de desempenho existentes, torna-se possível analisar a prioridade de intervenção no subsistema. O Quadro 4.16 resulta do cálculo dos indicadores de desempenho com os fatores conhecidos.

Quadro 4.16 – Indicadores de desempenho e respetivos resultados.

Indicador	Unidades	Prioridades			Valor calculado
		Baixa	Média	Elevada	
ID2 = $Q_{inf} / Q_{md\ ts}$	%	0 - 25	25 - 50	> 50	30
ID8 = $V_{pluv} / V_{md\ ts}$	%	0 - 25	25 - 50	> 50	39

O indicador de desempenho ID2 foi calculado efetuando a divisão do caudal de infiltração de base médio (8.397,5 m³/dia) pelo caudal médio de tempo seco (28.383,1 m³/dia). O caudal médio de tempo seco diz respeito aos volumes de GWI e BSF em período de tempo seco (2.384.179 m³) dividido pela duração desse período, correspondente aos dias em que o caudal de afluições indevidas é inexistente (84 dias). O indicador de desempenho ID8 foi obtido através da divisão do volume total de afluição pluvial (939.805 m³) pelos volumes de GWI e BSF em período de tempo seco (2.384.179 m³).

Dos indicadores de desempenho analisados, conclui-se que há uma prioridade de intervenção média sobre o Subsistema de Gaia Litoral.

4.6.5 Custos associados às afluições indevidas

Antes da fase de reabilitação do sistema de drenagem, há que determinar o volume de afluições indevidas que podem ser removidas, com eficiência ao nível de custos. Trata-se de uma estimativa do ponto em que as reduções de custo (*i.e.*, redução no custo de transporte e tratamento somado ao custo do programa de reabilitação) são maximizadas. No geral, o nível de redução de afluições indevidas planeado é determinado com base numa análise de custo-benefício. A Figura 4.39 ilustra como esse nível é estabelecido a partir de curvas de custo desenvolvidas na análise de custo-benefício.

Sempre que possível, deve-se fazer uma análise individual para a infiltração de base (GWI) e outra para a afluição pluvial (RDII).

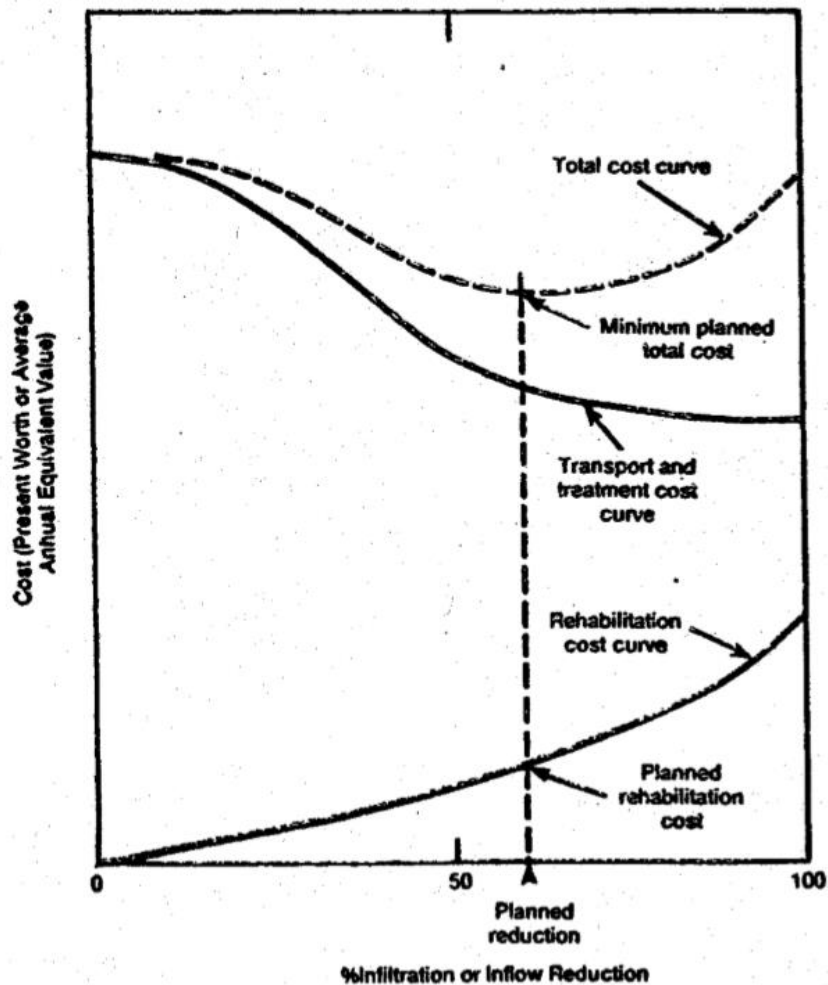


Figura 4.39 – Análise de custo-benefício (EPA, 1985).

O custo de tratamento de águas residuais, segundo a SIMDOURO, é igual a $0,06 \text{ €/m}^3$. Por outro lado, a informação (Anexo A) relativa à energia consumida pelas infraestruturas de bombagem no ano 2014 (4.558.760 kWh/ano) e ao caudal elevado por essas infraestruturas no mesmo ano ($30.305.965 \text{ m}^3/\text{ano}$), considerando um preço da eletricidade para utilizadores industriais de $0,1427 \text{ €/kWh}$, resulta num custo de transporte/bombagem de águas residuais igual a $0,021 \text{ €/m}^3$. Somando ambas as parcelas (tratamento e transporte), o resultado é um custo total igual a $0,081 \text{ €/m}^3$.

Tendo em conta os volumes calculados na secção 4.6.3, os custos resultantes podem ser divididos pelas parcelas do caudal de águas residuais, como se pode observar no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 – Custos associados às afluências indevidas.

Componentes	Volume (m ³ /ano)	Custo associado (€/ano)
GWI	3.065.098	249.700
RDII	939.805	76.562
Σ	4.004.903	326.262

O custo total associado à presença de afluências indevidas no Subsistema de Gaia Litoral, durante o ano de 2014, é igual a 326.262 €.

Para prosseguir com a análise de custo-benefício seria necessário conhecer o custo de reabilitação planeado. Esse objetivo não faz parte do presente trabalho, visto que seria necessário um nível de detalhe elevado ao nível dos vários custos envolvidos e dos elementos da rede de drenagem a serem reabilitados. No entanto, considera-se que seria vantajoso concluir uma análise deste tipo, no futuro. Caso estejam presentes as condições necessárias para seguir em frente com a análise, existem alguns passos importantes a ter em conta após a implementação do programa.

Um ano após a reabilitação do sistema, deve-se certificar que o projeto alcançou um nível de redução de afluências indevidas aceitável, tendo em conta que nem sempre é fácil determinar a eficiência de um programa de reabilitação através da comparação dos registos de caudais pertencentes aos períodos anterior e posterior à reabilitação. Por outro lado, a experiência mostra que, em muitos casos, o nível de redução foi bastante menor do que o esperado por várias razões, em particular devido ao fenómeno da migração da infiltração, de zonas reabilitadas para zonas não reabilitadas (FCM e NRC, 2003).

A Figura 4.40 mostra como se determina o nível de redução aceitável utilizando a curva de custo de transporte e tratamento das águas residuais. Tal como anteriormente, deve-se fazer uma análise para a infiltração de base (GWI) e a afluência pluvial (RDII), em separado.

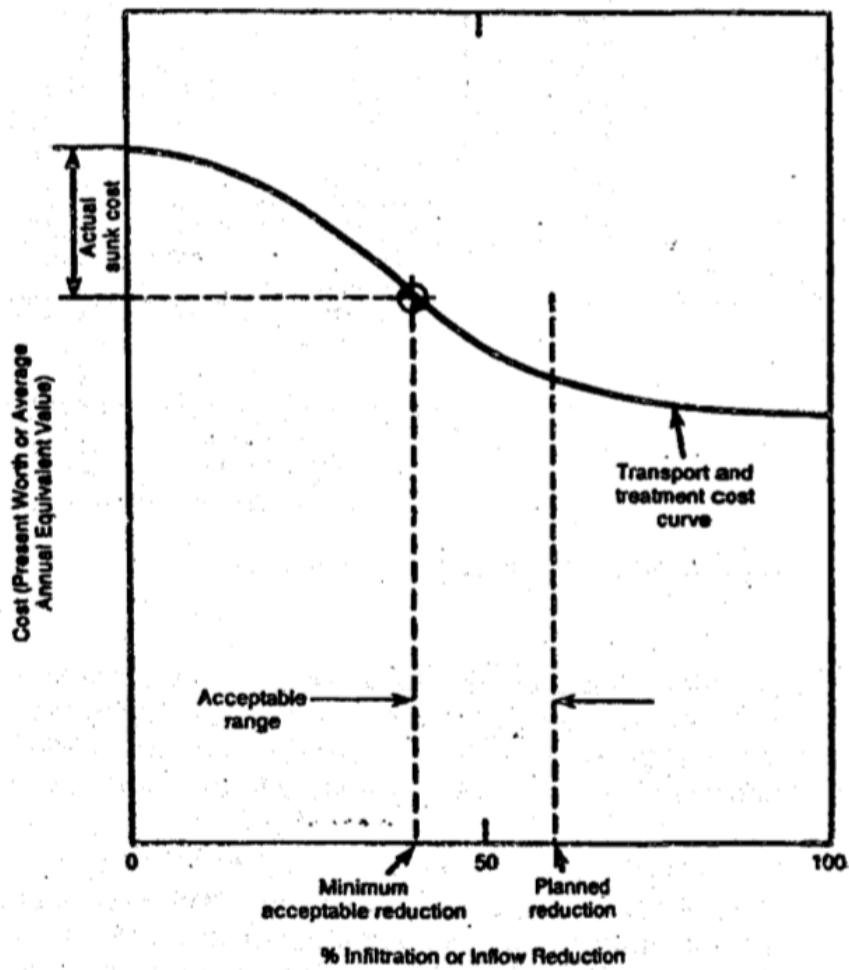


Figura 4.40 – Nível de redução de aflúências indevidas aceitável (EPA, 1985).

No decorrer do processo, é natural que algumas suposições feitas durante a análise de custo-benefício se tornem inválidas. Isto pode afetar o nível de eficiência do projeto e a determinação do nível de redução de aflúências indevidas aceitável. Por exemplo, caso o custo de reabilitação real seja maior do que o planejado, o intervalo de redução aceitável torna-se menor (Figura 4.41). Se a redução nos custos de transporte e tratamento for menor do que o esperado, isto também irá reduzir o intervalo aceitável.

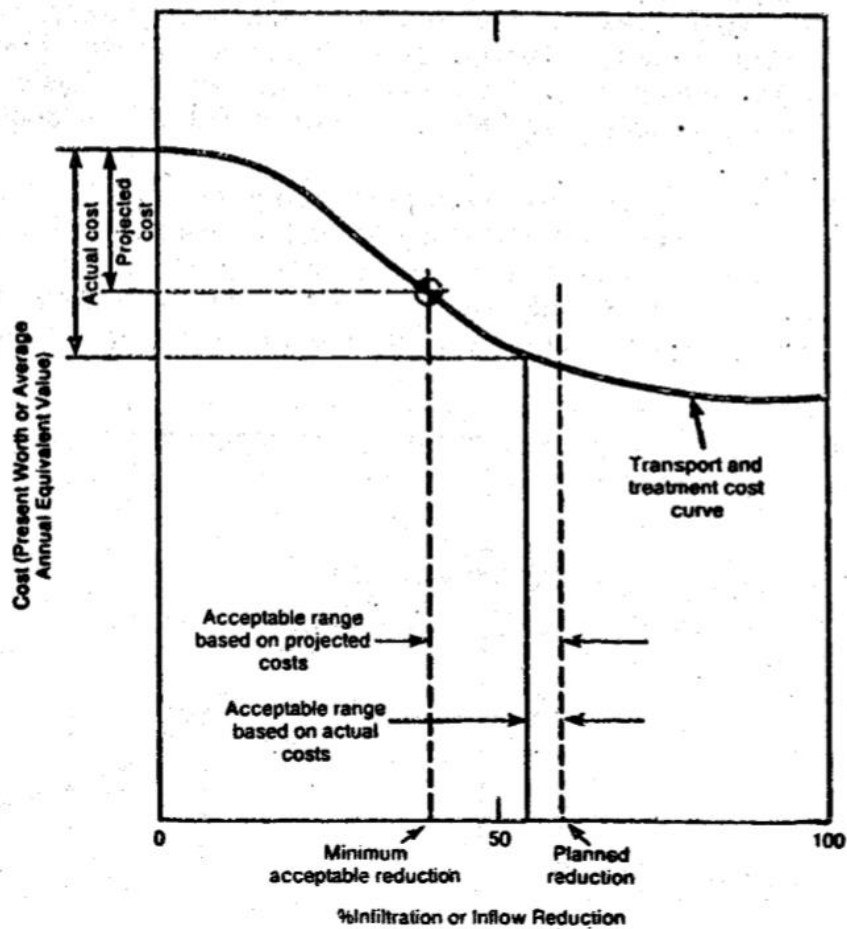


Figura 4.41 - Efeitos da subestimação dos custos de projeto (EPA, 1985).

Sendo assim, torna-se importante recalculer o nível de redução de afluências indevidas aceitável de forma constante, usando estimativas de custo atualizadas ou custos reais.

À medida que o intervalo de redução aceitável diminui, a eficiência de custos do projeto deve ser reavaliada, já que o risco do projeto não atingir o nível aceitável mínimo também diminui. Caso os custos de reabilitação aparentem vir a ser muito maiores do que os custos projetados, é aconselhável modificar os objetivos do programa de forma adequada.

4.6.6 Comparação com o Método do Triângulo

No decorrer do presente trabalho foi implementado o método do triângulo, estritamente como termo de comparação. Como explicado na secção 3.7.3, este é um método que depende diretamente do número de dias de chuva existentes no período temporal usado no estudo. No entanto, existem

dias em que o volume de precipitação é demasiado baixo para que haja um efeito observável no sistema de drenagem, mas ainda assim são contados como dias de chuva, segundo os critérios do método do triângulo.

Tendo isso em conta, surge a necessidade de subtrair esses dias de chuva fraca aos 171 dias de chuva inicialmente contabilizados. Em relação à intensidade da precipitação, o IPMA classifica-a como chuva fraca para valores menores do que 0,5 mm/h, moderada para valores compreendidos entre 0,5 mm/h e 4 mm/h e forte para valores acima 4 mm/h (IPMA, 2015). Assim, os dias com a existência apenas de chuva fraca não foram contabilizados neste caso, o que faz com que o valor a ter em conta seja igual a 116 dias de chuva.

A Figura 4.42 expõe o resultado do método do triângulo aplicado no presente trabalho.

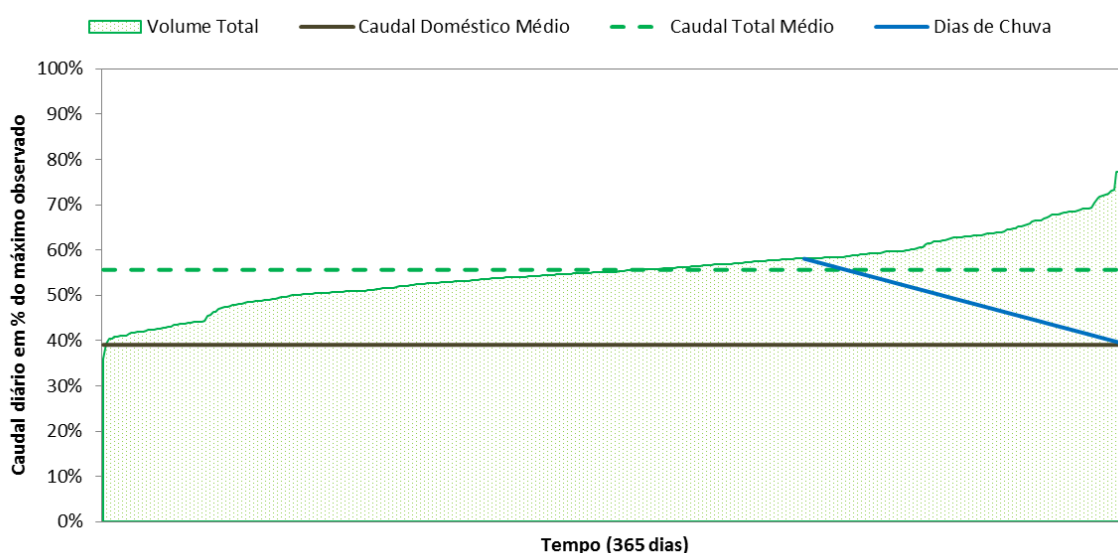


Figura 4.42 - Gráfico resultante da aplicação do método do triângulo no caso de estudo.

Do cruzamento dos resultados de ambos os métodos (Anexo C) resulta o Quadro 4.18.

Quadro 4.18 – Comparação dos resultados de ambos os métodos de cálculo.

Componentes	Método do Hidrograma		Método do Triângulo	
	Volume (m ³ /ano)	Porcentagem (%)	Volume (m ³ /ano)	Porcentagem (%)
BSF	7.998.652	66,64	8.431.027	70,24
GWl	3.065.098	25,53	2.503.798	20,86
RDII	939.805	7,83	1.068.730	8,9

Observa-se que os resultados do método do triângulo estão próximos dos resultados obtidos anteriormente. O volume anual de aflúências indevidas é igual a 3.572.528 m³ (29,76 %), comparativamente ao volume anterior de 4.004.903 m³ (33,36 %). Tendo em conta a relação do método do triângulo com a precipitação, a quantidade de dias de chuva apurada teria de ser ligeiramente menor para que os valores da infiltração de base (GWl) se aproximassem dos anteriores, tendo em conta que ao fazê-lo, o volume de aflúência pluvial (RDII) iria diminuir.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principais objetivos a definição do volume de aflúências indevidas presentes no Subsistema de Gaia Litoral e a estimativa dos custos associados à presença desses volumes.

A caracterização da rede em “alta”, juntamente com a análise da capacidade hidráulica, permitiu conhecer fatores importantes relativos à presença de aflúências indevidas. Revelou o estado geral das câmaras de visita de cinco interceptores do subsistema e a capacidade hidráulica dos mesmos, para além dos troços com inclinação nula ou negativa, os quais constituem informações importantes numa definição preliminar. Por outro lado, a análise inicial e a caracterização do efluente permitiram fazer o cruzamento dos dados obtidos, de forma a validar os mesmos para posterior utilização.

A definição dos volumes das parcelas do caudal para o ano de 2014, de acordo com o método da decomposição do hidrograma de águas residuais e o método do triângulo, resultou em valores consistentes. Os parâmetros de avaliação e os indicadores de desempenho foram particularmente úteis na avaliação da dimensão do problema das aflúências indevidas.

O cálculo dos custos associados à presença de aflúências indevidas serviu para estimar o impacto financeiro sobre a SIMDOURO. No entanto, é importante ter em conta que apenas foram considerados os fatores associados diretamente com as águas residuais (tratamento e transporte), tendo-se contabilizado maioritariamente os custos de operação. Na realidade, existem vários outros custos (relacionados com a deterioração das infraestruturas, mão-de-obra especializada ou outros custos técnicos e de manutenção) que, por impossibilidade de uma estimativa fiável (não existe uma relação facilmente quantificável), não foram contabilizados no trabalho.

Deve-se ter em conta que os dados usados relativamente à precipitação e aos consumos domésticos não são infalíveis, sendo por isso importante a utilização/validação futura com dados alternativos. Reconhece-se a importância da criação de bases de dados com essas medições e para períodos temporais alargados para que este tipo de abordagem permita efetuar previsões com maior acuidade. Esta necessidade também se aplica à implementação do maior número possível de métodos de quantificação de afluências indevidas distintos, de forma a comparar os valores resultantes e obter conclusões mais fiáveis.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com vista à elaboração de um Plano de Minimização de Afluências Indevidas em particular, e à possibilidade de extrair o máximo de informações pertinentes no geral, com vista a obter uma maior conhecimento do problema das afluências indevidas, recomendam-se as seguintes ações:

- Completar a cadastro do subsistema, considerando os seus elementos físicos (intercetores, câmaras de visita, bacias de drenagem, etc.), permitindo obter um maior conhecimento do subsistema em análise e implementar os métodos de quantificação gráficos;
- Expandir a base de dados existente (registos de caudal, registos de operação e manutenção do subsistema, história da população, dados de águas subterrâneas, dados meteorológicos, etc.);
- Utilização de um conjunto de caudalímetros em pontos de medição estratégicos, de forma a obter conhecimento relativo aos pontos mais críticos do subsistema e à origem espacial das afluências indevidas;
- Colocação de um udómetro na ETAR de Gaia Litoral, que permita obter um registo de dados de precipitação contínuo, com um intervalo medições adequado e representativo da bacia de drenagem;
- Implementar equipamentos de medição automática das cargas poluentes, permitindo assim uma resolução temporal das medições de CQO suficiente para a execução do método das séries temporais de cargas poluentes;

- Adoção de um método de medição dos isótopos de oxigênio utilizados na implementação do método dos isótopos naturais.

A implementação deste conjunto de medidas, juntamente com a atualização e melhoria contínua das informações existentes, permitirá criar decisões com base num conhecimento amplo das variáveis presentes no problema das afluências indevidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas de Portugal (AdP). (2007). Contributos para a Elaboração de um Plano de Minimização de Afluências Indevidas nos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Domésticas.
- American Society of Civil Engineers (ASCE), & United States Environmental Protection Agency (EPA). (2004). Sanitary Sewer Overflow Solutions.
- Amorim, H. A. A. de. (2007). Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais (Dissertação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Amorim, H., Neves, M. V., & Matos, J. S. (2007). Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais. Apresentado na 2.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Bénédictis, J. D., & Bertrand-Krajewski, J.-L. (2005). Measurement of Infiltration Rates in Urban Sewer Systems by Use of Oxygen Isotopes. *Water Science and Technology*.
- Bennett, D., Rowe, R., Strum, M., Wood, D., Schultz, N., Roach, K., ... Adderley, V. (1999). Using Flow Prediction Technologies to Control Sanitary Sewer Overflows. Alexandria, VA (Estados Unidos da América): Water Environment Research Foundation.
- Bonito, A. J. C. (2014). Infiltrações na Rede de Drenagem de Águas Residuais - Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses (Dissertação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Cardoso, A., Almeida, M. do C., & Coelho, S. T. (2002). Avaliação do Impacto da Infiltração no Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana. Apresentado na 9º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Braga, Portugal.

- Cardoso, A., Prigiobbe, V., Giulianelli, M., Baer, E., Bénédittis, J. D., & Coelho, S. T. (2005). Assessing the Impact of Infiltration and Exfiltration in Sewer Systems Using Performance Indicators: Case Studies of the APUSS Project. Apresentado na 10ª Conferência Internacional de Saneamento, Copenhaga, Dinamarca.
- Coelho, I. I. R. (2013). Variabilidade de Afluências às Redes de Drenagem de Águas Residuais - Causas e Efeitos Versus Sustentabilidade Económica. Um Caso de Estudo (Dissertação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Commonwealth of Massachusetts (Department of Environmental Protection). (1993). Guidelines for Performing Infiltration/Inflow Analyses and Sewer System Evaluation Survey.
- Federation of Canadian Municipalities (FCM), & National Research Council (NRC). (2003). Infiltration/Inflow Control/Reduction for Wastewater Collection Systems. Canadá.
- Ferreira, P. C. M. (2014). Modelação Dinâmica de Sistemas de Drenagem Urbana. Aplicação a um caso de estudo (Tese em Ambiente Empresarial). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal.
- Franz, T. (2007). Spatial Classification Methods for Efficient Infiltration Measurements and Transfer of Measuring Results (Dissertação). Universidade Técnica de Dresden, Dresden, Alemanha.
- Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação (IAPMEI). (2015). Sítio da Internet do IAPMEI. Obtido 1 de Julho de 2015, de <http://www.iapmei.pt/iapmei-gls-02.php?glsid=5&>
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). (2015). Sítio da Internet do IPMA. Obtido 1 de Julho de 2015, de https://www.ipma.pt/pt/educativa/faq/meteorologia/previsao/faqdetail.html?f=/pt/educativa/faq/meteorologia/previsao/faq_0033.html
- Kracht, O. (2007). Tracer-based Hydrograph Separation Methods for Sewer Systems (Dissertação). Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, Zurique, Suíça.
- Kracht, O., Gresch, M., & Gujer, W. (2005). Innovative Tracer Methods for Infiltration Monitoring. Apresentado na 10ª Conferência Internacional de Saneamento, Copenhaga, Dinamarca.

- Marques, J. A. A. de S., & Sousa, J. J. de O. (2011). Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais (3.ª ed.). Coimbra, Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (1995). Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto (RGSPDADAR). Em Diário da República. Portugal.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2009). Decreto-Lei n.º 312/2009 de 27 de Outubro. Em Diário da República. Portugal.
- Monteiro, P. S. (2008). Inventário Técnico das Instalações das Águas de Gaia, E.M. a Integrar na SIMDOURO, S.A. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Monteiro, P. S. (2010). Avaliação Económica das Infraestruturas das Águas de Gaia, E.M. a Integrar na SIMDOURO, S.A. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Mortinho, A. F. M. (2011). Avaliação de Caudais de Infiltração em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais (Dissertação). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. (2015). Sítio da Internet da Pordata. Obtido 1 de Julho de 2015, de <http://www.pordata.pt/Europa/Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+industriais+e+dom%C3%A9sticos+%28Euro+ECU%29-1477>
- Rodrigues, V. de A. T. (2013). Avaliação de Infiltração em Drenagem Urbana Recorrendo a Métodos Convencionais e não Convencionais - Aplicação ao Caneiro de Alcântara, em Lisboa (Dissertação). Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- SIMDOURO - Saneamento do Grande Porto, S.A. (2010). Contrato de Concessão.
- SIMDOURO - Saneamento do Grande Porto, S.A. (2015). Sítio da Internet da SIMDOURO. Obtido 1 de Maio de 2015, de <http://www.simdouro.pt/home.php>
- Soares, M. H. de A. G., Amaro, J. G. S., Pereira, A. S., & Sousa, M. H. E. de. (1991). Manual de Saneamento Básico (Vol. II.7). Lisboa, Portugal: Direção Geral dos Recursos Naturais.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (1985). I/I Analysis and Project Certification.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (1991). Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2014). Guide for Estimating Infiltration and Inflow.

WindGURU. (2015). Sítio da Internet do Windguru. Obtido 1 de Maio de 2015, de <http://www.windguru.cz/pt/historie.php?model=gfs>