

**Modelação dinâmica do sistema de drenagem da bacia da  
Lage como suporte à avaliação de caudais pluviais  
indevidos**

**Mónica Pires de Sousa Costa**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Civil**

Orientadora: Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira

Orientadora: Engenheira Maria da Conceição Veloso David

**Júri**

Presidente: Professor Doutor Rodrigo De Almada Cardoso Proença de Oliveira

Orientadora: Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira

Vogal: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão

**Maio 2018**



# DECLARAÇÃO

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

# DECLARATION

I declare that this document is an original work of my own authorship and that it fulfills all the requirements of the Code of Conduct and Good Practices of the Universidade de Lisboa.



# AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, devido ao incondicional apoio e motivação constante das minhas orientadoras da dissertação de mestrado, quero expressar o meu sincero agradecimento pela constante disponibilidade à Professora Filipa Ferreira e à Engenheira Maria da Conceição David. Os conhecimentos científicos que me transmitiram ao longo deste último ano foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e contribuíram para consolidar conhecimentos que fui adquirindo ao longo do mestrado.

À empresa Águas do Tejo Atlântico pela oportunidade de trabalhar com técnicos profissionais e de fazer parte de um importante projeto de investigação. Quero agradecer ainda à Engenheira Maria da Conceição David por toda a informação que foi disponibilizando para a concretização desta dissertação.

Aos meus pais e ao meu irmão, pela confiança e por todo o apoio incansável que me transmitiram ao longo da minha vida.

Por último, aos meus amigos (a.k.a. família que escolhi) que me acompanharam durante todo o meu percurso académico, tanto em noitadas de estudo como em finais de tarde muito bem passados no Arco do Cego. Estamos juntos!



# RESUMO

Com a crescente expansão dos centros urbanos, cada vez mais se reconhece a importância do bom funcionamento das redes de drenagem de bacias urbanas. A maturidade das infraestruturas de drenagem, juntamente com a diminuição de áreas permeáveis nas cidades urbanas, promove a problemática das aflúências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais. Esta situação favorece o aumento, por vezes significativo, do volume de caudal afluyente às ETAR que não necessita de tratamento. As aflúências indevidas acarretam, inevitavelmente, um crescimento nos encargos de operação dos sistemas de drenagem e das ETAR, diminuindo a sua eficácia e comprometendo a sustentabilidade da sua gestão. A realização de estudos é, então, fundamental para a mitigação deste problema com o qual as entidades gestoras se têm vindo a deparar. Os modelos de simulação dinâmica podem constituir uma boa ferramenta para a quantificação da magnitude desta problemática e para a avaliação geral do desempenho de sistemas de drenagem. Esta dissertação consiste na criação do modelo dinâmico do subsistema de drenagem da Costa do Estoril, pertencente à área metropolitana de Lisboa, e na calibração, para períodos de inverno e verão, em tempo seco e em tempo húmido, de uma bacia piloto (bacia da Lage) para posterior avaliação do seu desempenho estrutural e quantificação das respetivas aflúências indevidas. Os resultados obtidos servirão de suporte ao trabalho de entidades gestoras e permitirão, futuramente, a definição de medidas de mitigação para o problema.

## Palavras-chave

Aflúências indevidas; Avaliação do desempenho estrutural; Infiltração; Modelação; Modelos de simulação dinâmica; Sistemas de drenagem de águas residuais.





# ABSTRACT

With the increasing expansion of urban centers, it is increasingly recognized the importance of the proper functioning of urban drainage networks. The aging of urban drainage infrastructures together with the gradual reduction of permeable areas in urban areas, promotes the problem of undue inflows in wastewater drainage systems. This problem favors the increase, sometimes significant, in the flow volume that reaches the WWTP and does not require this type of treatment. Undue inflows inevitably lead to an increase in the operating costs of drainage systems and WWTPs, reducing their effectiveness and compromising the sustainability of their management. Therefore, it's primordial the realization of studies and projects with the aim of finding solutions to the mitigation of this problem which the wastewater managing entities have been confronted with. The dynamic models can be a useful tool for quantifying the magnitude of this problem and for the evaluation of the performance of urban drainage systems. This dissertation consists in the creation of the dynamic model of the drainage subsystem of Costa do Estoril, belonging to the metropolitan area of Lisbon, and the calibration, in dry and wet weather, of a pilot urban basin (Lage basin) for further evaluation of their structural performance and quantification of the undue inflows. The results obtained with this study will support the work of managing entities and will allow, in the future, the definition of mitigation measures for undue inflows.

## Keywords

Assessment of structural performance; Dynamic simulations models; Infiltration; Modelling; Wastewater drainage systems; Undue inflows.



# ÍNDICE

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento e relevância do tema .....	1
1.2	Objetivos e âmbito da dissertação .....	2
1.3	Organização do trabalho .....	3
2	A problemática de afluências indevidas em sistemas de drenagem urbanos .....	4
2.1	Considerações introdutórias .....	4
2.2	Sistemas de drenagem urbana e respetivos constituintes .....	6
2.3	Definição e tipos de afluências indevidas .....	9
2.3.1	Considerações gerais .....	9
2.3.2	Tipos de afluências indevidas .....	11
2.4	Problemática das afluências indevidas .....	19
2.4.1	Considerações gerais .....	19
2.4.2	Impactes ambientais/saúde pública .....	20
2.4.3	Impactes técnicos/estruturais .....	21
2.4.4	Impactes socioeconómicos .....	22
2.5	Indicadores de desempenho .....	23
2.6	Projetos de investigação .....	25
3	Modelação matemática de sistemas de drenagem urbana .....	27
3.1	Considerações iniciais .....	27
3.2	Princípios de formulação dos modelos .....	28
3.3	Etapas do processo de avaliação do desempenho de sistemas de drenagem com recurso à modelação .....	31
3.4	Programas existentes para modelação de redes de drenagem urbana .....	32
3.5	Descrição do programa SWMM .....	33
3.5.1	Considerações iniciais .....	33
3.5.2	Capacidades do programa SWMM .....	35
4	Caso de estudo da bacia da Lage .....	37
4.1	Descrição .....	37
4.2	Visitas técnicas ao campo do subsistema da Costa do Estoril .....	39

4.3	Dados base.....	41
4.4	Metodologia adotada .....	44
5	Modelação do subsistema de drenagem da Costa do Estoril, calibração da bacia da Lage e análise de resultados .....	47
5.1	Considerações iniciais .....	47
5.2	Construção física do modelo .....	47
5.3	Calibração e validação da bacia da Lage .....	52
5.3.1	Considerações iniciais .....	52
5.3.2	Calibração de tempo seco .....	53
5.3.3	Calibração de tempo húmido.....	64
5.4	Análise de resultados .....	72
5.4.1	Verificação dos critérios regulamentares .....	72
5.4.2	Estimativa de indicadores de desempenho.....	75
5.4.3	Estimativa de caudais pluviais e percentagem de ligações indevidas .....	76
6	Conclusões e perspetivas para futuros trabalhos .....	79
	Referências Bibliográficas .....	82
	ANEXOS.....	88
	Anexo A .....	89
	Anexo B .....	90
	Anexo C.....	96
	Anexo D.....	98
	Anexo E .....	99
	Anexo F .....	106

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1 – Diferença entre o crescimento da população em zonas urbanas e zonas rurais desde 1950 até 2050 em Portugal .....	4
Figura 2.2.1 – Sistemas de drenagem dos tipos separativo e unitário (Marques e Sousa, 2011) .....	7
Figura 2.3.1 – Infiltrações com origem direta e indireta na precipitação em sistemas separativos (York, 2012).....	10
Figura 2.3.2 – Efeito que a subida do nível de águas subterrâneas provoca num coletor (Franz, 2007) .....	13
Figura 2.3.3 – (a) Ligações indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais que proporcionam a ocorrência de infiltrações de contribuições pluviais (York, 2012) e (b) Interior de um coletor com evidências de infiltração (RedZone Robotics).....	14
Figura 2.3.4- Descarregador tipo murete em tempo seco num sistema de drenagem misto.....	15
Figura 2.3.5 – Descarga de aflúências residuais num meio recetor hídrico (David e Barroso, 2017)..	16
Figura 2.3.6 – (a) Ponto de descarga no Rio Tejo, com válvula de maré a montante (David e Barroso, 2017) e (b) Câmara de válvula de maré do descarregador representado na figura à esquerda (David e Barroso, 2017).....	18
Figura 2.3.7 – (a) Deficiente estado de conservação de uma válvula de maré para descarga de emergência de uma EE (Soares et al.) e (b) Câmara de visita situada a montante de uma EE apresentando várias ligações à rede de drenagem (lado esquerdo), sendo que uma delas corresponde a uma abertura por corrosão do betão onde se verifica a entrada de água salgada (lado direito) .....	18
Figura 2.4.1 – (a) Rotura de um coletor de uma rede de drenagem, obtida através da tecnologia CCTV (Gomes, 2015) e (b) Infiltração numa junta entre coletores [www.surrey.ca].....	22
Figura 2.4.2- Ciclo de deterioração dos sistemas de drenagem de águas residuais devido às infiltrações indevidas.....	22
Figura 3.2.1 – Infiltração de acordo com o Modelo de Horton (Portela, 2006).....	29
Figura 3.5.1 – Interligação de objetos no modelo SWMM (Ferreira, 2014) .....	34
Figura 4.1.1 – Esquema do subsistema da Costa do Estoril .....	37
Figura 4.2.1 – (a) Interior da câmara de visita BA2130.00 que contém o medidor de caudal Q25 e (b) Interior da câmara de visita MO0350.48 sem medidor de caudal.....	39
Figura 4.2.2- (a) Antiga bomba da EE do Jamor e (b) Colocação de uma nova bomba na EE do Jamor .....	40
Figura 4.2.3 – (a) Desvio da água da ribeira de Caparide através de um açude e (b) Desvio da água da ribeira de Amoreira para a EE de Monte do Estoril.....	41
Figura 4.3.1 – Localização esquemática dos medidores de caudal Q28, Q03B, Q04 e Q07 e das 3 descargas de emergência ao longo da bacia da Lage .....	42
Figura 4.3.2- Exemplo ilustrativo da discrepância existente entre certos hidrogramas de caudal diário, no período de inverno no ano em estudo, e o hidrograma padrão estimado .....	44

Figura 5.2.1 – (a) Interface do SWMM para a introdução das características da câmara de visita PS0220.00, situada na bacia de Porto Salvo e (b) Interface do SWMM para a introdução das características do coletor RC1400.00A situado na bacia de Recoveiro .....	48
Figura 5.2.2- Janela de edição no programa SWMM relativa à série temporal de precipitação do udómetro U25.....	49
Figura 5.2.3 – (a) Janela de edição do SWMM da curva de armazenamento do poço de bombagem da bacia da Lage e (b) Parcela da janela de edição do SWMM das regras de controlo das bombas .....	50
Figura 5.2.4- Representação esquemática do resultado final do modelo físico do subsistema de drenagem da Costa do Estoril e exemplos ilustrativo de a) ETAR da Guia e Emissário Submarino e b) Grupo de bombas da bacia de Porto Salvo .....	51
Figura 5.2.5- Representação do modelo da bacia da Lage .....	52
Figura 5.3.1 – Janela de edição do SWMM relativa ao Time Pattern do medidor Q28 em tempo seco para o a) período de verão e b) período de inverno, valores introduzidos no SWMM de hora em hora .....	54
Figura 5.3.2- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q28 .....	56
Figura 5.3.3- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q28 .....	56
Figura 5.3.4- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q03B.....	59
Figura 5.3.5- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q03B.....	59
Figura 5.3.6- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q04 .....	61
Figura 5.3.7- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q04 .....	62
Figura 5.3.8- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q07 .....	63
Figura 5.3.9- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q07 .....	64
Figura 5.3.10- Afluências de caudal introduzidas no modelo da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido.....	65

Figura 5.3.11- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 1 (inverno) que auxiliam a calibração do primeiro troço da bacia da Lage em tempo húmido .....	66
Figura 5.3.12- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 2 (verão) que auxiliam a calibração do primeiro troço da bacia da Lage em tempo húmido .....	66
Figura 5.4.1- Representação das diferentes velocidades de caudal que ocorrem nos coletores do início do emissário de Mem Martins às 6h20 da manhã, em tempo seco no período de verão .....	73
Figura 5.4.2- Representação das diferentes velocidades de caudal que ocorrem nos coletores do início do emissário de Mem Martins às 6h20 da manhã, em tempo seco no período de inverno .....	73
Figura 5.4.3- Excerto de uma janela de resultados relativos a parâmetros dos coletores, nomeadamente Max/Full Depth .....	74
Figura 5.4.4- Ilustração esquemática da localização das zonas do modelo de simulação onde serão determinadas as aflúências indevidas .....	76
Figura A.1- Grupos eletrobomba da EE do Jamor .....	89
Figura A.2- Painéis de controlo da EE do Jamor .....	89
Figura A.3- Zona do desarenador no interior da EE do Jamor .....	89
Figura A.4- Torre de carvão ativado para redução de maus odores da EE de São Pedro .....	89
Figura A.5- Tamisador da EE de São Pedro .....	89
Figura A.6- Caudal residual dentro do Intercetor Geral .....	89
Figura D.1- Representação esquemática do modelo da zona em alta da bacia da Lage, das respetivas designações de cada sub-bacia e da localização dos medidores de caudal (representados a verde) .....	98
Figura E.1- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no primeiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido .....	99
Figura E.2- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no primeiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido .....	99
Figura E.3- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela primeira descarga de emergência durante o evento 1 (Inverno) .....	100
Figura E.4- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela primeira descarga de emergência durante o evento 2 (Verão).....	100
Figura E.5- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 1 (inverno) que auxiliam a calibração do segundo troço da bacia da Lage em tempo húmido .....	100
Figura E.6- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 2 (verão) que auxiliam a calibração do segundo troço da bacia da Lage em tempo húmido .....	101
Figura E.7- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no segundo troço da bacia da Lage, em tempo húmido .....	101
Figura E.8- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no segundo troço da bacia da Lage, em tempo húmido .....	101
Figura E.9- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela segunda descarga de emergência durante o evento 1 (Inverno) .....	102
Figura E.10- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela segunda descarga de emergência durante o evento 2 (Verão).....	102

Figura E.11- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 1 (inverno) que auxiliam a calibração do terceiro troço da bacia da Lage em tempo húmido .....	102
Figura E.12- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 2 (verão) que auxiliam a calibração do terceiro troço da bacia da Lage em tempo húmido .....	103
Figura E.13- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no terceiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido .....	103
Figura E.14- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no terceiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido .....	103
Figura E.15- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela terceira descarga de emergência durante o evento 1 (Inverno) .....	104
Figura E.16- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela terceira descarga de emergência durante o evento 2 (Verão).....	104
Figura E.17- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no quarto troço da bacia da Lage, em tempo húmido.....	104
Figura E.18- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no quarto troço da bacia da Lage, em tempo húmido.....	105

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.2.1 – Algumas das principais componentes dos sistemas de drenagem urbanos e respetivas finalidades.....	8
Quadro 2.3.1 – Tipos de afluências indevidas .....	12
Quadro 2.5.1 – Indicadores de desempenho relativos à problemática das afluências indevidas em sistemas de drenagem urbana .....	24
Quadro 2.5.2- Intervalos de valores de percentagem dos indicadores de desempenho ID1 e ID2 que indicam o nível de desempenho dos sistemas de drenagem (Águas de Portugal, 2007) .....	25
Quadro 5.3.1 – Critérios para a avaliação da calibração em tempo seco (WAPUG, 2002) .....	53
Quadro 5.3.2 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do primeiro troço da bacia da Lage .....	55
Quadro 5.3.3 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do primeiro troço da bacia da Lage .....	55
Quadro 5.3.4 – Resultados obtidos, através de regras de três simples, para os valores de caudal médio a introduzir no modelo nas câmaras de visita de cabeceira dos emissários de Mem Martins e Vale Mourão.....	57
Quadro 5.3.5 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do segundo troço da bacia da Lage .....	58
Quadro 5.3.6 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do segundo troço da bacia da Lage .....	58
Quadro 5.3.7 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do terceiro troço da bacia da Lage .....	60



Quadro 5.3.8 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do terceiro troço da bacia da Lage .....	61
Quadro 5.3.9 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do quarto troço da bacia da Lage .....	62
Quadro 5.3.10 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do quarto troço da bacia da Lage .....	63
Quadro 5.3.11 – Critérios para a avaliação da calibração em tempo húmido (WAPUG, 2002) .....	64
Quadro 5.3.12 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do primeiro troço da bacia da Lage .....	67
Quadro 5.3.13 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao primeiro troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido.....	68
Quadro 5.3.14 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do segundo troço da bacia da Lage.....	69
Quadro 5.3.15 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao segundo troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido .....	69
Quadro 5.3.16 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do terceiro troço da bacia da Lage .....	70
Quadro 5.3.17 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao terceiro troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido.....	71
Quadro 5.3.18 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do quarto troço da bacia da Lage .....	71
Quadro 5.3.19 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao quarto troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido .....	72
Quadro 5.4.1- Percentagem de coletores que não respeitaram os critérios regulamentares, durante os dois eventos em análise, nos diferentes emissários.....	74
Quadro 5.4.2- Resultados obtidos para o indicador de desempenho 1, para os eventos 1 e 2.....	75
Quadro 5.4.3- Resultados obtidos para o indicador de desempenho 2, em tempo seco nos períodos de verão e inverno.....	76
Quadro 5.4.4- Resultados finais relativos aos volumes de afluições indevidas pluviais, nas quatro zonas da bacia da Lage em análise, determinados a partir dos modelos de simulação dos eventos 1 e 2.....	77
Quadro 5.4.5- Resultados finais das percentagens de ligações indevidas nas diferentes sub-bacias	78
Quadro B.1- Excerto de dados cadastrais relativos a coletores de alguns emissários do subsistema de drenagem da Costa do Estoril.....	90
Quadro B.2- Excerto de dados cadastrais relativos a câmaras de visita de alguns emissários do subsistema de drenagem da Costa do Estoril.....	91
Quadro B.3- Dados cadastrais relativos às Sub-bacias hidrográficas relacionadas com a bacia da Lage .....	92

Quadro B.4- Excertos de registos de volume de caudal, efetuados pelos vários medidores, nos diferentes dias selecionados para a calibração e validação da bacia da Lage em tempo seco (períodos de verão e inverno).....	93
Quadro B.5- Excertos de registos de caudais, efetuados pelos diferentes medidores de caudal da bacia da Lage, para tempo húmido (períodos de inverno e verão) e dos respetivos hidrogramas padrão ...	94
Quadro B.6- Excerto de registos de precipitação (PP), e respetiva intensidade (I), registados de 5 em 5 minutos relativos aos dois eventos de precipitação em análise na calibração da bacia da Lage em tempo húmido.....	94
Quadro B.7- Excerto de registos de precipitação diária nos diferentes postos udométricos durante o período em estudo (01/11/2014 - 31/10/2015).....	95
Quadro B.8- Excertos de valores dos hidrogramas padrão de inverno e verão relativos aos diferentes medidores e caudal da bacia da Lage .....	95
Quadro F.1- Excertos de valores de caudal obtidos nas diferentes zonas em análise através dos modelos de simulação, de tempo húmido dos eventos 1 e 2, com e sem a opção Rainfall/Runoff ativa .....	106
Quadro F.2- Registo de dados de intensidade de precipitação das horas mais intensas de cada evento e respetivas médias.....	107



# LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
<i>AdP</i>	Águas de Portugal
<i>AdTA</i>	Águas do Tejo Atlântico
<i>APESB</i>	Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental
<i>APUSS</i>	Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems (Projeto Europeu)
<i>CCTV</i>	Closed-circuit Television (Circuito Fechado de Televisão)
<i>DR</i>	Decreto Regulamentar
<i>EE</i>	Estação Elevatória
<i>EG</i>	Entidade Gestora
<i>EPA</i>	Environmental Protection Agency (Estados Unidos da América)
<i>EPAL</i>	Empresa Portuguesa das Águas Livres
<i>ERSAR</i>	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
<i>ETAR</i>	Estação de Tratamento de Águas Residuais
<i>EUA</i>	Estados Unidos da América
<i>IAFLUI</i>	Iniciativa Nacional para o Controlo de Afluências Indevidas
<i>LNEC</i>	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<i>ONU</i>	Organização das Nações Unidas
<i>PENSAAR</i>	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais
<i>PO SEUR</i>	Programa Operacional para a Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
<i>RASARP</i>	Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
<i>RGSPDADAR</i>	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de águas Residuais
<i>SIG</i>	Sistema de Informação Geográfica
<i>SISAQUA</i>	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano
<i>SIMTEJO</i>	Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão
<i>SWMM</i>	Storm Water Management Model

# LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
<i>CBO<sub>5</sub></i>	Carência Bioquímica de Oxigênio
<i>I</i>	Intensidade de Precipitação
<i>ID1</i>	Indicador de Desempenho número 1
<i>ID2</i>	Indicador de Desempenho número 2
<i>HP INV</i>	Hidrograma Padrão de Inverno
<i>HP VER</i>	Hidrograma Padrão de Verão
<i>PP</i>	Precipitação
<i>Q</i>	Caudal
<i>Q<sub>méd</sub></i>	Caudal médio
<i>Q<sub>inf</sub></i>	Caudal de infiltração
<i>Q<sub>min</sub></i>	Caudal mínimo
<i>Q<sub>mts</sub></i>	Caudal total médio diário registado em tempo seco
<i>Q<sub>x</sub></i>	Medidor de caudal x
<i>U<sub>x</sub></i>	Posto Udométrico x



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e relevância do tema

A água é um recurso natural imprescindível à vida no planeta, constitui um elo importantíssimo na manutenção das cadeias alimentares e na realização das mais importantes reações ao nível dos organismos vivos. Desde a revolução industrial, no séc. XVIII, verificou-se uma crescente contaminação do ambiente com resíduos excedentes da produção ou das atividades desenvolvidas pelo Homem. Estes resíduos eram lançados diretamente para rios e mares sem qualquer tratamento prévio, o que provocou graves prejuízos na fauna e na flora e levou à propagação de doenças.

Com o aumento da consciência ambiental e do avanço da tecnologia, a água proveniente do uso doméstico, comercial e industrial passou a ser encaminhada por um sistema de drenagem adequado até às Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), nas quais se efetua, em condições ambientais seguras, a descontaminação, através de vários processos, do caudal afluente. Após estes processos, as águas tratadas estarão, assim, devidamente aptas para serem devolvidas ao meio recetor.

Uma grande ameaça ao bom funcionamento das ETAR são as afluências indevidas que, em certos casos, podem ocorrer em grandes quantidades ao longo das redes de drenagem de águas residuais. Em Portugal, esta problemática teve tendência a ser negligenciada pelas entidades gestoras na medida em que o seu foco principal centrava-se na expansão dos respetivos sistemas e, conseqüentemente, no aumento de cobertura do serviço.

A infiltração tende a agravar-se com a idade dos sistemas, trazendo importantes conseqüências no seu desempenho a nível técnico e económico, para além de que pode provocar o aumento de descargas de águas residuais não tratadas para o meio hídrico, causando potenciais riscos para o ambiente e para a saúde pública. Os custos e conseqüências associados a esta problemática justificam o investimento em estudos que possibilitem conhecer a amplitude do problema e, se possível, quantificá-lo. Por exemplo, no Reino Unido estima-se que os custos associados ao fenómeno das afluências indevidas sejam da ordem de €1,4 Milhões de m<sup>3</sup>/dia (Ellis, 2001).

Um dos principais objetivos das entidades gestoras, responsáveis pelo tratamento de águas residuais, é a racionalidade económica e ambiental dos seus sistemas. É então imperativo introduzir na sua gestão mecanismos que conduzam a uma minimização das afluências indevidas nas infraestruturas de drenagem de águas residuais. O atual paradigma de gestão de sistemas de drenagem urbana passa pela conceção e implementação de técnicas e procedimentos compatíveis com o desenvolvimento sustentável, isto é, as iniciativas neste domínio devem distinguir-se pela racionalização e otimização dos recursos disponíveis, através da implementação de soluções integradas e economicamente eficazes (Cardoso *et al.*, 1998).

Todos os sistemas de drenagem de águas residuais apresentam entradas de caudais indevidos, mas não existem dois sistemas iguais nem com o mesmo nível de problemas. Para que a mitigação desta problemática seja a mais adequada possível, é inevitável a análise individual de cada caso de estudo: é importante chegar-se a previsões realistas dos volumes excedentários afluentes às redes, conscientes de que haverá sempre um grau de incerteza. O recurso à modelação dinâmica de grandes sistemas de saneamento assume relevância, particularmente no domínio da operação, reabilitação e gestão deste tipo de sistemas, na medida em que oferece a possibilidade de escolha sobre qual a melhor estratégia de atuação para a atenuação do problema em causa.

A modelação computacional de sistemas de drenagem de águas residuais, como instrumento de planeamento, projeto, análise, beneficiação e operação de sistemas, teve início sensivelmente na década de 1970. Desde então, foram desenvolvidos vários modelos destinados à simulação do comportamento dos sistemas de drenagem e dos processos que ocorrem nos coletores, que apresentam diferentes níveis de detalhe e complexidade (Seggelke, 2005). Apesar de, em Portugal, o recurso a este tipo de programas ainda não ser uma prática muito corrente, a modelação tem vindo a assumir um papel de maior relevo, em particular no que de refere a novos procedimentos de gestão integrada de sistemas de águas residuais, resultado da legislação da qualidade da água ser cada vez mais exigente.

## 1.2 Objetivos e âmbito da dissertação

A crescente preocupação com o meio ambiente e o aumento da idade dos sistemas de drenagem urbana são fatores que favorecem o incrementado do uso de modelos matemáticos para analisar a operação, o planeamento e a validação de projetos em sistemas de drenagem urbana. As aflúncias indevidas têm sido identificadas como um dos principais problemas dos sistemas de águas residuais. É reconhecido que estas contribuem largamente para um desempenho insatisfatório, apesar dos elevados investimentos que têm vindo a ser efetuados nestes sistemas.

É neste âmbito que surge este trabalho de investigação, que foi desenvolvido durante um estágio na Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL-LVT) e consistiu na criação, desenvolvimento e calibração de um modelo de simulação dinâmica, utilizando o software *Storm Water Management Model* (SWMM, desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (U.S. EPA)), tendo como objetivos fulcrais a análise do comportamento dinâmico do escoamento e a avaliação das aflúncias indevidas relativas a um caso de estudo real.

No âmbito de um projeto de investigação em desenvolvimento, no qual participam os técnicos da Área de Aflúncias Indevidas da EPAL-LVT, pretende-se avaliar o desempenho técnico do sistema de drenagem da bacia da Lage que se integra no subsistema de drenagem da Costa do Estoril. Para tal, será criado o modelo de simulação dinâmica deste subsistema e, posteriormente, elaborada a calibração da “zona alta”, para tempo seco e para tempo húmido, da bacia da Lage. Após a calibração do modelo correspondente à bacia em questão, proceder-se-á à determinação e análise as aflúncias indevidas que nela ocorrem. Para a calibração deste modelo foi essencial os dados cadastrais



existentes em SIG (*Sistema de Informação Geográfica*) do subsistema de drenagem da Costa do Estoril, bem como os valores de caudal reais, obtidos por medidores de caudal, em pontos estratégicos da bacia da Lage.

### 1.3 Organização do trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, apresentando-se um pequeno resumo sobre cada um deles nos parágrafos seguintes.

No Capítulo 1 é efetuada a introdução ao tema apresentando-se o enquadramento, relevância e objetivos deste trabalho.

No Capítulo 2 são referidos os sistemas de drenagem existentes e as respetivas funcionalidades e é efetuada uma análise detalhada sobre os diferentes tipos de aflúências indevidas, a sua problemática e os seus impactes em sistemas de drenagem urbana. É ainda mencionado o conceito de indicadores de desempenho e alguns projetos de investigação, concluídos ou em desenvolvimento, sobre a temática das aflúências indevidas e dos modelos de simulação de drenagem urbana.

No Capítulo 3 são referidos os aspetos gerais de alguns modelos existentes no mercado de modelação de sistemas de drenagem de águas residuais, bem como o tipo de programas computacionais existentes e as respetivas aplicações e raios de ação. É também neste capítulo que se apresenta com detalhe o software utilizado nesta dissertação, SWMM – Storm Water Management Model, onde são mencionando os seus principais princípios, formulações, características e capacidades.

No Capítulo 4 é apresentado o caso de estudo através de uma descrição detalhada sobre o subsistema de drenagem da Costa do Estoril e a bacia piloto escolhida para esta dissertação, a bacia da Lage. Ainda neste capítulo é referida a visita técnica efetuada ao campo e mencionados alguns aspetos relevantes para uma melhor compreensão do funcionamento do subsistema em análise, bem como a apresentação de dados base/cadastrais utilizados no desenvolver deste trabalho.

No Capítulo 5 é descrito o desenvolvimento do modelo de simulação dinâmica do subsistema de drenagem da Costa do Estoril e as calibrações e validações em tempo seco e tempo húmido para a bacia da Lage. É, também, neste capítulo que são apresentados e analisados os resultados obtidos para os caudais pluviais determinados através dos modelos de simulação; estimados indicadores de desempenho e, ainda, efetuado um estudo sobre critérios regulamentares de velocidade máxima e mínima e altura máxima de lâmina líquida ( $h/D$ ) nos coletores da bacia da Lage em tempo húmido.

Por último, no Capítulo 6 sintetizam-se as conclusões finais relativas ao estudo desenvolvido nesta dissertação e são indicadas perspetivas para trabalhos futuros.

## 2 A PROBLEMÁTICA DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM URBANOS

### 2.1 Considerações introdutórias

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o contexto geral da drenagem urbana e todas as suas implicações. Para tal, faz-se uma breve descrição sobre os diferentes tipos de sistemas de drenagem existentes e as respetivas finalidades no Capítulo 2.2, no Capítulo 2.3 é apresentado com pormenorização o fenómeno das afluências indevidas, sendo que os impactos que daí advém serão identificados no Capítulo 2.4. Posteriormente, serão referidos, no Capítulo 2.5, indicadores de desempenho que auxiliam na avaliação do funcionamento técnico de sistemas de drenagem de águas residuais em tempo húmido e, por último, o Capítulo 2.6 destina-se ao relato de alguns projetos de investigação já desenvolvidos ou em desenvolvimento sobre esta temática.

Nos últimos 40 anos tem-se observado um significativo crescimento das cidades. De acordo com o relatório “Perspetivas da Urbanização Mundial” (ONU, 2018), atualmente 54% da população mundial vive em zonas urbanas e, é esperado que, em 2050 essa percentagem venha a aumentar para 66%. Desde 1950 até 2014 houve um crescimento repentino da população urbana a nível mundial, passando de 746 milhões para 3,9 mil milhões. Portugal não é exceção e, também, se intensificou o aumento da população urbana com especial força nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto. Na Figura 2.1.1 encontra-se um esquema da diferença, em Portugal, entre o crescimento da população em zonas urbanas e zonas rurais esperada até ao ano de 2050 (ONU, 2018).

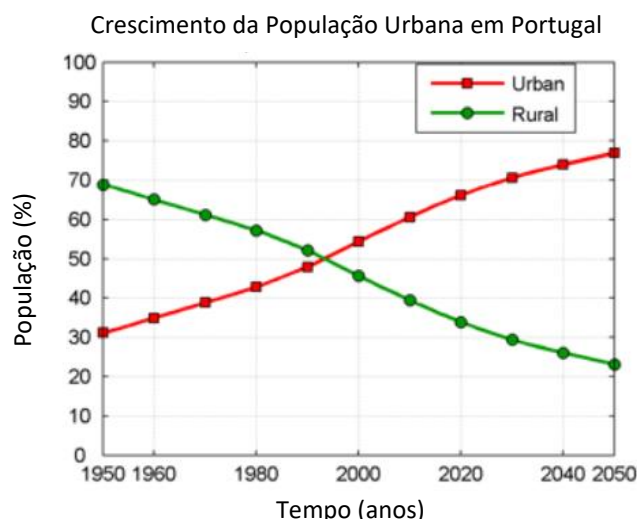


Figura 2.1.1 – Diferença entre o crescimento da população em zonas urbanas e zonas rurais desde 1950 até 2050 em Portugal

O constante crescimento urbano provoca significativas alterações no ciclo hidrológico. Ao aumento dos aglomerados urbanos está associada uma diminuição da permeabilidade do solo, o que resulta num acréscimo significativo nos volumes de escoamento superficial das bacias e de caudais de ponta: a capacidade de infiltração e retenção da água pluvial no solo reduz; o escoamento superficial aumenta

e os tempos de concentração são menores, originando caudais de ponta mais elevados. A concentração das populações e das atividades humanas induz consequências inerentes na intensificação da utilização da água. São inevitáveis os aumentos da quantidade de produção de águas residuais e o seu conseqüente acréscimo das solicitações aos sistemas de drenagem urbana e às respetivas ETAR. A este incremento de solicitações estão associados impactes negativos em diversos níveis, o que implica necessidades acrescidas na racionalização do uso da água, da drenagem das águas residuais e do controlo da poluição gerada pelas descargas nos meios recetores. Estes fenómenos conduziram a uma maior preocupação pelas entidades gestoras na racionalização da drenagem das águas residuais e a um controlo mais rigoroso da poluição que essas águas possam induzir nos meios recetores (Matos *et al.*, 1994).

Uma das grandes finalidades da implementação de sistemas de drenagem de águas domésticas em zonas urbanas é a preservação da saúde pública através do encaminhamento de efluentes domésticos para locais de tratamento adequados. Já a implementação de sistemas de drenagem de água pluvial destina-se à prevenção de ocorrências de inundações em zonas urbanas (Cardoso, 2008).

Nos EUA, o financiamento gasto em infraestruturas de águas residuais foi cerca de 19 biliões de euros (USEPA, 2002) e, o custo estimado para a construção e operação desse género de infraestruturas, entre os anos de 2000 e 2019 será, cerca de, 40 biliões de euros por ano. Nos últimos anos, as cidades europeias investiram cerca de 4 biliões de euros por ano em reabilitações de sistemas de drenagem urbana, valor este que tem, cada vez mais, tendência a aumentar nos próximos anos dado a avançada idade destas infraestruturas (Saegrov, 2005). Em particular, para Portugal, foi estimado um investimento, aproximadamente, de 2,5 biliões de euros entre os anos de 2000 e 2006 (MAOT, 2000). É, assim, possível afirmar que os sistemas de drenagem urbana não só contribuem para a salvaguarda do meio ambiente e da saúde pública, mas também fazem parte do património construído, dado os elevados investimentos realizados e a realizar futuramente, de todos os países que possuam este tipo de infraestruturas (Cardoso, 2008).

A gestão sustentável dos sistemas de drenagem de águas residuais é uma característica cada vez mais cobijada pelas entidades gestoras. O aumento dos critérios regulamentares, da qualidade de serviço e do envelhecimento dos sistemas de drenagem são alguns dos fatores necessários a ter em consideração, no alcance de uma gestão sustentável deste tipo de infraestruturas, dadas as limitações financeiras das entidades gestoras (Cardoso, 2008).

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PENSAAR) 2020 refere, para o período de 2014 a 2020, as necessidades de intervenção no sector, sendo que a estratégia nacional deixa de estar centrada na construção de novas infraestruturas e foca-se na melhoria da gestão dos ativos e na qualidade do serviço prestado aos utilizadores, numa perspetiva abrangente de sustentabilidade, estando o controlo de afluências indevidas claramente identificado como um objetivo a atingir.

## 2.2 Sistemas de drenagem urbana e respetivos constituintes

O bom dimensionamento de sistemas de drenagem urbana envolve o seguinte conjunto de etapas principais: recolha e atualização de dados base cadastrais; estudo de eventuais condicionalismos do local de implementação do sistema; seleção do tipo de sistema de drenagem que se melhor adequa ao projeto em estudo; análise técnica e económica de diferentes soluções e dimensionamento de todas as componentes do sistema de drenagem em análise, tendo em consideração os volumes de caudais de projeto.

Os sistemas de saneamento destinam-se à prestação de um serviço público fundamental para a saúde das populações. Estes sistemas são essenciais para satisfazer as necessidades das comunidades no que respeita ao fornecimento de água e drenagem das águas residuais (Cardoso, 2008).

Os sistemas de drenagem são infraestruturas constituídas, essencialmente, por redes de coletores/conduitas que têm como função captar e conduzir águas residuais domésticas e o afluente industrial e comercial, para instalações de tratamento adequadas, onde se efetuam processos químicos, físicos e biológicos que dotam o esgoto com características menos poluentes preservando, deste modo, a saúde pública e o ambiente (Rodrigues, 2013) e redes de coletores que conduzem as águas pluviais, resultantes do escoamento superficial de áreas impermeáveis das bacias, até um destino adequado, evitando, assim, a ocorrência de inundações (Cardoso, 2008).

A legislação portuguesa em vigor (Decreto Regulamentar n.º 23/95 de agosto- Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais - RGSPDADAR), refere que os sistemas de drenagem de águas residuais podem classificar-se em (Rodrigues, 2013):

- Separativos: compostos por duas redes de coletores distintas (uma destinada a águas pluviais, descarregadas diretamente nos meios recetores, e outra a águas residuais domésticas, comerciais e industriais, encaminhadas para estações de tratamento adequadas (ETAR)), não existindo qualquer ligação entre ambas as redes.
- Unitários: compostos por uma única rede de coletores onde são transportadas simultaneamente águas residuais domésticas, comerciais e industriais e, ainda, águas pluviais. A totalidade das águas afluentes a este tipo de sistemas de drenagem, é encaminhada para estações de tratamento adequadas (ETAR).
- Mistos: resultam da combinação entre os dois tipos de sistemas mencionados acima, parte da rede de drenagem funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo. Este tipo de sistema é mais típico em vilas e cidades antigas.
- Pseudo-separativos: que permitem, em condições excecionais, a ligação de águas pluviais, proveniente da lavagem de telhados, pátios, etc., aos coletores de águas residuais domésticas.

A Figura 2.2.1 representa os tipos de sistemas mais utilizados em Portugal. Na realidade, apesar de em Portugal e na Europa os sistemas serem tecnicamente concebidos como separativos, comportam-se como sistemas unitários, mistos ou pseudo-separativos (Rodrigues, 2013). Este fenómeno ocorre

devido, essencialmente, às afluições indevidas, detalhadas no Capítulo 2.3, que afluem em sistemas do tipo separativo.

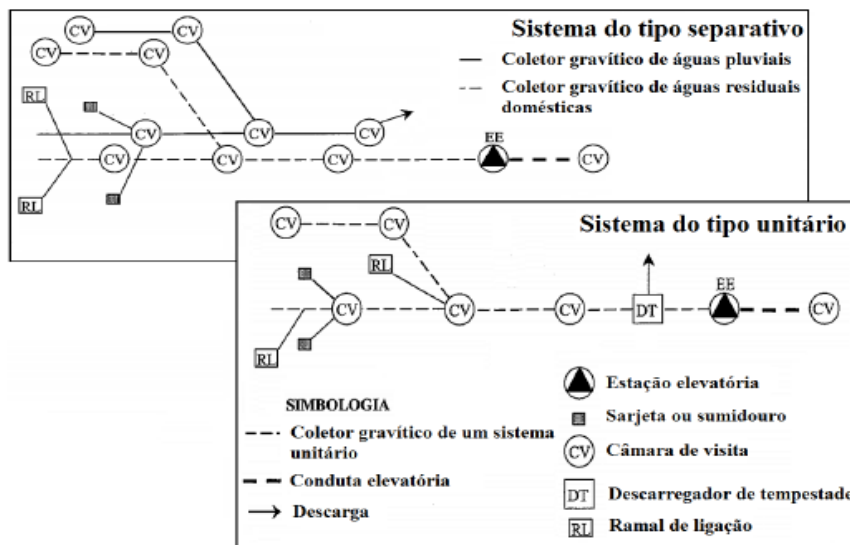


Figura 2.2.1 – Sistemas de drenagem dos tipos separativo e unitário (Marques e Sousa, 2011)

A localização das ETAR e a população de um determinado aglomerado populacional, nomeadamente a densidade populacional e a sua distribuição espacial, são fatores que influenciam as várias características de um sistema de drenagem de águas residuais, como o tipo de sistema a adotar, a dimensão e a extensão dos coletores. A dimensão dos coletores é determinada em função do caudal e da regulamentação local, no que diz respeito aos diâmetros mínimos (Metcalf&Eddy, 1981).

Regra geral, os sistemas do tipo separativo são os mais indicados, na medida em que previnem a contaminação dos meios recetores (destino final), pois as águas residuais são encaminhadas para as ETAR. A este tipo de sistemas estão associados custos elevados de investimento, dado ser necessário implantar dois tipos de tubagens (uma para águas residuais e outra para pluviais), exigindo por essa mesma razão uma construção e implementação mais cuidada (Matos, 2003).

A decisão de utilizar um sistema unitário em vez de um sistema separativo tem sido objeto de discussão, tendo-se optado inicialmente (segunda metade do século XIX) pelo sistema unitário e só mais tarde (início do século XX) pelos sistemas separativos. A escolha do sistema unitário foi em muitos casos uma solução mais económica, uma vez que era possível ligar as diferentes origens da água para o mesmo coletor (Lourenço, 2014).

Na realidade, de acordo com a legislação portuguesa “na conceção de sistemas de drenagem pública de águas residuais em novas áreas de urbanização deve, em princípio, ser adotado o sistema separativo” (RGSPDADAR, n.º 1 do artigo 119º). Porém, podem existir condicionamentos económicos, técnicos e/ou ambientais que inviabilizam esta opção.

Os sistemas unitários prezam pela simplicidade de projeto, face aos restantes tipos de sistemas, nomeadamente na ligação de ramais e coletores. Porém, o caudal drenado por estes sistemas sofre muitas oscilações consoante a ocorrência de precipitações, dificultando todo o processo de dimensionamento hidráulico dos coletores e das próprias ETAR, sendo frequente que as suas capacidades sejam ultrapassadas levando a possíveis descarregamentos de caudal afluyente sem qualquer tipo de tratamento diretamente no meio recetor. Tipicamente, as ETAR que servem os sistemas unitários foram dimensionadas para receber caudais da ordem de 3 a 6 vezes o caudal médio diário em tempo seco. Atualmente, sobretudo nos países do Centro e Norte da Europa, a tendência foca-se em aumentar a capacidade das ETAR para caudais até 10 vezes o caudal médio diário em tempo seco (Bixio *et al.*, 2002).

O sistema de drenagem urbano é constituído por diferentes componentes, sendo possível agrupá-los em três grandes grupos, independentemente do tipo de sistema de drenagem urbano: rede de coletores; sistemas elevatórios, condutas elevatórias e órgãos acessórios e ETAR. Sendo esta uma matéria vasta e minuciosa, apresentam-se, resumidamente, no Quadro 2.2.1 algumas das principais componentes destes dos sistemas de drenagem urbanos e as respetivas finalidades (Rodrigues, 2013; Lourenço, 2014; Cardoso, 2008).

*Quadro 2.2.1 – Algumas das principais componentes dos sistemas de drenagem urbanos e respetivas finalidades*

<b>Componentes</b>	<b>Finalidade</b>
Tubagens no interior dos edifícios	Transporte de águas pluviais e de águas residuais para o exterior da edificação.
Ramais de ligação	Promover a ligação de águas residuais para a rede de drenagem.
Rede de drenagem	Captação das águas residuais do aglomerado ou conjunto de aglomerados.
Emissários e interceptores	Transporte de águas residuais captadas pela rede de drenagem até ao local de tratamento ou de destino final (caso a descarga se efetue no oceano designam-se por emissários submarinos)
Sistemas elevatórios	Transporte de águas residuais em situações. em que a drenagem gravítica não é técnica e economicamente a solução adequada.
Descarregadores	Órgãos em regra ligados a coletores de recurso, entram em operação, por exemplo, para fazer face a avarias ou à afluência excessiva de água dentro dos coletores.
Sifões invertidos	Órgãos que incluem um ou mais trechos com escoamento sob pressão gravítica, a que se recorre quando o escoamento em superfície livre não é técnica e economicamente exequível
Bacias de retenção	Órgãos utilizados, geralmente, em sistemas pluviais e que se destinam principalmente à redução dos caudais de ponta de cheia através de efeitos de retenção e de amortecimento.
Túneis	Quando as condições topográficas e geológicas o justifiquem economicamente, pode recorrer-se à construção de coletores em túnel, isto é, sem recurso á abertura de valas a céu aberto.

## 2.3 Definição e tipos de afluências indevidas

### 2.3.1 Considerações gerais

Genericamente, o conceito de infiltração é a água que se infiltra de forma ilícita na rede de drenagem de águas residuais, do tipo separativo. Existem diversas designações para este fenómeno, desde águas parasitas, águas infiltradas, caudais de infiltração, águas ou afluências indevidas. Contudo, a denominação mais adequada a dar é afluências indevidas.

As afluências indevidas, em sistemas de drenagem urbanos são uma problemática que, embora ainda pouco estudada, vai merecendo uma atenção crescente por parte das entidades gestoras. Para que se consiga efetuar uma intervenção assertiva com a finalidade de corrigir os problemas que advêm das afluências indevidas, são necessários uma análise profunda e um conhecimento, à priori, de noções em hidráulica, geotecnia, planeamento urbano, entre outras ciências intervenientes neste âmbito (Bonito, 2014).

O termo afluências indevidas é designado para caracterizar o caudal que entra indevidamente na rede de drenagem de águas residuais, proveniente, por exemplo, de lençóis freáticos através de fissuras e outros defeitos da rede, e o caudal com entrada direta, provenientes de ligações indevidas de coletores de águas pluviais (Amorim, 2008). Existem inúmeros fatores que promovem a existência de infiltrações em sistemas de drenagem de águas residuais dos quais se destacam os seguintes (Amorim, 2008; Gomes, 2015): fenómenos pluviométricos; nível freático elevado; maturação da rede de drenagem e corrosão das câmaras de visita.

De acordo com estudos realizados, Ellis (2001) refere que, no Reino Unido, as ligações domiciliárias contribuem, em média, com cerca de 30% a 40% da infiltração nas redes. Stevens (1998), num estudo realizado em Nova Iorque, estima que cerca de 50% do caudal afluyente à ETAR tem origem em infiltração. A partir de estudos experimentais em França, Belhadj *et al.* (1995) reportam valores de 42% do caudal em tempo seco. Em Portugal, embora a medição sistemática não seja ainda prática corrente, inspeções casuais dão indicação da sua ocorrência significativa, quer em coletores, quer em câmaras de visita. Gamboa *et al.* (2000) referem valores de caudal de infiltração em diversas bacias de drenagem até 50% do caudal de tempo seco.

Em Portugal, os sistemas de drenagem urbana são dimensionados de acordo com os critérios do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Água Residual (DR nº 23/95) (Gomes, 2015). Desde que não se disponha de dados experimentais locais ou de informações similares, este regulamento tem em conta uma parcela de caudal, representando o valor de eventuais infiltrações, que depende do tamanho da rede de drenagem a construir: a parcela a considerar será igual ao caudal médio anual em redes de pequenos aglomerados, com coletores a jusante até 300mm, e proporcional ao comprimento e diâmetro dos coletores nas redes de médios e grandes aglomerados. No caso de redes de grandes aglomerados, quando se trate de coletores recentes ou a construir, podem estimar-se valores de caudais de infiltração da ordem de 0,5 m<sup>3</sup>/dia a 4 m<sup>3</sup>/dia.

Alguns casos reais já estudados comprovam que os caudais infiltrados chegam a ultrapassar os caudais de projeto de águas residuais, levando a alterações significativas do ponto de vista hidráulico. Com o eventual aumento de caudal, os coletores da rede de drenagem podem entrar em carga aumentando os problemas de estanqueidade dando, assim, início a um ciclo de deterioração precoce dos sistemas (Coelho, 2013).

As afluências indevidas são muito distintas quanto às suas origens, quanto a comportamentos e a efeitos, quanto ao local de entrada na rede e às soluções a serem adotadas para a sua mitigação. Existem vários tipos de afluências indevidas, identificadas e detalhadas no Capítulo 2.3.2, que contribuem para o aumento de caudal nos sistemas de drenagem, dentro desses tipos de infiltrações existem dois que podem contribuir de forma significativa para o incremento de caudal e, geralmente, são fáceis de identificar, são eles: infiltrações diretas, caso resultem de contribuições diretas de fenômenos pluviométricos, ou indiretas, associadas à proximidade dos coletores a águas subterrâneas (Amorim *et al.*, 2007), tal como está ilustrado na Figura 2.3.1. No entanto, apesar destas duas definições simplistas, o fenômeno das afluências indevidas é muito mais complexo e de definição mais difícil.

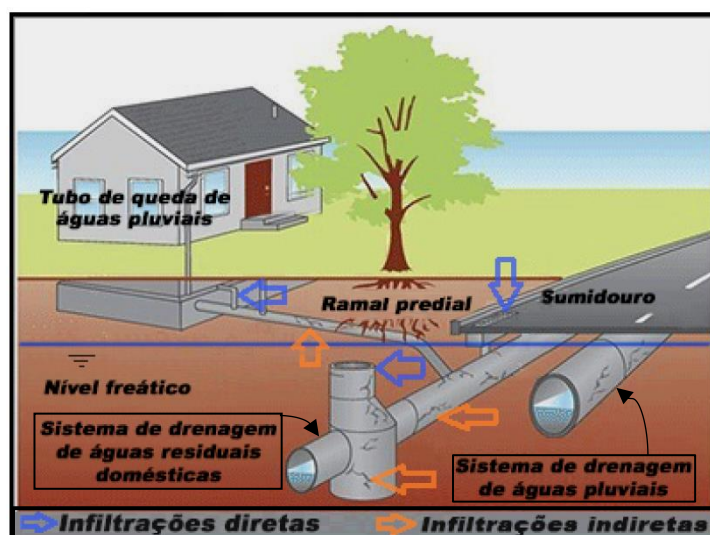


Figura 2.3.1 – Infiltrações com origem direta e indireta na precipitação em sistemas separativos (York, 2012)

No conceito de afluências indevidas também estão incluídas as descargas não licenciadas/negligenciadas, que são as ligações de coletores/ramais de águas pluviais à rede de águas residuais, ou vice-versa. Apesar deste tipo de ligações poder assumir um grande peso no caudal afluente, como se tratam de situações pontuais de origens desconhecidas e impossíveis de prever, geralmente não são contabilizadas nas análises de infiltração (Bonito, 2014).

Uma vez que os caudais de infiltração influenciam, sobretudo, negativamente o desempenho dos sistemas de drenagem, bem como o das estações de tratamento, surge a necessidade de caracterizar estes caudais, nomeadamente quanto à sua origem e natureza, numa tentativa de minorar o seu aparecimento (Almeida e Monteiro, 2004).



### 2.3.2 Tipos de afluências indevidas

É relativamente consensual que a definição de afluências indevidas não é um termo claro, devido às suas diversas proveniências e origens (Rodrigues, 2013). Contudo, dependendo do tipo de sistema existente, podem identificar-se diversos tipos de afluências indevidas.

Nos sistemas unitários, as afluências indevidas incluem (Almeida e Cardoso, 2010):

- Afluências de águas residuais industriais com características inadequadas ou não autorizadas, por não cumprimento do disposto na licença de descarga, por falta de pré-tratamento adequado ou por falta de licenciamento;
- Afluências excessivas de caudais pluviais, devido a expansão de zonas urbanas ou de ligação de drenagem de redes viárias ou outras, excedendo a capacidade dos coletores unitários;
- Afluências de pluviais retardadas, resultantes da infiltração através do solo a pequena profundidade e entrada através de defeitos nos órgãos da rede de drenagem (fissuras, fraturas, juntas sem vedação);

Nos sistemas de águas residuais, as afluências indevidas incluem (Almeida e Cardoso, 2010):

- Afluências de pluviais diretas, resultantes de ligação ilícita de ramais pluviais de edificações ou outras instalações, de ligação indevida de ramais de sumidouros, por falta de estanquidade de componentes do sistema (tampas de câmaras de visita), ligação de coletores pluviais a sistemas de água residual ou interligação entre redes pluviais e residuais;
- Afluências de pluviais retardadas, resultantes da infiltração através do solo a pequena profundidade e entrada através de defeitos nos órgãos da rede de drenagem;
- Afluências da rede natural de drenagem através da entrada de caudal pelos coletores de descarga não providos de válvula antirretorno (válvula de maré ou bico de pato);
- Afluências de água devido a fugas de redes de distribuição de água, drenagem de caves, etc.;
- Infiltração com origem em águas subterrâneas através de defeitos nos órgãos da rede de drenagem, devido aos coletores estarem assentes abaixo do nível freático, uma vez que a infiltração apresentará flutuações consoante a variação sazonal do nível freático;
- Afluências de águas residuais industriais com características inadequadas ou não autorizadas, por incumprimento do disposto na licença de descarga, por falta de pré-tratamento adequado ou por falta de licenciamento.

Nos sistemas separativos pluviais, as afluências indevidas incluem (Almeida e Cardoso, 2010):

- Afluências de águas residuais domésticas, derivado de ligação de ramais domésticos de edificações ou outras instalações;
- Afluências de águas residuais industriais, resultantes de ligação indevida dos coletores ou ramais de indústrias.

Com o intuito de sintetizar a informação, apresenta-se, de seguida, no Quadro 2.3.1 a sumarização dos diferentes tipos de origens de afluências indevidas, independentemente do tipo de sistema de drenagem em análise.

Quadro 2.3.1 – Tipos de afluências indevidas

<b>Contribuições Freáticas</b>	Infiltração de água do subsolo e aquíferos
	Infiltração por fendas/fraturas na rede (falta de estanqueidade)
<b>Contribuições Pluviais</b>	Escoamento superficial que entra através das tampas de câmaras de visita
	Infiltração por ramais cruzados
	Infiltração por fendas/fraturas na rede (falta de estanqueidade)
<b>Contribuições Domésticas</b>	Ligações indevidas diretamente ao coletor pluvial
	Ligações indevidas diretamente ao meio recetor
<b>Contribuições Industriais</b>	Ligações indevidas diretamente ao coletor pluvial/doméstico/unitário sem licença de descarga
	Ligações com licença de descarga mas que não cumprem os parâmetros de qualidade estabelecidos
<b>Contribuições de Maré</b>	Entradas diretas no coletor residual através de pontos de descarga ligados ao meio recetor
	Infiltração de água salina

### 2.3.2.1 Contribuições subterrâneas

As contribuições freáticas para as afluências indevidas correspondem ao caudal que entra nos sistemas de águas residuais proveniente de origens subterrâneas. As contribuições freáticas caracterizam-se por serem pouco influenciadas por eventos pluviométricos isolados. No entanto, têm tendência a manterem-se relativamente persistentes ao longo do tempo, apresentando uma variação principalmente sazonal (Almeida e Monteiro, 2004).

O caudal que se infiltra devido ao elevado nível freático pode, de forma indireta, assumir picos associados a eventos de precipitação, no entanto estes picos aparecem, por norma, de forma lenta, derivada à constituição geológica do terreno (Gomes, 2015).

Este tipo de infiltrações ocorre devido a inúmeros fatores, mas deve-se essencialmente à fraca estanqueidade dos órgãos dos sistemas de drenagem e ao elevado nível freático, isto é, a um nível superior ao da cota da soleira dos coletores (Bonito, 2014). É natural que a posição do nível freático vá sofrendo alterações, por vezes significativas, consoante a época do ano. Observando a Figura 2.3.2 pode-se constatar que quanto maior o desnível entre o nível freático e uma certa fissura “A” no coletor ( $\Delta h$ ), maior será o volume de caudal que se infiltra por essa mesma fissura.

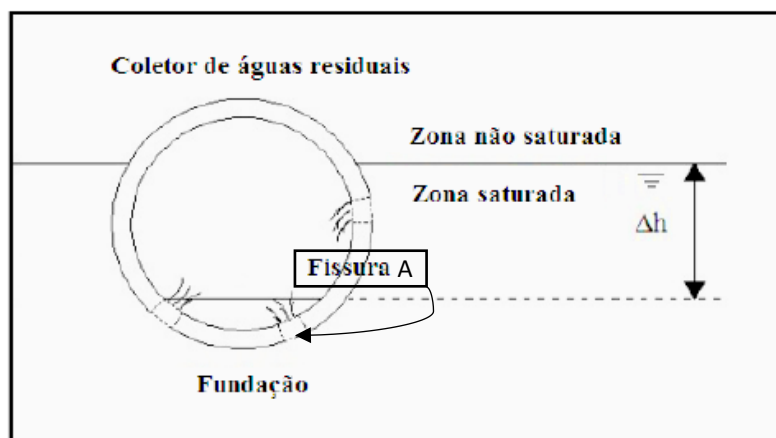


Figura 2.3.2 – Efeito que a subida do nível de águas subterrâneas provoca num coletor (Franz,

De forma sucinta, destacam-se os seguintes fatores que incentivam à ocorrência este tipo de contribuições para as afluências indevidas (Almeida e Monteiro, 2004; Cardoso, Almeida e Coelho, 2002; Kretschmer, Ertl e Koch, 2008; Merrill e Butler, 1994):

- A topografia e tipo de solo onde se encontra inserida a rede de drenagem;
- A proximidade de aquíferos à rede de drenagem;
- A localização do nível freático em relação à cota da soleira dos coletores;
- A percolação de água de origem pluvial no solo e às infiltrações provenientes de fugas nas condutas de abastecimento de água, que provocam o arrastamento das partículas mais finas do solo. Estes fenómenos provocam o assentamento do coletor que pode originar a sua fissuração;
- O tipo de juntas e ao modo como são efetuadas as ligações entre os vários troços de coletores, pois uma deficiente qualidade na execução da ligação poderá originar a ocorrência de infiltrações;
- O comprimento da rede, dos diâmetros dos coletores, do número de câmaras de visita e de ramais de ligação, que afetam fortemente a ocorrência de infiltrações, quanto maior a extensão da rede, maior é a probabilidade da sua ocorrência;
- A má qualidade dos materiais utilizados na reparação e substituição dos vários materiais da rede de drenagem;
- A ataques químicos e fenómenos de seticidade (falta de oxigénio e libertação de certos gases), que podem corroer o material da rede de drenagem originando fissuras;
- O tempo de vida útil do sistema de drenagem, pois facilmente se percebe que os sistemas de drenagem de águas residuais mais antigos apresentam maiores fragilidades em comparação com os mais recentes;
- A fraca resistência à compressão diametral das tubagens, que podem sofrer danos devido às sucessivas passagens de veículos pesados.

### 2.3.2.2 Contribuições de caudal pluvial

As contribuições pluviais correspondem ao caudal proveniente da precipitação que se infiltra nos sistemas de drenagem de água residual. Estas contribuições mantêm uma relação direta e imediata no tempo com os eventos pluviométricos, ou seja, caso não ocorra precipitação não se manifestam.

Estas infiltrações podem ocorrer de diversas formas, nomeadamente por proximidade entre coletores de águas pluviais e coletores de águas residuais que possuam fissuras/fraturas devido ao seu estado de degradação, e/ou também por ligações negligenciadas ou clandestinas de caudal que deveria afluir às redes pluviais.

A existência de afluições pluviais a sistemas separativos residuais é, em regra, facilmente detetável através da monitorização de caudais que evidencia a existência de elevados caudais de ponta, afluentes às Estações de tratamento de águas residuais, associados a eventos pluviométricos, geralmente, de longa duração (Almeida e Monteiro, 2004).

As contribuições pluviais são menos complexas comparativamente com as contribuições freáticas e ocorrem fundamentalmente devido aos seguintes fatores (Mortinho, 2011; Coelho, 2013; Bonito, 2014):

- Existência de ligações entre ramais de sumidouros de rede pública ou de água pluvial a sistemas do tipo separativo residual, tal como ilustra a Figura 2.3.3 (a);
- Não existência de um sistema de drenagem de águas pluviais;
- Coletores de águas pluviais ligados a coletores de águas residuais;
- Topografia do terreno onde a rede de drenagem está instalada: se o terreno se apresentar em vale, a água concentra-se no centro deste levando ao incremento do volume de caudal pluvial infiltrado;
- Falta de estanqueidade do sistema de drenagem (deterioração de tampas das câmaras de visita, deterioração dos próprios coletores etc.), tal como ilustra a Figura 2.3.3 (b).

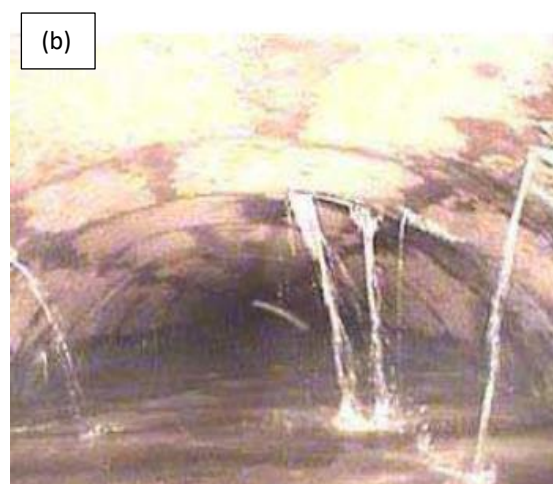
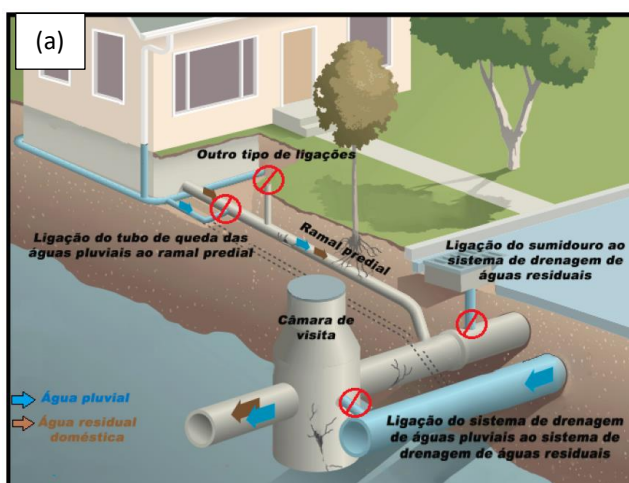


Figura 2.3.3 – (a) Ligações indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais que proporcionam a ocorrência de infiltrações de contribuições pluviais (York, 2012) e (b) Interior de um coletor com evidências de infiltração (RedZone Robotics)

É espectável que na parte da rede em baixa dos sistemas de drenagem de águas residuais ocorra um volume de infiltrações de água pluvial superior comparativamente à parte em alta, dado que na parte em baixa, geralmente, a extensão dos coletores, a densidade de ramais de ligação e de câmaras de visita é superior, o que contribui para o incremento de discontinuidades (Brandão, 2015).

Considera-se que os caudais, provenientes de contribuições pluviais, afluentes às redes de drenagem de águas residuais podem diferenciar-se consoante o seu tipo: escoamento direto ou drenagem rápida (Almeida e Monteiro, 2004).

Em relação ao escoamento direto de água pluvial, os volumes afluentes, a sistemas de águas residuais, refletem-se proporcionalmente com a intensidade e duração desse mesmo fenómeno, ou seja, quanto maior for a duração e intensidade da precipitação, maior será o tempo de permanência destes caudais da rede de saneamento. Os coletores afetados por estas infiltrações sofrem um incremento rápido de caudal, podendo mesmo chegar a entrar em carga. Geralmente, estes caudais aparecem após fortes chuvadas e dissipam-se pouco tempo depois da precipitação cessar, a sua existência pode variar de alguns minutos a algumas horas. Apesar de representarem uma parcela do caudal afluente de distribuição aleatória, uma vez que resulta da ocorrência ou não de precipitação, são facilmente detetáveis (Barreto, 2011).

Em relação à drenagem rápida, os caudais afluentes às redes de água residual resultam da percolação da água através do solo, antes de esta se infiltrar nos lençóis freáticos, apresentando uma resposta rápida e direta à sua ocorrência de precipitação. O seu tempo de resposta pode ser de alguns minutos a algumas horas, razão pela qual este tipo de caudal se torna bastante expressivo aquando da existência de eventos pluviométricos mais prolongados (Almeida e Monteiro, 2004).

Em suma, pode-se então afirmar que o escoamento direto e a drenagem rápida são fenómenos que, apesar de temporários, contribuem significativamente no incremento de caudais de infiltração em sistemas de drenagem de águas residuais.

No que se refere a sistemas mistos, o principal ponto de entrada de caudais pluviais encontra-se na fronteira onde ocorre a passagem de um sistema unitário para um sistema separativo, através dos designados descarregadores de tempestade (David e Barroso, 2017), como por exemplo, o descarregador ilustrado na Figura 2.3.4.



*Figura 2.3.4- Descarregador tipo murete em tempo seco num sistema de drenagem misto*

As implicações deste fenómeno podem incluir: o aumento dos custos de exploração (gastos energéticos, gastos de manutenção, etc.), a redução da eficiência do tratamento, inundações e ocorrência de possível descarga de água residual não tratada diretamente no meio recetor, uma vez que o coletor deixa de ter capacidade hidráulica para receber entradas de caudal residual a jusante (David e Barroso, 2017).

### 2.3.2.3 Contribuições de caudal doméstico

Nos sistemas separativos pluviais, o impacto provocado pelas ligações indevidas tem um efeito contínuo, isto é, durante todo o ano. Sendo que a rede separativa pluvial descarrega diretamente nos meios recetores, o facto de haver ligações de ramais residuais à rede separativa pluvial tem um efeito direto e indesejável na qualidade das águas recetoras. Os efeitos da descarga de afluentes domésticas não tratadas no meio recetor variam consoante a suscetibilidade do mesmo sendo que os impactes mais comuns são: diminuição da concentração de oxigénio dissolvido, aumento de  $CBO_5$ , mau odor, ocorrência de eutrofização e contaminação por patogénicos. Na Figura 2.3.5 encontra-se ilustrada uma situação de descarga que contém água contaminada diretamente num meio recetor hídrico.



*Figura 2.3.5 – Descarga de afluentes residuais num meio recetor hídrico (David e Barroso, 2017)*

A existência de ligações indevidas deve-se frequentemente não só a ligações feitas por negligência, mas também a atos deliberados clandestinos. As ligações indevidas de caudais domésticos em coletores pluviais podem ocorrer diretamente nas câmaras de visita ou em coletores, tal como ocorre nas ligações indevidas de caudais pluviais. É mais frequente existir ligações diretas a câmaras de visita de sistemas separativos pluviais em pequenos aglomerados. Estas ligações indevidas poderão ser confirmadas através de inspeção visual em coletores visitáveis, inspeção CCTV em coletores de menor dimensão ou testes de fumo (David e Barroso, 2017).

### 2.3.2.4 Contribuições de caudal industrial

As águas residuais industriais caracterizam-se, dependendo do tipo de processamento industrial, pela diversidade dos compostos químicos e físicos que contêm. Este tipo de águas residuais, sempre que possam ser misturadas com as águas residuais domésticas (com vantagens económicas), deve obedecer às regras previstas no Decreto Regulamentar nº 23/95. Geralmente, caso este tipo de águas não cumprir com essas regras, poderão sofrer um eventual pré-tratamento, adequado às suas

características físicas, químicas e microbiológicas, e, posteriormente, ser conduzidas a sistemas de drenagem de águas residuais domésticas ou pluviais, conforme a sua semelhança.

Os regulamentos de descarga de águas residuais industriais definem os limites dos valores de qualidade que um caudal industrial deve obedecer sob pena de danificar fisicamente o sistema e perturbar o bom funcionamento das ETAR a que afluí.

Posto isto, considera-se afluência indevida de caudais industriais sempre que existam, essencialmente, (David e Barroso, 2017):

- Ligações trocadas ou clandestinas ao coletor (pluvial/doméstico/unitário) sem o pedido prévio de descarga à entidade licenciadora do sistema;
- Ligações com licença de descarga ao coletor (pluvial/doméstico/unitário) mas que não cumprem os parâmetros de qualidade estabelecidos pelos regulamentos municipais de descargas de águas residuais industriais ou pelos regulamentos do sistema em “alta”.

Os principais constrangimentos para lidar com as descargas industriais indevidas incluem (David e Barroso, 2017):

- Detecção do problema após impacto negativo no tratamento (substâncias tóxicas sem cheiro nem cor);
- Dificuldade em estabelecer relação causa-efeito;
- Dificuldade na determinação da fonte da descarga;
- Entidade com poder sancionatório distinto da entidade gestora.

### 2.3.2.5 Contribuições de caudal de maré

As redes coletoras localizadas próximos de estuários ou em zonas litorais apresentam, frequentemente, infiltrações de água salgada. A amplitude das contribuições de caudal de maré é frequentemente desconhecida, sendo a sua origem associada principalmente à entrada direta de águas salinas através de (David e Barroso, 2017; Soares *et al.*):

- Pontos de contacto entre a rede de águas residuais e a descarga no curso de água, como é o caso ilustrado na Figura 2.3.6, que representa uma descarga junto ao Rio Tejo, protegida com válvula de maré, mas com uma abertura superior na câmara da válvula para permitir um “alívio” da rede durante eventos de precipitação forte acabando por permitir a entrada de maré;
- Descargas de emergência das EE instaladas junto a cursos de água com válvulas de maré deficientes;
- Coletores que se encontrem em cotas inferiores às do mar em zonas permeáveis à penetração de água salgada.



Figura 2.3.6 – (a) Ponto de descarga no Rio Tejo, com válvula de maré a montante (David e Barroso, 2017) e (b) Câmara de válvula de maré do descarregador representado na figura à esquerda (David e Barroso, 2017)

Em regra, o problema de intrusão salina tem consequências mais gravosas quanto maior for a idade da infraestrutura, face, designadamente, ao seu deficiente estado de conservação. Dos vários problemas que estas contribuições provocam nas infraestruturas de transporte e tratamento de águas residuais, destacam-se os seguintes (Appleton *et al.*, 2004; David e Barroso; 2017):

- Aumento dos caudais afluentes e dos tempos de funcionamento dos grupos elevatórias, designadamente em períodos de marés de maior amplitude que leva a aumento dos custos energéticos de bombagem;
- Aceleração da degradação de elementos metálicos dos sistemas de drenagem, tal como ilustra a Figura 2.3.7 (a);
- Aumento da concentração de parâmetros associados à salinidade, como por exemplo cloretos que corroem o betão dos equipamentos dos sistemas de drenagem, tal como ilustra a Figura 2.3.7 (b);
- Problemas ao nível do tratamento das águas residuais dentro das ETAR, tanto em processos físico-químicos, como é o caso da decantação, como em processos biológicos, onde poderá levar à destruição da comunidade microbológica.



Figura 2.3.7 – (a) Deficiente estado de conservação de uma válvula de maré para descarga de emergência de uma EE (Soares *et al.*) e (b) Câmara de visita situada a montante de uma EE apresentando várias ligações à rede de drenagem (lado esquerdo), sendo que uma delas corresponde a uma abertura por corrosão do betão onde se



## 2.4 Problemática das aflúências indevidas

### 2.4.1 Considerações gerais

O aumento dos afluentes domésticos, industriais e pluviais nos sistemas de drenagem, resultante do crescimento urbano, bem como dos caudais de infiltração, avulta a probabilidade de elementos desses mesmos sistemas, que se dispõem a jusante, encontrarem-se subdimensionados. Na prática, os valores dos caudais de infiltração podem exceder significativamente os valores de projeto, em particular após fortes chuvadas, sendo frequentemente subestimados. Em termos quantificáveis, estima-se que o volume de infiltração de base pode, em certos casos, exceder 50% do volume total de águas residuais (Kracht, 2007), o que leva a que a capacidade das ETAR seja ultrapassada, obrigando a que parte do caudal seja descarregado, diretamente nos meios hídricos recetores, sem qualquer tipo de tratamento. Os problemas de qualidade da água resultantes dessas descargas e as medidas para o seu controlo e redução têm constituído temas de intensa investigação no domínio de engenharia sanitária na maioria dos países europeus.

A água subterrânea que se infiltra nos sistemas de drenagem é, geralmente, de boa qualidade, com menor poluição até que os efluentes tratados das ETAR. No entanto, caso atinjam valores significativos, estas infiltrações podem dar origem, entre outros, aos seguintes problemas (White et. al, 1997): aumento dos custos de operação (ETAR) e manutenção geral do sistema de drenagem; incremento de caudal dentro dos coletores, o que pode levá-los a entrar em carga; aumento do número de descargas de efluentes por tratar no meio recetor, contribuindo para a sua poluição; eventuais entradas de materiais sólidos nos coletores que podem provocar danos nas infraestruturas dos sistemas de drenagem.

Importa referir que o fenómeno das aflúências indevidas não revela, apenas, impactes negativos nos sistemas de drenagem, embora de importância diminuta, ajudam a promover o seu varrimento e a sua limpeza, principalmente em períodos de menor caudal como durante a noite, isto é, grande parte da matéria mineral e orgânica que se encontra depositada nas superfícies da bacia de drenagem e no interior dos coletores, nos períodos de tempo seco anterior às chuvadas, é arrastada, contribuindo para o aumento das cargas poluentes transportadas em suspensão (David, 2005). Com esta autolimpeza, a infiltração permite, assim, prevenir a acumulação de sólidos e sedimentos nos coletores e diminuir o risco de processos anaeróbios, o odor e a corrosão das tubagens (Kracht et al., 2008).

Todavia, a magnitude dos impactes nefastos que a problemática das aflúências indevidas acarreta é significativamente superior aos seus impactes benéficos. A infiltração é então uma componente indesejada nos sistemas que origina impactes de carácter multidimensional, isto é, impactes a nível (Kracht et al., 2008; Amorim, 2007):

- Ambiental e Saúde Pública: correspondem aos impactes que produzem consequências nefastas ao nível do meio ecológico onde o sistema de saneamento se encontra inserido e a saúde da população residente na área de afetação;

- Socioeconómico: correspondem aos impactes diretos sociais e económicos na população residente na área de influência da rede sanitária;
- Técnico/estrutural: correspondem aos impactes provocados na estrutura própria rede de drenagem.

A quantificação destes impactes constitui uma questão essencial no que se refere à gestão da reabilitação dos sistemas, com vista à mitigação deste problema e, também, de forma a aferir a eficácia de medidas implementadas para o efeito (Kracht *et al.*, 2008). Não é possível determinar com exatidão o volume de água infiltrada, devido à sua ambiguidade espacial e temporal, uma vez que, tanto se pode registar um incremento rápido e abundante, como lento e diminuto, dependendo da sua procedência e origem (Cardoso, 2002). É também relevante referir que a eliminação total das infiltrações nos sistemas de drenagem urbana é, na prática, impossível, mas é desejável conhecer e controlar, na medida do possível, este problema.

Para as entidades gestoras de águas residuais, a sua principal prioridade, geralmente, tem sido a expansão dos sistemas de drenagem, pretendendo-se aumentar o nível de atendimento às populações. O combate às afluências indevidas tem-se restringido às novas expansões de rede. Aspirando, que sejam concebidas e executadas de forma a garantirem, à partida, a minimização do risco de presença de afluências indevidas, significativas. Mesmo assim, na prática, os valores dos caudais de infiltração excedem significativamente os valores de projeto, sendo frequentemente subestimados.

Considerando a informação disponível no Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP 2014), onde são apresentados os principais resultados da avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores, é possível efetuar uma caracterização geral atualizada relacionada com a problemática das afluências indevidas em Portugal. Sumariamente, das 283 entidades gestoras avaliadas verifica-se que (LNEC, 2018):

- 42% das entidades gestoras de sistemas em alta apresentam problemas de inundações com níveis de qualidade de serviço insatisfatórios;
- 25% das entidades gestoras de sistemas em baixa, apresentam níveis insatisfatórios relativos à ocorrência de inundações;
- 3% das entidades gestoras apresentam um índice de medição de caudais superior a 50, evidenciando que a prática de medição e gestão de caudais nas redes de drenagem de águas residuais ainda é escassa. Sendo este tipo de informação necessário para uma gestão e controlo de afluências indevidas adequados, é evidente a necessidade de investimento por parte das entidades gestoras.

#### 2.4.2 Impactes ambientais/saúde pública

Quando a infiltração de água é suficiente pode levar a que os coletores das redes de drenagem passem de um regime de superfície livre, que é o funcionamento ideal de um coletor, para um regime sob pressão, isto é, no próprio coletor ou nas câmaras de visita podem ocorrer fenómenos de exfiltração e, em casos mais gravosos, pode também ocorrer extravasamento do efluente residual para a via pública

e para o meio onde se encontra instalado o coletor ou a câmara de visita. Esta perda de água residual para o exterior, para além de provocar mau odor e ser esteticamente censurada, é nociva à saúde pública e aos ecossistemas envolventes (Almeida e Monteiro, 2004).

O extravasamento de efluente à superfície pode também provocar percussões sérias a nível ecológico, a contaminação dos solos envolventes e os cursos de água adjacentes representam um aspeto nocivo, não só à saúde pública, como também à estabilidade dos ecossistemas e dos respetivos seres vivos (Almeida e Monteiro, 2004). Este problema pode atingir proporções elevadas uma vez que a água contaminada infiltrada no solo tende a alastrar-se contaminando outros ecossistemas que não se encontram nas mediações do incidente de extravasamento (Coelho, 2013).

As aflúncias indevidas fazem aumentar o volume de efluente às estações elevatórias e às ETAR, o que leva à sobrecarga destes sistemas. Um maior volume de efluentes resulta em maior tempo de funcionamento das bombas das estações elevatórias, sendo frequentemente necessário efetuar um by-pass, isto é, realizar uma descarga de emergência do efluente por tratar diretamente no meio recetor causando, desta forma, uma maior concentração de poluentes na zona da descarga (Cardoso *et al.*, 2006).

Outro ponto a salientar, embora pouco registado, são os casos em que existem redes de abastecimento de água à população instaladas próximo de redes de drenagem de águas residuais, quando ocorrem fenómenos de exfiltração da água residual, esta pode contaminar a água potável da rede de abastecimento tornando-se num problema de eventual gravidade (Coelho, 2013).

Este é, sem dúvida, o impacte mais prejudicial para a “boa imagem” das entidades gestoras responsáveis pelos sistemas de drenagem.

### 2.4.3 Impactes técnicos/estruturais

Estas impactes são, talvez, aqueles que podem ser minimizados logo desde início, isto é, através da realização cuidada do projeto e da construção das infraestruturas e, também, através de uma fase de exploração em que haja monitorização e manutenção do sistema. O desempenho da rede em termos hidráulicos está intrinsecamente ligado ao dimensionamento inicial e ao cuidado aquando da execução da obra, que pode ser controlada com a fiscalização, com a contratação de operadores mais qualificados e com a escolha mais eficiente dos materiais a utilizar.

As estações elevatórias são particularmente sensíveis a volumes excedentes, pois mais caudal significa maior volume a elevar e, como tal, mais tempo de funcionamento que, naturalmente, aumenta o desgaste e diminui o tempo de vida útil dos equipamentos, especialmente quando se trata de transportar água residual, que como é sabido, por vezes, inclui uma grande componente de materiais sólidos (Coelho, 2013).

Como já foi referido, um dos fatores que promove as infiltrações em sistemas de drenagem, é a existência de problemas nos coletores, como fissuras, fraturas ou juntas mal executadas, que surgem

geralmente por falta de cuidados ou mesmo erros aquando da execução da obra. No entanto, verifica-se também que a falta de manutenção regular favorece o aparecimento de fissuras/fraturas nos coletores de drenagem (Franz, 2007). Na Figura 2.4.1 (a) é apresentada, a título de exemplo, uma imagem proveniente de um CCTV (Circuito Fechado de Televisão), que consiste numa tecnologia de identificação de anomalias dentro de redes de drenagem através de um robot nutrido de câmaras de filmar e na Figura 2.4.1 (b) apresenta-se uma situação onde as juntas entre dois coletores se encontram mal executadas sendo perfeitamente notável a entrada indevida de água vinda do exterior do coletor.

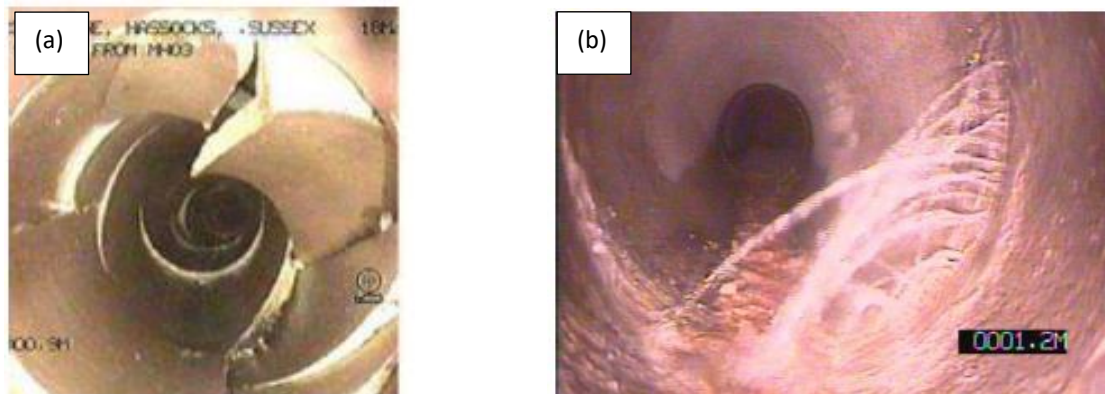


Figura 2.4.1 – (a) Rotura de um coletor de uma rede de drenagem, obtida através da tecnologia CCTV (Gomes, 2015) e (b) Infiltração numa junta entre coletores [www.surrey.ca]

Durante a fase de exploração da rede de drenagem, é importante que a entidade gestora monitorize o sistema e que vá realizando a sua manutenção e obras de reabilitação nos locais mais problemáticos. Se a manutenção das estruturas for negligenciada por parte das entidades gestoras, rapidamente se entra num ciclo de deterioração, esquematizado na Figura 2.4.2, que pode levar a encargos significativos nas reparações necessárias a serem efetuadas na rede de drenagem.



Figura 2.4.2- Ciclo de deterioração dos sistemas de drenagem de águas residuais devido às infiltrações indevidas

#### 2.4.4 Impactes socioeconómicos

Os custos do processo de drenagem de águas residuais e do posterior tratamento nas ETAR são gravemente inflacionados com a ocorrência de aflúências indevidas. Existe uma ligação direta entre o aumento dos volumes de efluente a tratar, devido às aflúências indevidas, e o aumento de encargos

operacionais, designadamente nas estações elevatórias e nas ETAR que são diretamente responsáveis por encargos relacionados com o consumo elétrico.

À ocorrência de aflúncias indevidas também está associado um custo de manutenção, ou seja, gastos associados à necessidade de reabilitação ou manutenção de órgãos dos sistemas de drenagem que causem diretamente grandes volumes de aflúncias indevidas e também medidas de fiscalização no campo (Galvão, 2009). No entanto, estas reparações, principalmente em meio urbano, implicam geralmente constrangimentos ao nível da circulação automóvel e até mesmo dos peões, o que leva a perturbações de diversos níveis, traduzindo-se em impactes na vida quotidiana dos cidadãos e prejuízos ao nível do comércio, refletindo-se em descontentamento geral (Coelho, 2013).

A opinião pública e as questões do âmbito social são fatores importantes e que não devem ser negligenciados, pois, em última análise, o acréscimo de custos será sempre suportado pela sociedade, quer a nível económico com o aumento de tarifas, quer a nível da qualidade de vida.

## 2.5 Indicadores de desempenho

Um indicador de desempenho (ID) é um valor que resulta, normalmente, de uma razão entre diferentes variáveis e possui um intervalo/grau de confiança que traduz, de certa forma, a qualidade do fator/aspecto em análise, sendo expresso em unidades específicas. Estes indicadores medem, quantitativamente, a eficiência e eficácia de um determinado serviço prestado por uma entidade. A informação por eles fornecida representa o resultado da comparação com valores do mesmo indicador ao longo do tempo; com um dado valor objetivo ou, ainda, com valores de outras entidades (Alegre *et al.*, 2006).

A escolha dos indicadores de desempenho que se melhor adequam a um determinado estudo ou análise, exige um processo cuidadoso de definição dos objetivos a atingir. Os indicadores devem ser selecionados de acordo com o contexto a que serão aplicados (IISDnet, 2000).

Atualmente, os indicadores de desempenho são muito utilizados em diversos sectores da indústria sobretudo para fundamentar processos de tomada de decisão económico-financeira. A sua aplicação à indústria da água, iniciou-se no domínio do abastecimento de água (Alegre, 1992; Matos *et al.*, 1993).

Na situação atual, os problemas das aflúncias indevidas nos sistemas de drenagem urbana não foram encarados como prioritários, sendo os investimentos realizados na expansão e construção de novos sistemas. No entanto, a inexistência de uma quantificação dos caudais reais de aflúncias existentes na rede não permite ter uma noção exata e objetiva da dimensão do problema. Os efeitos do envelhecimento dos sistemas têm vindo a sensibilizar as entidades gestoras para a necessidade de investir na sua reabilitação e no conhecimento do seu desempenho a nível técnico e económico (Gomes, 2015). O desenvolvimento de uma abordagem sistemática de avaliação do desempenho técnico de sistemas de drenagem urbana, baseada em indicadores de desempenho, apresenta-se como fundamental e inovadora (Deb e Cesário, 1997).

A avaliação do histórico da evolução do desempenho de sistemas de águas residuais, através de indicadores de desempenho, pode ser efetuada a nível regional ou nacional. A análise da evolução das tendências dos resultados dos indicadores de desempenho ao longo do tempo, pode evidenciar melhoria ou deterioração do desempenho dos sistemas. Este fator é importante na medida em que permite, atempadamente, a elaboração de medidas adequadas que previnam a ocorrência de eventuais problemas na prestação do serviço. Aquando da construção de novos sistemas, estes indicadores podem evidenciar se esses sistemas estão a exercer a sua função de forma eficaz e eficiente. Uma vez que necessitam de um volume considerável de dados de base, os indicadores de desempenho podem também constituir um incentivo a boas práticas de monitorização, de registo e de processamento de dados (Cardoso, 2008).

Atualmente, já não é tão frequentemente utilizado o caudal de infiltração como variante no estudo de indicadores de desempenho técnico de sistema de drenagem, mas sim o caudal mínimo. De acordo com a entidade gestora Águas do Tejo Atlântico, geralmente, o valor da infiltração encontra-se sempre abaixo dos caudais mínimos dos hidrogramas padrão, o que levou a uma alteração de caudais de infiltração para caudais mínimos, no que toca ao estudo de indicadores de desempenho. Para esta dissertação, foram escolhidos dois indicadores de desempenho que completassem a análise de avaliação dos impactos da infiltração no desempenho técnico do subsistema da Costa do Estoril, efetuada no Capítulo 5. Um indicador é relativo à percentagem de coletores em secção cheia no sistema em tempo de chuva (ID1) e o outro indicador é relativo à percentagem de volume pluvial no sistema (ID2), representados no Quadro 2.5.1.

Quadro 2.5.1 – Indicadores de desempenho relativos à problemática das afluências indevidas em sistemas de drenagem urbana

<b>Indicadores de desempenho</b>	ID1	$\frac{L_{coletores\_carga}}{L_{total\_coletores}} \times 100$ (%)	Onde:  $L_{coletores\_carga}$ – Somatório dos comprimentos de todos os coletores em carga em tempo húmido;  $L_{total\_coletores}$ – Somatório dos comprimentos de todos os coletores;
	ID2	$\frac{Q_{min}}{Q_{mts}} \times 100$ (%)	$Q_{min}$ – Caudal mínimo em tempo seco; $Q_{mts}$ – Caudal total médio diário registado em tempo seco.

De forma mais detalhada:

- ID1 - % de coletores em secção cheia em tempo de chuva: indicador de desempenho adotado pelo projeto IAFLUI, ainda em desenvolvimento. Este indicador pode ser obtido tanto por monitorização como por modelação hidráulica da rede utilizando dados reais de precipitação e resulta da divisão do comprimento dos coletores onde se verificou entrada em carga em tempo

de chuva durante o período em estudo pelo comprimento total da rede de coletores na data de referência.

- **ID2 - % de volume de caudal indevido em tempo seco:** indica qual a percentagem de caudal de infiltração relativamente ao valor de caudal médio diário em tempo seco.

No Quadro 2.5.2 encontram-se representados os intervalos de percentagem dos indicadores mencionados que correspondem aos diferentes níveis de desempenho de sistemas de drenagem: desempenho elevado (cor verde), desempenho médio (cor amarela) e desempenho baixo (cor vermelha).

*Quadro 2.5.2- Intervalos de valores de percentagem dos indicadores de desempenho ID1 e ID2 que indicam o nível de desempenho dos sistemas de drenagem (Águas de Portugal, 2007)*

<b>Níveis de desempenho de sistemas de drenagem</b>				
<b>Indicador</b>	<b>Elevado</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>	<b>Unidades</b>
<b>ID1</b>	0-25	25-50	>50	%
<b>ID2</b>	0-25	25-50	>50	%

Dado que os impactos provocados pela infiltração, em sistemas de drenagem urbana, são, normalmente, lentos e retardados, na avaliação da infiltração nesses sistemas devem ser adotados períodos de longa duração (Cardoso, 2008).

## 2.6 Projetos de investigação

Como já foi referido, as aflúncias indevidas têm sido identificadas como um dos principais problemas dos sistemas de águas residuais e pluviais. Estas contribuem largamente para o seu desempenho insatisfatório, apesar dos elevados investimentos que têm vindo a ser efetuados, sendo um problema ainda mal resolvido em Portugal. Ações de capacitação por parte das entidades gestoras dos serviços de água nesta área são essenciais para o desempenho e a sustentabilidade do setor.

Atualmente em Portugal a investigação nesta área tem vindo a ser mais desenvolvida existindo já um número considerável de projetos desenvolvidos ou em fase de desenvolvimento com o objetivo de se elaborar novas metodologias de avaliação e combate à problemática das aflúncias indevidas. Estas iniciativas nacionais representam uma forma inovadora de se lidar com este problema em que diversas entidades partilham conhecimentos, experiências e soluções, incentivando à adoção de abordagens estruturadas, melhores procedimentos e fundamentos nas decisões a tomar.

Os projetos, já concluídos, “Plano de Controlo de Caudais Pluviais no Sistema Intercetor da ETAR de Frielas” e “Plano de Controlo de Caudais Pluviais do Subsistema de Beirolas”, explorados pela SIMTEJO, em associação com a CENOR e SISAQUA, investiu na criação e desenvolvimento de medidas operacionais e estruturais que minimizem o impacto negativo das aflúncias de caudal pluvial, para tal foi construído, validado e calibrado um modelo de simulação dinâmica, em software SWMM.

APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems) é um projeto de investigação que foi financiado pela Comissão Europeia no âmbito do 5º Programa Quadro

de Investigação e Desenvolvimento, que decorreu entre 2001 e 2004, onde participaram sete países europeus, dos quais Portugal fazia parte, algumas universidades e pequenas e médias empresas. Este projeto contribui para a implementação das Ações Chave “Desenvolvimento sustentável e qualidade da água” sob o contrato n.º EVK1-CT-2000-00072 Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Cardoso, 2008). Uma das principais finalidades deste projeto focou-se no desenvolvimento de novas metodologias de medição de infiltração que permitissem diferenciar zonas do sistema de coletores com ocorrência de infiltração baseando-se em esforços analíticos e com reduzido risco ambiental (Cardoso *et al.*, 2006).

Um dos projetos em desenvolvimento com elevada relevância a nível nacional é a Iniciativa Nacional para o Controlo de Afluências Indevidas (iAFLUI), onde esta dissertação está inserida, que apoia a implementação do PENSAAR2020, já mencionado anteriormente, e das políticas públicas associadas ao Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR). Este projeto é liderado pelo LNEC e consiste num trabalho de setorização em áreas de análise, isto é, de delimitação das bacias naturais das principais linhas de água, do subsistema de drenagem da Costa do Estoril. Esta setorização permitirá, não só, à Águas do Vale do Tejo (AdVT), no futuro, aplicar a metodologia iAFLUI a todas as áreas de análise do subsistema da Costa do Estoril e estabelecer prioridades de intervenção no que respeita ao controlo das afluências indevidas.



# 3 MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

## 3.1 Considerações iniciais

Começaram a surgir os primeiros modelos dinâmicos de desempenho de sistemas de drenagem por volta da década de 1970, revelando-se especialmente úteis para a sua operação e gestão, visto que facilitam a compreensão das implementações que se pretendem efetuar nos sistemas de drenagem (Ferreira, 2006).

A modelação dinâmica consiste em formulações matemáticas cujos parâmetros podem ser ajustados de modo a que essas funções descrevam de perto um conjunto de dados empíricos, isto é, que reproduza, com uma certa aproximação, as quantidades das grandezas nele intervenientes (Frazão, 2011). Um dos desafios que atualmente se coloca no estudo integrado de bacias de drenagem urbana, e em especial no que diz respeito aos estudos de qualidade da água, é a compatibilização dos diferentes modelos matemáticos utilizados na simulação das principais componentes dos sistemas, ou seja, os programas que simulam o comportamento dos sistemas de drenagem que modelam a propagação do escoamento (incluindo aspetos hidráulicos e hidrológicos), o comportamento das ETAR e dos meios recetores (David, 2005).

A modelação em drenagem urbana pode ter diferentes objetivos, abordagens e métodos de resolução. É frequente distinguirem-se os modelos de acordo com diversos critérios, como: de qualidade da água ou hidráulico; com ou sem controlo em tempo real; de análise evento-a-evento ou de modelação contínua; teórico/fisicamente baseado, concetual ou empírico; variável ou invariável no tempo; analítico ou numérico; hidrodinâmico/hidráulico ou hidrológico (Frazão, 2011). Neste capítulo serão mencionados alguns dos programas mais conhecidos disponíveis no mercado.

O modelo matemático de simulação de sistemas de drenagem urbana é constituído, na sua maioria, por um modelo hidráulico e um modelo hidrológico, havendo, ainda, outros programas que incluem a componente de modelação da qualidade da água (Cândido, 2013). Para o presente trabalho, interessa, apenas, a componente associada à modelação hidráulica e hidrológica.

A propagação do escoamento através de superfícies e de coletores de uma bacia de drenagem pode ser descrita de duas formas diferentes (David, 2005):

- Como um processo distribuído ao longo da bacia, dado que o caudal, a velocidade e a altura de escoamento variam no tempo e no espaço. A estimativa destas propriedades hidráulicas pode ser obtida por via teórica, com base na solução numérica das equações de continuidade e de conservação da quantidade de movimento, aplicadas ao longo da rede de drenagem;
- Abordando a bacia como uma unidade agregada de modelação, determinando-se os hidrogramas de cheia, a jusante da bacia, a partir da equação da continuidade e de relações analíticas ou empíricas entre o armazenamento na bacia e o caudal. Neste caso, utilizam-se

parâmetros característicos da bacia e desconhece-se a evolução dos hidrogramas no interior desta. Algumas das relações frequentemente utilizadas, ditas conceptuais, procuram ser representações simplificadas dos processos físicos e utilizam parâmetros-chave conceptuais.

Posto isto, é possível distinguir dois grandes grupos de modelos de propagação do escoamento: os modelos fisicamente baseados, geralmente distribuídos (isto é, modelos baseados na teoria do escoamento, em que os parâmetros variam espacialmente no interior da bacia, também designados por modelos hidráulicos) e os modelos conceptuais ou empíricos, geralmente agregados, também designados por modelos hidrológicos. Diversos softwares de drenagem urbana têm a particularidade de utilizar modelos distribuídos e fisicamente baseados para a simulação da rede de coletores, recorrendo a modelos conceptuais para a simulação do escoamento superficial numa dada bacia de drenagem.

Existem diversos modelos matemáticos de drenagem urbana disponíveis no mercado, pelo que a escolha do modelo que se melhor adequa a um dado projeto é essencial para os objetivos sejam alcançados com eficácia. Essa escolha deve ser feita tendo em consideração os seguintes aspetos principais: definição dos objetivos da análise a efetuar; escolha do modelo mais simples que permite satisfazer esses objetivos e uso de um método compatível com o tipo de dados disponíveis à realização do modelo (David, 2004). A modelação matemática dos sistemas de drenagem urbana desempenha também um papel fundamental na determinação de soluções corretivas e económicas para o planeamento, gestão e reabilitação dos sistemas face ao excesso de afluências indevidas.

Os modelos estão dependentes da capacidade de registos de dados existentes, utilizados numa perspetiva de calibração e validação, sendo que quanto mais detalhado for modelo mais eficiente será a sua utilização. Através da utilização de um modelo de simulação calibrado, a entidade gestora consegue avaliar a capacidade do sistema existente, testar soluções que visam a resolução dos problemas detetados e analisar diferentes formas de explorar o sistema para situações atuais e futuras.

Regra geral, os modelos não são um substituto para a informação recolhida no campo, ou do conhecimento do funcionamento da rede por parte do próprio utilizador, contudo, quando bem manipulados, poderão ser uma forte ajuda na deteção da origem de um problema e mesmo na sua resolução, tendo como base uma boa relação custo/benefício.

Os modelos constituem uma ferramenta de elevado potencial no estudo de sistemas de drenagem urbana, quer na fase de planeamento e projeto, permitindo o estudo e comparação de projetos, quer na fase de operação e manutenção, permitindo a avaliação de desempenho de sistema de drenagem, ou na fase de reabilitação, prevendo o comportamento para diferentes estratégias de reabilitação.

## 3.2 Princípios de formulação dos modelos

Os modelos de drenagem urbana incluem um modelo hidrológico para o cálculo do escoamento superficial, originado por determinada precipitação, e um modelo hidráulico de propagação do

escoamento na rede de coletores e condutas. Para a construção de um modelo de simulação de drenagem urbana é, então, necessário ter em consideração os princípios inerentes a estes dois modelos.

### 1. Modelo hidrológico

O modelo hidrológico é o responsável pela criação de hidrogramas de escoamento superficial através de dados de precipitação e de características geométricas, morfológicas e hidrológicas das bacias afluentes ao sistema (Sisaqua e Cenor, 2007 e Ensinas, 2009).

As perdas de precipitação para o escoamento consistem na diferença entre a precipitação total associada a um dado acontecimento pluvioso e a correspondente precipitação efetiva. Os principais processos envolvidos na transformação da precipitação total em precipitação efetiva são: interceções; infiltração; evaporação e evapotranspiração (Portela, 2006).

Para a simulação do fator precipitação é frequente a utilização dos modelos de infiltração (*Horton*; *Green e Ampt* e *Soil Conservation Service*). De seguida apresentam-se alguns detalhes de cada um destes modelos:

- Modelo de *Horton*: baseado em observações empíricas, constata que a taxa de infiltração diminui exponencialmente durante um evento de precipitação, tal como se pode comprovar pela Figura 3.2.1 que representa a infiltração de acordo com este método. Na definição da curva de *Horton* entram os seguintes parâmetros: taxa de infiltração no instante de tempo  $t$  ( $f(t)$ ); taxa de infiltração mínima (*Min. Infil. Rate* ( $f_c$ )); taxa de infiltração máxima (*Max. Infil. Rate* ( $f_0$ )); coeficiente de decaimento (*Decay Const.* ( $k$ )) e tempo necessário para a secar o solo saturado por completo (*Drying Time* ( $t$ )) (Portela, 2006).

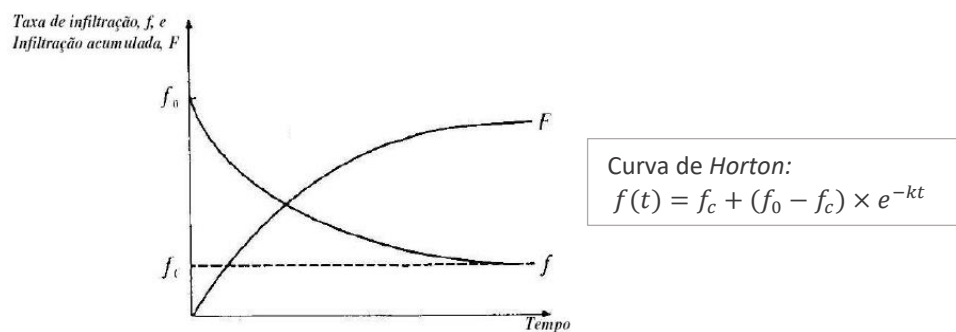


Figura 3.2.1 – Infiltração de acordo com o Modelo de Horton (Portela, 2006)

- Modelo de *Green e Ampt*: considera a existência de uma frente húmida na coluna do solo, que separa o solo com algum teor de humidade inicial do solo saturado que se localiza acima. Para a aplicação do método é necessário definir as seguintes propriedades: valor médio de absorção capilar ao longo da frente húmida do solo (*Suction Head*); condutividade hidráulica do solo saturado (*Conductivity*), e a fracção de volume de solo que é inicialmente seca (*Initial Deficit*) (Amorim *et al.*, 2009).

- Modelo do *Soil Conservation Service (SCS Curve Number)*: considera que a capacidade total de infiltração do solo pode ser obtida a partir de curvas SCS. Para a aplicação deste método é necessário definir os seguintes parâmetros: número de curvas SCS (*Curve Number*); condutividade hidráulica do solo saturado, (Conductivity) e o tempo, em dias, para um solo saturado secar por completo (*Drying Time*) (Amorim *et al.*, 2009).

## 2. Modelo hidráulico

O modelo hidráulico é o responsável pela propagação do escoamento ao longo de rede de drenagem sendo frequentemente considerado um escoamento unidimensional em superfície livre. De forma a caracterizar este tipo de escoamento, são utilizadas as equações completas de *Saint-Venant*, que constituem a formulação matemática dos princípios fundamentais da Hidráulica. Estas equações representam modelos simples de fenómenos complexos dado que apenas consideram os fatores cuja influência no escoamento é mais importante e descartam os fatores que, de acordo com os objetivos da modelação, se consideram de importância secundária. As equações de *Saint-Venant* baseiam-se na equação da continuidade (1) e na equação da conservação da quantidade de movimento (2) baseada na 2ª lei de Newton (Meller, 2004 e Martins e Hipólito, 2005).

$$\frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} = 0 \quad (1)$$

$$\underbrace{\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta \frac{Q^2}{A}}{\delta t}}_{\text{Forças de inércia}} + \underbrace{gA \frac{\delta h}{\delta x}}_{\text{Forças de pressão}} = \underbrace{gA (l_0 - l_f)}_{\text{Forças gravitacionais e de atrito}} \quad (2)$$

Onde:

$Q$  – Caudal (m<sup>3</sup>/s);

$A$  – Secção do escoamento (m<sup>2</sup>);

$h$  – Altura do escoamento (m);

$g$  – Aceleração da gravidade (m<sup>2</sup>/s);

$x$  – Distância na direção do escoamento (m);

$t$  – Tempo (s);

$l_0$  – Declive do leito (-);

$l_f$  – Declive da linha de energia (-).

De forma a utilizar as equações de *Saint-Venant* em condutas sob pressão é aplicado o conceito de “fenda de *Preissmann*” que se baseia na introdução de uma fenda fictícia vertical no geratriz superior da tubagem, de modo a não aumentar significativamente a secção do escoamento nem o respetivo raio hidráulico e, desta forma, assegurando a execução de cálculos sem afetar substancialmente a sua precisão. Esta aproximação permite a utilização do mesmo sistema de equações na modelação do escoamento em superfícies livres e sob pressão (Amorim, 2008).

Existem diversos modelos de propagação do escoamento baseados nas equações de *Saint-Venant*. Estes modelos podem ser simplificados ou completos, dependendo da consideração ou não da equação da conservação da quantidade de movimento. Em seguida, apresentam-se os principais modelos de propagação do escoamento em sistema de drenagem:

- Modelo cinemático: modelo simples que tem em consideração a equação de continuidade (1) e apenas o termo forças gravitacionais e de atrito relativo à equação da conservação da quantidade de movimento (2). Este modelo tem em conta efeitos de armazenamento e permite a simulação de fenómenos de atenuação e atraso por técnicas numéricas, contudo não permite modelar os efeitos de inversão do escoamento; influências de jusante (comum em regimes lentos) e situações em que os hidrogramas afluentes apresentam variações acentuadas ao longo do tempo, conduzindo a acelerações de inércia não desprezáveis (Ferreira, 2006).
- Modelo difuso: modelo que considera apenas as forças de gravidade e atrito e pressão da equação da conservação da quantidade de movimento (2). Permite que sejam simulados efeitos de propagação das ondas dinâmicas para jusante e considera escoamentos em pressão e efeitos de regolfo. Dado que este modelo não tem em conta os termos de inércia, é pouca a precisão em hidrogramas com crescimento rápido devendo, por isso, ser aplicado a ondas moderadamente variáveis no tempo (Ferreira, 2006).
- Modelo dinâmico: modelo considerado completo na medida em que engloba a equação da continuidade (1) e todos os termos da equação da conservação da quantidade de movimento (2), pelo que inclui todos os efeitos básicos e hidrodinâmicos: efeitos de propagação das ondas dinâmicas para jusante e para montante; efeitos de amortecimento; efeitos de regolfo; atraso e deformação nas variações de caudal e na altura do escoamento ao longo dos coletores. Este modelo permite a inversão do sentido do escoamento nos coletores (sendo o único modelo que representa a propagação do escoamento para montante) dado que é o único que inclui por completo as duas equações em questão. Os resultados obtidos por este modelo serão mais precisos visto que representam com exatidão os fenómenos mais importantes do escoamento em canais (Ferreira, 2006).

### 3.3 Etapas do processo de avaliação do desempenho de sistemas de drenagem com recurso à modelação

Em termos gerais, a abordagem ao processo de avaliação do desempenho de um sistema de drenagem integra uma sequência de procedimentos, pesquisas, ações e processos de decisão. A NP EN 752 (2009) compreende o seguinte conjunto de etapas gerais do processo de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem:

1. Definição de objetivos e requisitos
  - Definição do problema e motivação: seleção do caso de estudo;
  - Definição dos objetivos;
  - Escolha do método de investigação e avaliação.

## 2. Investigação e avaliação (hidráulica, ambiental e estrutural)

- Recolha e organização de dados cadastrais;
- Atualizações necessárias dos dados cadastrais;
- Seleção do(s) domínio(s) de avaliação;
- Seleção do modelo de simulação;
- Construção do modelo de simulação;
- *Debugging*;
- Calibração e validação do modelo;
- Avaliação do desempenho hidráulico: recolha e análise de resultados, cálculo de critérios regulamentares e indicadores de desempenho;
- Conclusões do estudo efetuado.

## 3. Plano de ação

- Elaboração de planos para a mitigação do problema em análise.

## 4. Monitorização e reavaliação

- Avaliação do sistema de drenagem após implementação do plano de ação.

É de referir que as primeiras duas etapas (etapa 1 e 2) se relacionam com a modelação dinâmica e as restantes duas etapas (etapas 3 e 4) com a avaliação do desempenho do sistema em análise e a definição e utilização de medidas para o melhoramento desse desempenho.

## 3.4 Programas existentes para modelação de redes de drenagem urbana

Existem diversos modelos disponíveis no mercado que podem ser utilizados para modelar redes de drenagem urbana, sendo que a escolha do modelo que se melhor adequa a um dado projeto deve ter em consideração os seguintes aspetos principais (David, 2004 e Cândido, 2013):

- Definição clara dos objetivos da análise a efetuar;
- Escolha do modelo mais simples que permite satisfazer os objetivos da análise;
- Uso de um método compatível com o tipo e características dos dados disponíveis;
- Informação que pode ser obtida através do modelo;
- Grau de sofisticação da análise a ser realizada.

Na prática, em sistemas de drenagem urbana os modelos são aplicados em condições significativamente afastadas das que estiveram na base da sua conceção, pelo que os resultados obtidos sem uma adequada calibração do modelo poderá ser uma estimativa grosseira do que na realidade acontece. Pode-se então afirmar que apesar dos modelos não serem um substituto completo da informação recolhida no campo ou do próprio conhecimento do funcionamento da rede e dos fenómenos que nela ocorrem, quando bem manipulados tornam-se uma forte ajuda na deteção de

problemas e na escolha do método mais eficaz para a respetiva resolução, na medida em que permitem simular diferentes cenários de reabilitação do sistema permitindo prever o seu comportamento para condições diversas.

De seguida encontram-se listados os principais modelos matemáticos, utilizados na Europa, relativos a sistemas de drenagem urbana disponíveis no mercado:

- SWMM – modelo matemático, desenvolvido pela U. S. Environmental Protection Agency (US EPA), utilizado na gestão de drenagem urbana, simula a quantidade e qualidade do escoamento superficial.
- InfoWorks – modelo matemático desenvolvido por Innowyze, eficaz na modelagem hidrológica do ciclo completo da água urbana. Aplica-se em estudos sobre inundações urbanas, previsão de poluição e modelagem da qualidade da água e transporte de sedimentos em toda a rede.
- MIKE URBAN – modelo matemático desenvolvido pelo Institute for Water and Environment (DHI), abrange todas as redes hídricas urbanas, incluindo sistemas de distribuição de água, drenagem de águas pluviais e coleta de esgoto em redes separativas e mistas.

Segundo Matos (2005), justifica-se o estudo com o recurso a modelos incorporados com onda cinemática ou onda dinâmica para a análise do desempenho de sistemas existentes, para a avaliação de impactes no meio recetor e para fundamentar estratégias de beneficiação e reabilitação.

Para a construção do modelo do subsistema de drenagem da Costa do Estoril, recorreu-se ao software de drenagem urbana SWMM por ser um dos programas com maior grau de detalhe disponível gratuitamente e por se enquadrar devidamente nos objetivos definidos para esta dissertação.

## 3.5 Descrição do programa SWMM

### 3.5.1 Considerações iniciais

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US *Environmental Protection Agency- EPA*) juntamente com o seu centro de investigação de abordagens tecnológicas e de gestão de riscos de saúde e meio ambiente (National Risk Management Research Laboratory), desenvolveram um programa complexo, gratuito, de modelação e gestão, de forma a planear, analisar e projetar os impactes relacionados com o escoamento proveniente de águas pluviais nos diferentes sistemas de drenagem urbana (sistemas unitários, separativos pluviais e separativos domésticos), o *Storm Water Management Model* (SWMM). Este software já sofreu diversas atualizações, sendo atualmente a versão 5.1.012 a mais recente disponível no mercado e é compatível com o Windows (Rossmann, 2016).

Este software de modelação 1D foi desenvolvido em 1971 e consiste num modelo dinâmico que possibilita a simulação do escoamento e/ou poluentes à superfície das bacias de drenagem, analisando a evolução da qualidade e quantidade do escoamento relativa à zona da bacia em questão (zonas urbanas ou não urbanas) e no interior dos coletores de sistemas de águas residuais e pluviais,

simulando fenômenos hidrológicos e hidráulicos com disponibilização de uma componente de modelação de quantidade e uma de modelação de qualidade (Rossman, 2016).

Este modelo é utilizado aquando de simulações de eventos singulares ou contínuos, através de dados reais de precipitação e/ou meteorológicos, assim como na caracterização física do sistema a modelar. Dependendo dos parâmetros de entrada e da rede de drenagem introduzidos no *SWMM*, o modelo simula a resposta a chuvadas de intensidade variável no tempo, a neve derretida, a perdas por infiltração, a evaporação, o escoamento superficial, as retenções e ainda a poluição para cada nó de entrada (Amorim, 2009).

A partir de dados de precipitação e da deposição de poluentes, a carga de escoamento e a quantidade de poluentes gerada atua sobre um conjunto de áreas de captação, as designadas sub-bacias. Esse escoamento superficial é direcionado tendo em conta as características topográficas das sub-bacias (como a área, a inclinação, a forma, a rugosidade e a percentagem impermeável) e encaminhado até à componente de transporte na rede, os coletores, e dispositivos de armazenamento, regulação e tratamento (como bombas e aparelhos de regulação). O *SWMM* organiza as diferentes componentes que intervêm na modelação em objetos, podendo estes ser visualizados de forma resumida na Figura 3.5.1.

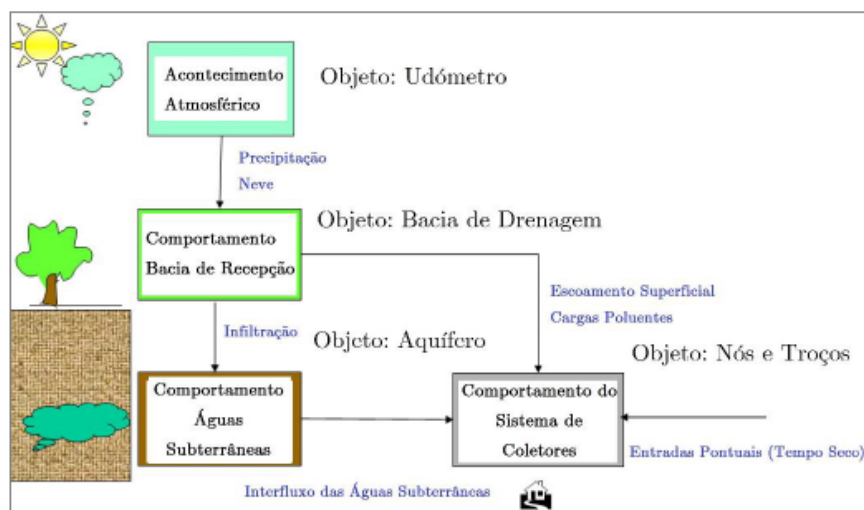


Figura 3.5.1 – Interligação de objetos no modelo *SWMM* (Ferreira, 2014)

O programa de modelação *SWMM* utiliza os seguintes princípios nas simulações de fenômenos hidrológicos e hidráulicos (Schutze *et al.*, 2002):

- Método do hidrograma unitário para a avaliação da propagação do escoamento superficial;
- Fórmulas de *Horton* e *Green-Ampt* e curva de *Soil Conservation Service* para a modelação dos fenômenos hidrológicos, incluindo a retenção superficial e infiltração;
- Modelo cinemático para a descrição da propagação do escoamento superficial;
- Modelo dinâmico completo (equações completas de *Saint-Venant*), modelo cinemático ou modelo difuso para descrever a propagação do escoamento na rede de coletores;
- Acumulação de poluentes no escoamento superficial avaliada pelas equações de potência, exponenciais de *Alley* e *Smith* (1981) ou de saturação de *Michaelis-Menton*;



- Arrastamento de poluentes no escoamento superficial avaliado pela equação exponencial de Jewell e Adrian (1978).

Este programa permite a simulação do escoamento em sentido inverso, do escoamento sob pressão e de curvas de regolfo e possui ferramentas de análise estatística e de produção gráfica de hidrogramas e polutogramas. O *SWMM* simula o escoamento através do sistema de coletores, estruturas de armazenamento, bombas e reguladores de caudal, estima a evolução do escoamento gerado numa dada sub-bacia de drenagem, bem como os valores de caudal, altura de escoamento, velocidade e qualidade de água nas câmaras de visita e coletores, durante o período de simulação.

As simulações efetuadas no programa *SWMM* fornecem resultados com relativa facilidade de visualização apresentados em mapas de rede com recurso a códigos de cores; tabelas/quadros de dados; gráficos com séries temporais e estatísticas; entre outros (APESB e LNEC, 2015).

Desde a sua criação, o programa *SWMM* foi usado em inúmeros sistemas em todo o mundo, sendo possível referir, entre as aplicações mais correntes, as seguintes (Amorim *et al.*, 2009):

- Análise de situações existentes;
- Projeto de sistemas de drenagem para controlo de inundações;
- Avaliação do impacto da infiltração;
- Estudo de aflúncias a sistemas de drenagem urbana;
- Implementação de estratégias de controlo de cheias e de controlo da qualidade em descargas;
- Implementação de estratégias para a redução de descargas e avaliação do impacto de infiltração em sistemas residuais domésticos;
- Avaliação do desempenho de sistemas de controlo na origem, nomeadamente, ajustamento das instalações de retenção e as respetivas consequências sobre o controlo de caudal e qualidade da água.

Além da enorme flexibilidade fornecida pelo *SWMM*, este permite ainda uma integração com ferramentas auxiliares como o Excel, o SIG – Sistema de Informação Geográfica e o CAD – Computer-Aided Design, permitindo assim uma automatização das componentes do modelo e edição das mesmas.

### 3.5.2 Capacidades do programa *SWMM*

O *SWMM* permite a simulação de diversos fenómenos hidrológicos, tais como (Amorim *et al.*, 2009):

- Eventos de precipitação variáveis no tempo;
- Evaporação em copos de água;
- Acumulação de neve e derretimento;
- Interceção da precipitação por retenção superficial;
- Infiltração da precipitação em solos não saturados;
- Percolação da água infiltrada para o subsolo;
- Modelação não linear do escoamento superficial;

- Escoamento entre o subsolo e o sistema de drenagem.

Adicionalmente, o *SWMM* contempla diversas potencialidades no que se refere aos fenómenos hidráulicos associados ao escoamento do caudal, tais como (Amorim *et al.*, 2009):

- Simula de escoamento em redes com número de componentes ilimitado;
- Recebe informação de quantidade e qualidade do modelo de escoamento superficial;
- Possibilita a definição de uma variedade de secções transversais;
- Modela elementos especiais como unidades de armazenamento, bombas, etc;
- Recebe dados externos sobre a forma de séries temporais;
- Aplica regras de controlo para simular a operação de bombas e orifícios;
- Modela fenómenos hidráulicos como ressaltos hidráulicos; entrada em carga; escoamento em sentido inverso e acumulação à superfície por ocorrência de descarga.

O *SWMM* associa os resultados obtidos através dos modelos hidráulico e hidrológico a um outro modelo que considera fenómenos de qualificação da água, considerando diferentes tipos de poluentes, o que permite (Amorim *et al.*, 2009):

- Simular a alteração de qualidade para diversos produtos;
- Receber entradas externas sobre a forma de séries temporais;
- Simular a redução da acumulação em arruamentos devido a limpeza;
- Simular a acumulação em tempo seco para diferentes utilizações do solo;
- Reduzir a concentração de poluentes devido ao tempo de retenção em dispositivos de armazenamento ou nos próprios coletores.

## 4 CASO DE ESTUDO DA BACIA DA LAGE

### 4.1 Descrição

A empresa Águas do Tejo Atlântico (AdTA), responsável por centenas de quilómetros de coletores, várias estações de bombagem e estações de tratamento, é a entidade gestora do subsistema de saneamento da Costa do Estoril. Este subsistema, representado na Figura 4.1.1, é do tipo separativo doméstico, servindo cerca de 720 000 habitantes equivalentes, com uma área de intervenção de 245 km<sup>2</sup>, abrangendo a totalidade do Concelho de Cascais e parte dos Concelhos de Amadora, Oeiras e Sintra. O sistema é constituído por um interceptor geral com cerca de 25 km; 120 km de 20 emissários gravíticos, que se desenvolvem ao longo das linhas de água; 9 estações elevatórias; 1 ETAR, a ETAR da Guia em Cascais, com capacidade de 5.2 m<sup>3</sup>/s e 1 emissário submarino com 3 km de comprimento, que lança no mar (a 45 m de profundidade) cerca de 150 000 m<sup>3</sup>/dia de efluente pré-tratado (Brito, 2012).

Entre 1999 e 2002 foi instalado um sistema de medição e telemetria de caudais neste sistema de drenagem com um número elevado de medidores instalados estrategicamente em câmaras de visita, representados na Figura 4.1.1 como “Qx”, com vista à quantificação dos caudais de águas residuais provenientes de cada município, para posterior faturação. Este sistema de monitorização destina-se a fornecer informação para a gestão do sistema e a avaliação do seu funcionamento hidráulico.



Figura 4.1.1 – Esquema do subsistema da Costa do Estoril

O subsistema da Costa do Estoril pode ainda contar com um conjunto de 5 posto udométricos distribuídos pela rede de drenagem, ilustrados na Figura 4.1.1 como “Ux”, que registam valores de precipitação no subsistema. Os dados fornecidos por udómetros tornam-se relevantes aquando da realização de estudos sobre as aflúências indevidas de origem pluvial.

O interceptor geral do subsistema da Costa do Estoril, que funciona de forma gravítica, desenvolve-se desde o vale do Jamor até à ETAR da Guia, compreendendo cerca de 25km de extensão total e com diâmetros entre 800 a 2500 mm. Este interceptor recolhe e transporta a totalidade dos efluentes dos vários emissários do subsistema e, ainda, os efluentes bombados pelos grupos eletrobomba das diferentes estações elevatórias (efluentes das zonas em baixa) (Gamboa *et al.*, 2000).

Os emissários que recebem os efluentes das redes municipais desenvolvem-se em paralelo com as principais linhas de água das bacias hidrográficas. Embora, do ponto de vista de interceção das descargas, seja adequada a localização estabelecida ao longo das ribeiras, a localização física dos coletores perto do leito das ribeiras, com frequentes atravessamentos, pode originar problemas de exploração, não só por efeito de erosão do leito da ribeira, que potencialmente poderá vir a afetar as infraestruturas, mas também por grandes extensões de coletor estarem instaladas abaixo do nível freático, existindo à partida um potencial importante para a ocorrência de infiltrações.

Mesmo em ocasiões de precipitação não muito forte e com duração de algumas horas, são gerados caudais de ponta de cheia que, nas bacias de maior dimensão, são geralmente superiores a 10 m<sup>3</sup>/s. Frações destes caudais podem afluir à rede de drenagem de águas residuais dado o comportamento pseudo-separativo do subsistema. O estudo destas aflúências indevidas foi concretizado no projeto de investigação iAFLUI, referido no Capítulo 2.6, a partir do qual teve origem o presente trabalho.

Esta dissertação consiste, assim, na criação do modelo de simulação dinâmica do subsistema da Costa do Estoril, com o auxílio do software SWMM, e calibração e validação da bacia da Lage, bacia piloto no projeto iAFLUI, para tempo seco e tempo húmido. De entre os emissários que constituem o sistema de drenagem da Costa do Estoril, o emissário da Lage, que transporta águas residuais domésticas produzidas na bacia hidrográfica da Ribeira da Lage, pode ser considerado o mais representativo. Este emissário é um dos mais longos, com cerca de 13 km, com diâmetros até aos 1000 mm, possui ainda troços de diferentes idades, uma vez que, após a construção em 1997, sofreu intervenções de reabilitação nos anos de 1989 e 2010. A bacia da Lage, com cerca de 42 km<sup>2</sup>, apresenta uma densidade populacional relativamente elevada, sendo a população residente estimada de cerca de 19% do total da população servida pelo sistema, o que gera cerca de 20% do caudal total que aflui à ETAR da Guia (Gamboa *et al.*, 2000). Para além disto, este emissário atravessa três dos quatro municípios que drenam para o sistema interceptor (Cascais, Oeiras e Sintra) e o seu sistema de monitorização apresenta uma boa localização dos medidores de caudal.

## 4.2 Visitas técnicas ao campo do subsistema da Costa do Estoril

No início deste trabalho foi realizada uma visita ao campo, no dia 26 de maio de 2017, que contribuiu para uma melhor compreensão de todo o sistema a nível estrutural e funcional e, ainda, proporcionou a oportunidade de conhecer profissionais da ETAR da Guia. O principal objetivo das visitas técnicas incidiu no conhecimento, localização e funcionamento dos vários órgãos integrantes no subsistema de drenagem da Costa do Estoril.

Como se pode aferir na Figura 4.2.1, observou-se o interior de algumas câmaras de visita com e sem medidores de caudal, respetivamente. Através da mesma figura pode-se ainda aferir que todas as câmaras de visita se encontram devidamente identificadas com as respetivas designações e, caso exista, as designações dos medidores de caudal estampadas em chapas de alumínio.

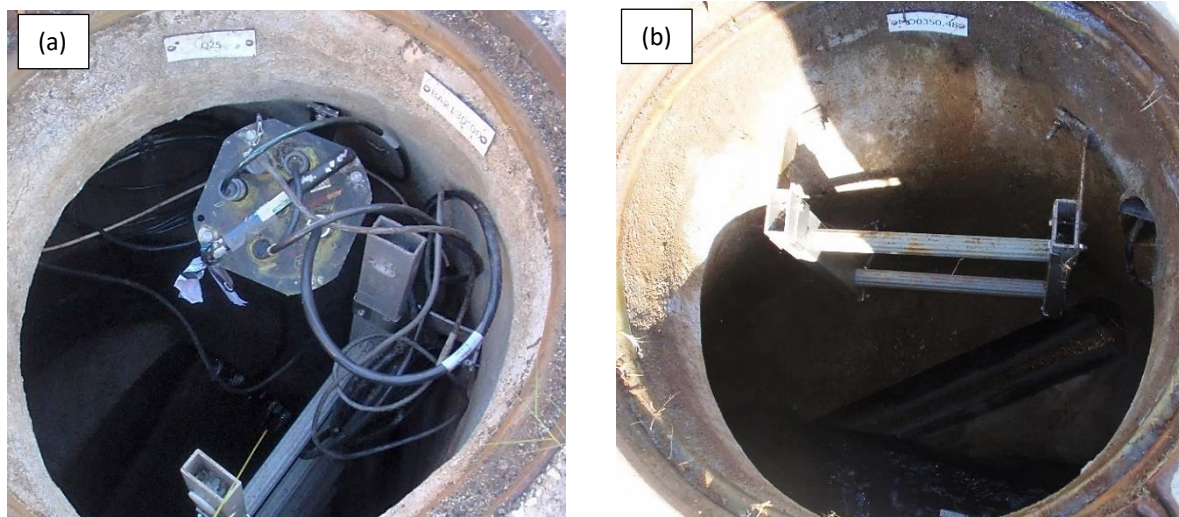


Figura 4.2.1 – (a) Interior da câmara de visita BA2130.00 que contém o medidor de caudal Q25 e (b) Interior da câmara de visita MO0350.48 sem medidor de caudal

Através das visitas ao campo foi possível identificar que os medidores de caudal, utilizados pela entidade gestora, correspondem a medidores por multissensorização, isto é, medidores que incluem sensores de velocidade e sensores de pressão de forma a calcular as alturas de escoamento. As medições de caudal são essenciais para a monitorização de qualquer sistema de drenagem e foram imprescindíveis à realização desta dissertação.

As visitas permitiram ainda a observação de udómetros instalados no sistema de drenagem da Costa do Estoril e, tal como os dados provenientes dos medidores de caudal, também os dados de cadastro provenientes dos udómetros, especificamente do udómetro U25, foram essenciais aquando da calibração do modelo dinâmico matemático, em tempo húmido, da bacia da Lage.

No subsistema da Costa do Estoril existem 9 estações elevatórias (EE) na zona baixa que elevam os efluentes para a zona alta. Em cada EE existe um grupo gerador que, caso ocorra uma anomalia ou falha de energia, arranca automaticamente assegurando o funcionamento das respetivas bombas.

Cada EE é constituída por um número indicado de bombas, desde 2 a 4 bombas, consoante o volume de caudal afluente às mesmas, no entanto apenas em ocasiões excecionais se encontram mais do que duas bombas a funcionar ao mesmo tempo. Durante a visita houve oportunidade de visitar algumas EE, nomeadamente a do S. Pedro do Estoril e do Jamor, tendo sido ainda possível observar a substituição de uma bomba na EE do Jamor, como se pode observar na Figura 4.2.2. É essencial a realização de manutenções e reparações periódicas para o bom desempenho do subsistema.

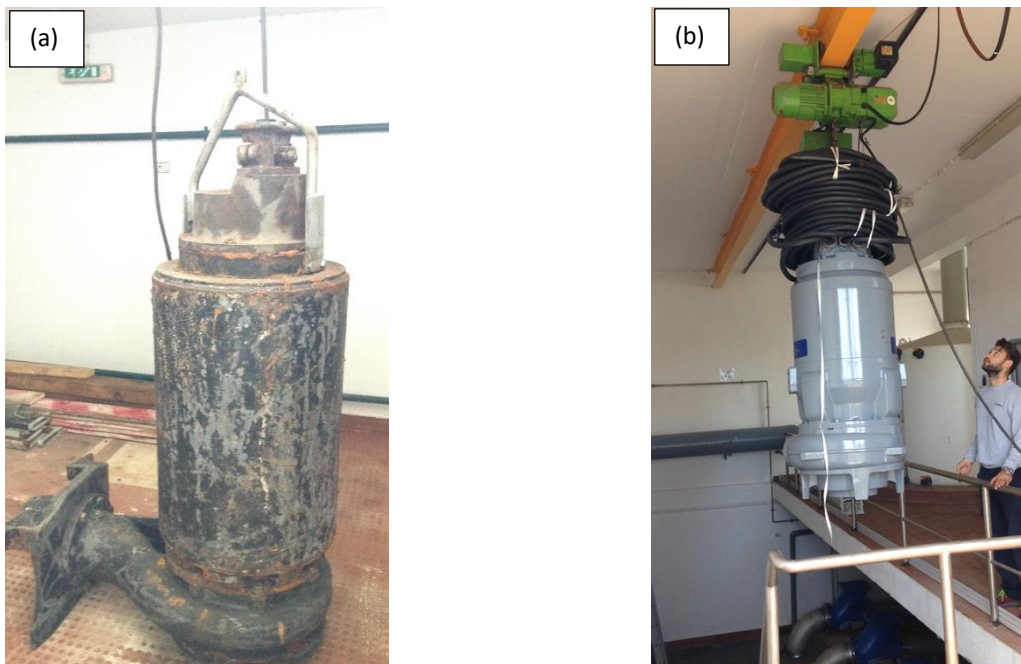


Figura 4.2.2- (a) Antiga bomba da EE do Jamor e (b) Colocação de uma nova bomba na EE do Jamor

Como já foi referido no Capítulo 4.1, os emissários desenvolvem-se em paralelo com as principais linhas de água de cada bacia hidrográfica. Algumas destas linhas de água podem apresentar níveis de contaminação elevados, em particular no verão, pelo que se realizam desvios controlados para os coletores da rede de drenagem, durante a época balnear (de abril a outubro), evitando, em tempo seco, a possível descarga de poluentes no meio hídrico. Durante a visita foi possível observar alguns dos locais onde são efetuados estes desvios, como se pode aferir na Figura 4.2.3.

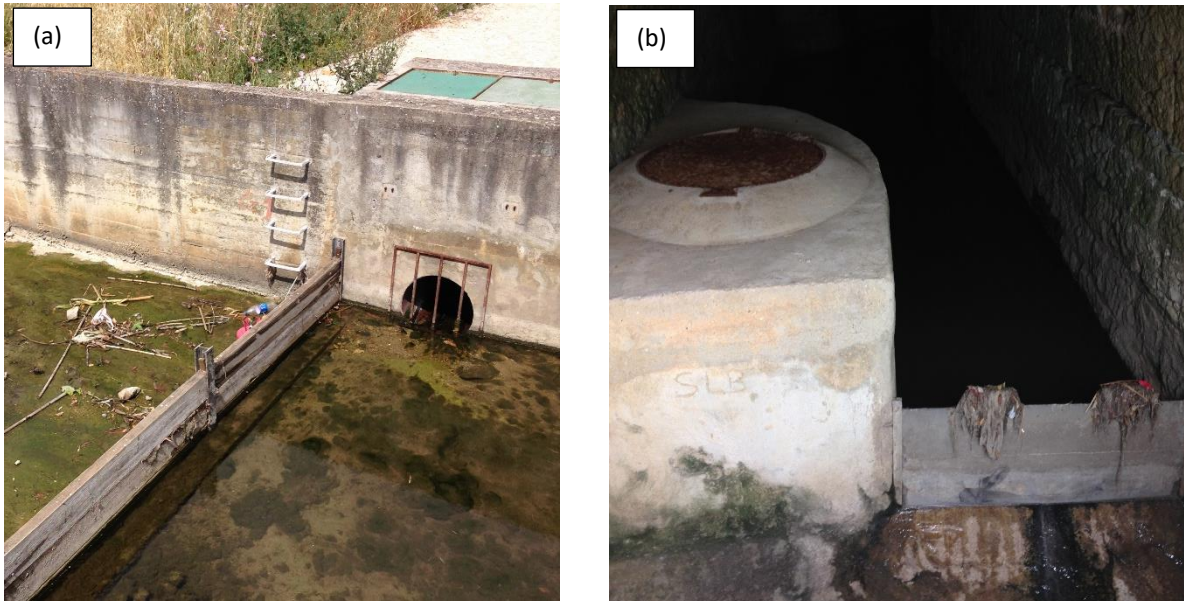


Figura 4.2.3 – (a) Desvio da água da ribeira de Caparide através de um açude e (b) Desvio da água da ribeira de Amoreira para a EE de Monte do Estoril

No Anexo A apresentam-se mais fotografias da visita técnica realizada ao campo do subsistema de drenagem da Costa do Estoril.

### 4.3 Dados base

A recolha de informação para o desenvolvimento desta dissertação abarca a caracterização física do subsistema e do funcionamento hidráulico do mesmo, em situação de tempo seco e durante os eventos de precipitação. Nesse sentido, foram essenciais os dados disponibilizados pela empresa AdTA- Águas do Tejo Atlântico. Para o início da construção do modelo foram exportados dados cadastrais, a partir do Sistema de Informação Geográfica (SIG), de características físicas de elementos de todas as bacias hidrográficas do subsistema. Nos Quadro B.1 e Quadro B.2 do Anexo B encontra-se representados excertos sintetizados de conjuntos de dados relativos, respetivamente, a coletores e câmaras de visita do subsistema.

Para a calibração do modelo da bacia da Lage, foram utilizados registos de valores de caudal monitorizados, durante o período em estudo (01/11/2014 a 31/10/2015), obtidos através dos 4 medidores de caudal situados ao longo da bacia (Q28- câmara de visita LJ0760.00; Q03B- câmara de visita LJ1610.00; Q04- câmara de visita LJ2340.00 e Q07- câmara de visita LJ2930.00), tal como mostra a Figura 4.3.1. Como já foi referido, a calibração da bacia da Lage foi efetuada para tempo seco e para tempo húmido, nos períodos de verão e de inverno. Nesse sentido, foram selecionados, no período em estudo e de forma aleatória, 2 dias para a calibração e 1 dia para validação do modelo da bacia da Lage em tempo seco no período de verão (que se considera ser entre os dias 01/05/2015 e 31/10/2015) e 2 dias para calibração e 1 para validação do modelo da bacia da Lage em tempo seco no período de inverno (que se considera ser entre os dias 01/11/2014 e 30/04/2015). Em ambas as situações houve

a preocupação de se selecionar pelo menos 1 dia de semana e 1 dia de fim-de-semana para fazer a calibração, dado que os volumes de caudal afluentes às ETAR geralmente diferem nestas duas ocasiões.

Existem 3 descargas de emergência situadas estrategicamente ao longo na bacia da Lage, tal como se pode aferir através da Figura 4.3.1 (representadas com setas vermelhas). É de salientar que não existem registos à cerca da cota a que cada uma das descargas se encontra, sendo que, aquando da calibração da bacia da Lage, será necessário efetuar uma análise detalhada sobre estes três elementos físicos no modelo, que também podem constituir parâmetros de calibração.



Figura 4.3.1 – Localização esquemática dos medidores de caudal Q28, Q03B, Q04 e Q07 e das 3 descargas de emergência ao longo da bacia da Lage

Para o desenvolvimento do modelo da bacia da Lage, foram ainda considerados dados relativos às sub-bacias hidrográficas que constituem a bacia da Lage. O Quadro B.3 do Anexo B apresenta dados cadastrais, inerentes as estas sub-bacias, como as respetivas populações, as áreas totais e as áreas impermeáveis.

No Quadro B.4 do Anexo B, encontra-se sintetizado um excerto de valores reais de caudal registados em tempo seco, durante 24h, de 5 em 5 minutos (intervalo de tempo em que os medidores registam o caudal), pelos diferentes medidores de caudal da bacia, nos dias selecionados para o presente estudo.

No que se refere ao tempo húmido, no Quadro B.5 do Anexo B encontra-se um excerto de dados relativos a dois eventos pluviométricos com registos de caudal monitorizados pelos vários medidores de caudal situados ao longo da bacia da Lage e, no Quadro B.6 do mesmo anexo, encontra-se



apresentado um excerto de dados relativos à precipitação ocorrida, e respetiva intensidade, registada em ambos os eventos.

Como já foi referido neste capítulo, o subsistema da Costa do Estoril está incorporado com 5 postos udométricos que registam a precipitação diária em determinadas zonas. No Quadro B.7 do Anexo B encontra-se representado um excerto de valores de precipitação registados, pelos diferentes postos udométricos, para o ano em estudo (2014/2015).

Foram ainda considerados como dados base os hidrogramas padrão relativos aos diferentes medidores de caudal da bacia da Lage. A obtenção destes hidrogramas foi previamente efetuada por Rosmaninho (2017) e consistiu na seleção de valores registados de caudal apenas correspondentes a dias de tempo seco, ou seja, foram postos de parte todos os registos diários em que existisse evidência de precipitação nos postos udométricos, bem como registos diários cujos hidrogramas eram notavelmente influenciados pela precipitação ocorrida em dias anteriores (infiltração retardada). Os valores registados de caudal que revelaram possível ocorrência de erros de medição também foram excluídos da análise. Desde modo, foram então obtidos os hidrogramas padrão, de 5 em 5 minutos durante 24h, para os períodos de verão e inverno dos vários medidores de caudal, através da média aritmética dos valores resultantes dessa análise. No Quadro B.8 do Anexo B encontram-se excertos de valores relativos aos diferentes hidrogramas padrão que foram considerados no presente estudo, obtidos por Rosmaninho (2017).

É importante referir que os hidrogramas padrão utilizados nesta dissertação são relativos a medições de caudal efetuadas durante um ano inteiro em análise, não tendo sido realizada uma distinção entre dias úteis, dias de fim-de-semana, dias de feriado, etc. Na Figura 4.3.2 encontra-se representado, a título de exemplo, um gráfico que contém hidrogramas de caudal diários, medidos durante o período de inverno por um medidor da bacia da Lage, e o respetivo hidrograma padrão, sendo possível observar a discrepância existente entre os hidrogramas dos diferentes dias em questão. O objetivo central desta dissertação é o cálculo de afluências indevidas pluviais, pelo que a consideração de hidrogramas padrão para diferentes dias da semana não influenciará de forma significativa esses resultados.

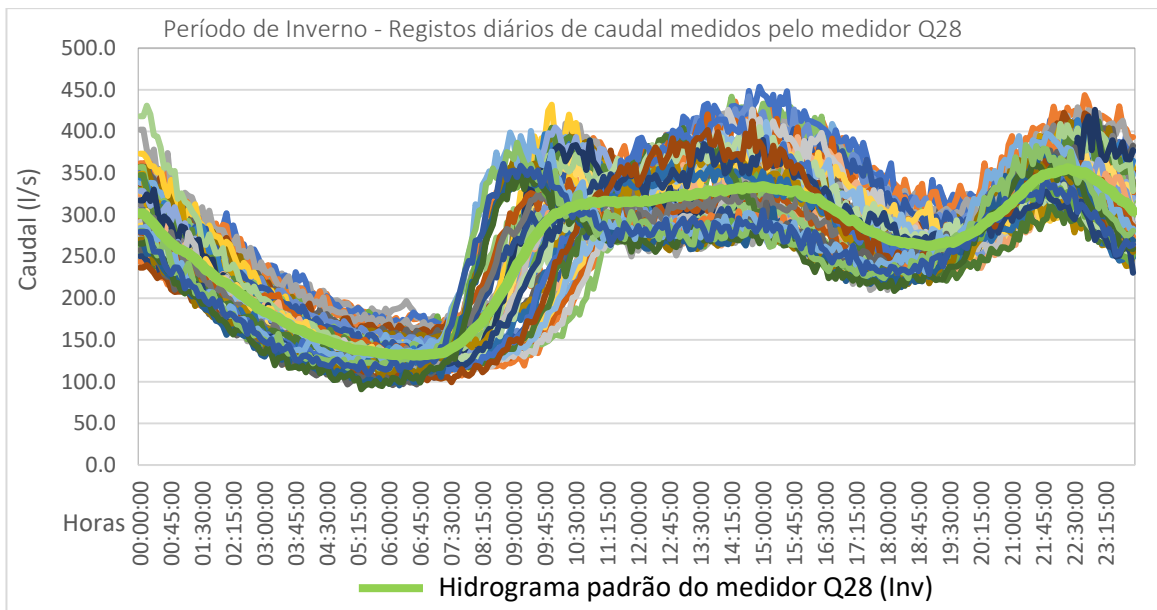


Figura 4.3.2- Exemplo ilustrativo da discrepância existente entre certos hidrogramas de caudal diário, no período de inverno no ano em estudo, e o hidrograma padrão estimado

## 4.4 Metodologia adotada

A presente dissertação alberga apenas as primeiras duas etapas mencionadas no Capítulo 3.3. Os objetivos da primeira etapa são: definir o(s) problema(s); determinar, estabelecer e analisar os requisitos relativos ao desempenho hidráulico do sistema de drenagem a analisar e escolher o método de diagnóstico que se melhor adequa aos objetivos a atingir, neste caso será através da criação de um modelo de simulação matemática.

A segunda etapa do processo de avaliação do desempenho de sistemas de drenagem baseia-se, numa primeira fase, na recolha e atualização de dados cadastrais disponíveis. Sendo os elementos de cadastro muitas vezes escassos ou desatualizados, torna-se relevante efetuar-se visitas técnicas ao campo. Informação como características das bacias de drenagem, características das câmaras de visita e coletores, existência de outros elementos físicos no sistema (descarregadores, orifícios, etc.), requisitos legais e autorizações necessárias, etc., são fundamentais ao desenvolvimento do estudo de reabilitação do sistema. É ainda essencial a existência de dados de monitorização de caudal, durante o período em estudo, em diversos locais do sistema de drenagem e a respetiva validação desses dados. Após a recolha e atualização dos dados, é necessário a escolha do domínio de avaliação, isto é, se o diagnóstico a efetuar é do domínio hidráulico (avaliar o funcionamento hidráulico do sistema), estrutural (avaliar o estado físico do sistema) ou ambiental.

Existem diversos modelos de simulação matemática, disponíveis no mercado, adequados aos diferentes tipos de domínios de avaliação. Na presente dissertação será efetuado um diagnóstico ao desempenho hidráulico do sistema através da criação de um modelo matemático. A construção do modelo inicia-se com a introdução de certos elementos físicos do sistema, como as câmaras de visita e os coletores, através da criação de um ficheiro de leitura adequado ao modelo escolhido. De seguida

introduzem-se, caso existam, os restantes elementos físicos como as descargas de emergência, os orifícios, as bombas, udómetros, os poços de armazenamento, etc com as respetivas características. Após concluído todo o processo de criação do modelo físico do sistema de drenagem, efetua-se o *debugging*, isto é, a verificação do modelo criado e correção de eventuais anomalias/erros que poderão existir.

A calibração e validação em tempo seco e tempo húmido é imprescindível para a obtenção de um modelo que representa o melhor possível a realidade. Deste modo, inicia-se a calibração do modelo da bacia da Lage em tempo seco escolhendo-se, de forma aleatória, dias nos períodos de verão e de inverno que darão auxílio à calibração e validação do modelo. São introduzidas aflúências de caudal nas câmaras de visita de cabeceira das sub-bacias e caso existam dados relativos, ao longo da rede utilizando os hidrogramas padrão de dados reais de caudal monitorizado durante o período em estudo. Através de um processo iterativo de simulações, é possível alcançar valores de caudal médio ( $Q_{\text{méd}}$ ) com os quais se obtém o melhor conjunto de resultados através do modelo de simulação, sendo eles: erro volumétrico, erro de caudal de ponta e comparação da forma dos hidrogramas reais com os simulados nos pontos da bacia da Lage onde existam medidores de caudal.

De seguida, inicia-se a calibração em tempo húmido escolhendo-se dois ou mais eventos pluviométricos, dentro do período em estudo, que servirão para calibrar e validar o modelo. Na calibração em tempo húmido são introduzidas as mesmas aflúências de caudal previamente inseridas aquando da calibração em tempo seco, utilizando-se os valores finais obtidos para os caudais médios. Em tempo húmido é necessário ter em consideração as contribuições pluviométricas, pelo que é fundamental a introdução de valores reais de precipitação nos udómetros criados no modelo. A obtenção de um modelo final calibrado e validado passa, uma vez mais, por um processo iterativo de sucessivas simulações. Durante este processo iterativo, parâmetros como áreas totais, percentagem de áreas impermeáveis, inclinação e largura das sub-bacias irão sofrer alterações nos respetivos valores, isto é, serão obtidos novos valores para esses parâmetros (valores fictícios). É necessário efetuar esta análise às sub-bacias dado que o SWMM assume que todo o escoamento superficial que se gera em cada sub-bacia entra na rede de coletores, o que na realidade não é isso que ocorre no subsistema de drenagem da Costa do Estoril. Este sistema é do tipo separativo doméstico, logo, é necessário estimar os valores das áreas de cada sub-bacia que realmente contribuem para os volumes de aflúências indevidas de caudal pluvial registados na bacia da Lage.

Posteriormente às calibrações dos modelos de simulação de tempo seco e de tempo húmido, prossegue-se à fase de recolha de resultados. É nesta fase que são verificados critérios regulamentares; calculados indicadores de desempenho; calculados volumes de aflúências indevidas pluviais e, ainda, estimadas percentagens de ligações indevidas.

Para a obtenção de volumes de aflúências indevidas pluviais, realiza-se uma corrida do modelo de simulação em tempo seco (não se considera o fator precipitação) e registam-se os respetivos resultados para os volumes de escoamento obtidos. Seguidamente efetua-se outra corrida do modelo

de simulação em tempo húmido (considerando o fator precipitação) e registam-se os resultados obtidos. Os volumes de afluências indevidas pluviais resultam de uma operação de subtração entre dos volumes de escoamento obtidos em tempo húmido e os volumes de escoamento obtidos em tempo seco.

As percentagens de ligações indevidas serão estimadas para cada sub-bacia do modelo e são obtidas através da relação entre os valores reais para as suas áreas e os valores fictícios obtidos para essas mesmas áreas durante a calibração da bacia da Lage em tempo húmido.

Através da análise dos resultados obtidos é possível efetuar um diagnóstico ao desempenho hidráulico do sistema de drenagem para, posteriormente, se desenvolverem medidas e ações para a sua reabilitação (etapas 3 e 4 do processo de avaliação do desempenho de sistemas de drenagem (Capítulo 3.3)).

# 5 MODELAÇÃO DO SUBSISTEMA DE DRENAGEM DA COSTA DO ESTORIL, CALIBRAÇÃO DA BACIA DA LAGE E ANÁLISE DE RESULTADOS

## 5.1 Considerações iniciais

Este capítulo diz respeito ao procedimento de construção do modelo dinâmico para o caso de estudo desta dissertação, o subsistema de drenagem da Costa do Estoril. Tendo por base os dados explicitados no Capítulo 4 da presente dissertação, procedeu-se à construção do modelo utilizando o software *Storm Water Management Model (SWMM)* desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency (USEPA)*. Será ainda efetuada a calibração, em tempo seco e tempo húmido, da bacia da Lage; a quantificação das afluências indevidas através do modelo já calibrado; a análise ao sistema a critérios regulamentares e o cálculo dos indicadores de desempenho referidos no Capítulo 2.

Inicialmente, por forma a obter uma representação conceptual do sistema de drenagem, foi necessário definir um conjunto de objetos que incorporam o sistema de drenagem em questão (como: as câmaras de visita, os coletores, as bacias de drenagem, as bombas e as saídas do sistema), incluindo a referenciação de coordenadas e cotas dos respetivos nós, o traçado da rede daí resultante e a respetiva topologia. Os objetos não visuais, tais como as contribuições de caudal pluvial, a definição das áreas contributivas e as séries temporais, foram sendo definidas paralelamente. As calibrações dos modelos foram feitas ajustando alguns parâmetros de modo a aproximar o caudal simulado obtido com dados reais de caudal observados. Considerou-se que os modelos seriam representativos do sistema em estudo quando o ajustamento dos parâmetros conduziu ao menor erro de simulações.

## 5.2 Construção física do modelo

Inicialmente foi efetuada uma primeira revisão ao conjunto de dados fornecidos e foi elaborado um ficheiro Excel, com as características de cada câmara de visita e de cada coletor, com um formato estratégico. A partir desse ficheiro Excel foi criado um ficheiro de leitura característico do programa SWMM, representado no Anexo C. A convenção utilizada na nomenclatura de todos os elementos físicos nesta dissertação é a mesma utilizada pela entidade gestora. A Figura 5.2.1 (a) representa, a título de exemplo ilustrativo, a janela de edição no SWMM de uma câmara de visita inserida no modelo.

Neste modelo foram definidas mais de 3500 câmaras de visita. As câmaras de visita representam um ponto de entrada de afluências externas à rede de drenagem (*Inflows*) que, apesar de nesta fase do modelo não serem definidos quaisquer pontos de entrada de caudal na rede, para a fase de calibração da bacia da Lage será necessário a introdução de alguns desses valores no modelo.

Como também já referido, da mesma forma que foram criadas as câmaras de visita, foram definidos mais de 3500 coletores no modelo. A título de exemplo ilustrativo apresenta-se na Figura 5.2.1 (b) a

janela de edição de um coletor incorporado no modelo. No que diz respeito ao coeficiente de *Manning*, utilizou-se um único valor aplicável para todo o modelo,  $0,01 \text{ s.m}^{-1/3}$ , que se admite ser adequado para os materiais que constituem as tubagens do subsistema de drenagem da Costa do Estoril.

(a)	
Junction PS0220.00 <span style="float: right;">✕</span>	
Property	Value
Name	PS0220.00
X-Coordinate	-101412.070
Y-Coordinate	-104965.800
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	71.59
Max. Depth	2.28
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

(b)	
Conduit RC1400.00A <span style="float: right;">✕</span>	
Property	Value
Name	RC1400.00A
Inlet Node	RC1400.00
Outlet Node	RC1410.00
Description	
Tag	
Shape	Circular
Max. Depth	0.3
Length	58.77
Roughness	0.01
Inlet Offset	167.82
Outlet Offset	166.67
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

Figura 5.2.1 – (a) Interface do SWMM para a introdução das características da câmara de visita PS0220.00, situada na bacia de Porto Salvo e (b) Interface do SWMM para a introdução das características do coletor RC1400.00A situado na bacia de Recoveiro

Para além destes 2 elementos físicos, fazem ainda parte do modelo outros elementos, que foram sendo introduzidos gradualmente, nomeadamente: postos udométricos, bacias hidrográficas, descarregadores, unidade de armazenamento, pontos de descarga, repartidor de caudal e grupos eletrobomba. A visita técnica realizada ao campo foi essencial para uma melhor compreensão do posicionamento e funcionamento de todos os elementos integrantes no subsistema e para a criação do respetivo modelo de simulação, nomeadamente no esclarecimento das regras de controlo das bombas das estações elevatórias e dos descarregadores de emergência existentes no subsistema.

O Capítulo 5.3 consiste na calibração de uma bacia piloto do subsistema da Costa do Estoril, a bacia da Lage, pelo que foi efetuado o respetivo estudo para tempo seco e tempo húmido, sendo que, para este último, é indispensável o fator hidrológico. Foi, assim, necessário associar valores de precipitação de um determinado posto udométrico à bacia da Lage. No entanto, com o intuito de criar um modelo de simulação o mais completo possível para futuros trabalhos, foram introduzidos valores relativos aos

5 postos udométricos que integram o subsistema da Costa do Estoril (U02, U09, U25, U33 e U35). Foram, então, criadas 5 séries temporais (*Time Series*) com valores de precipitação, de 5 em 5 minutos, relativos ao ano em análise (11/01/14 a 10/31/15), vinculando, de seguida, cada série temporal ao respetivo posto udométrico. Na Figura 5.2.2 está representada a série temporal criada para o udómetro U25, dado que, caso não sejam introduzidos valores de precipitação relativos a uma certa hora do dia, o programa SWMM assume como sendo zero, foram apenas introduzidos valores em que a precipitação não fosse nula.

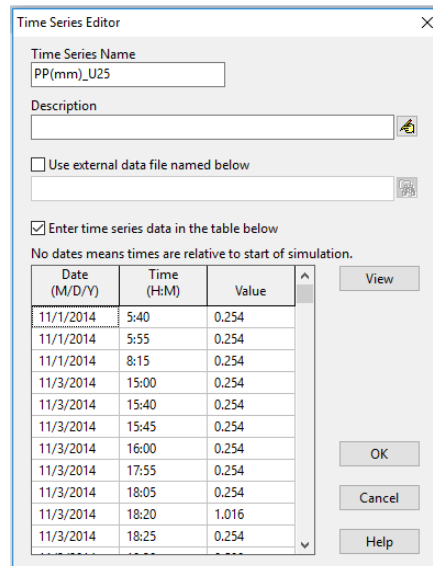


Figura 5.2.2- Janela de edição no programa SWMM relativa à série temporal de precipitação do udómetro U25

Seguidamente procedeu-se à progressiva criação e delimitação das diferentes sub-bacias no modelo, tendo sido definidas mais de 50 sub-bacias. Os principais parâmetros associados à definição de uma bacia hidrográfica são: coordenadas (M e P); posto udométrico associados; câmara de visita de ligação; área; largura característica do escoamento superficial; inclinação média e percentagem de área impermeável. Apesar de alguns destes parâmetros terem sido inicialmente definidos, aquando da calibração da bacia da Lage em tempo húmido, sofreram alterações afim de se obter uma simulação o mais realista possível. Estas alterações têm de ser efetuadas dado que o software SWMM assume que todo o caudal superficial derivado de eventos pluviométricos, introduzir-se-á no sistema, o que, na realidade, não acontece, dado que o subsistema de drenagem da Costa do Estoril apresenta um comportamento pseudo-separativo.

Seguidamente procedeu-se à definição das estações elevatórias e dos grupos de bombas. O SWMM não trata condutas em pressão, sendo as estações elevatórias representadas no modelo através de uma unidade de receção e armazenamento de caudal (poço de bombagem) ligado ao sistema gravítico a jusante através de linhas de bombagem. Posto isto, foram criados 9 poços de armazenamento, representando as 9 estações elevatórias do subsistema de drenagem. Para cada um dos poços foi criada uma curva de armazenamento, do tipo *Tabular Curve*, que define o volume através da sua área e profundidade. Na Figura 5.2.3 (a) encontra-se representado, a título de exemplo, uma janela de edição de uma curva criada para um dos poços de bombagem do modelo. A cada um dos poços foram

associadas o respetivo número de bombas, tendo sido criadas na totalidade 29 bombas. É relevante referir que em todas as estações elevatórias existe, pelo menos, mais uma bomba do que aquelas que se encontram em funcionamento, isto é, existe sempre uma bomba de reserva para alguma eventualidade, como por exemplo avaria ou ações de limpeza.

A definição de cada grupo de bombas passa pela conceção das respetivas curvas, que estabelecem a relação entre o caudal bombado e a altura de água dentro de cada poço de bombagem, tendo sido, assim, introduzidos dados referentes ao caudal bombado por cada grupo de bombas e à altura de elevação. A visita ao campo foi também essencial nesta fase de conceptualização do modelo na medida em que proporcionou o esclarecimento do funcionamento das regras de controlo hidráulicas de cada bomba. Posto isto, foram introduzidas no modelo as regras de arranque (“A”) e paragem (“P”) específicas para cada bomba, tal como mostra a Figura 5.2.3 (b).

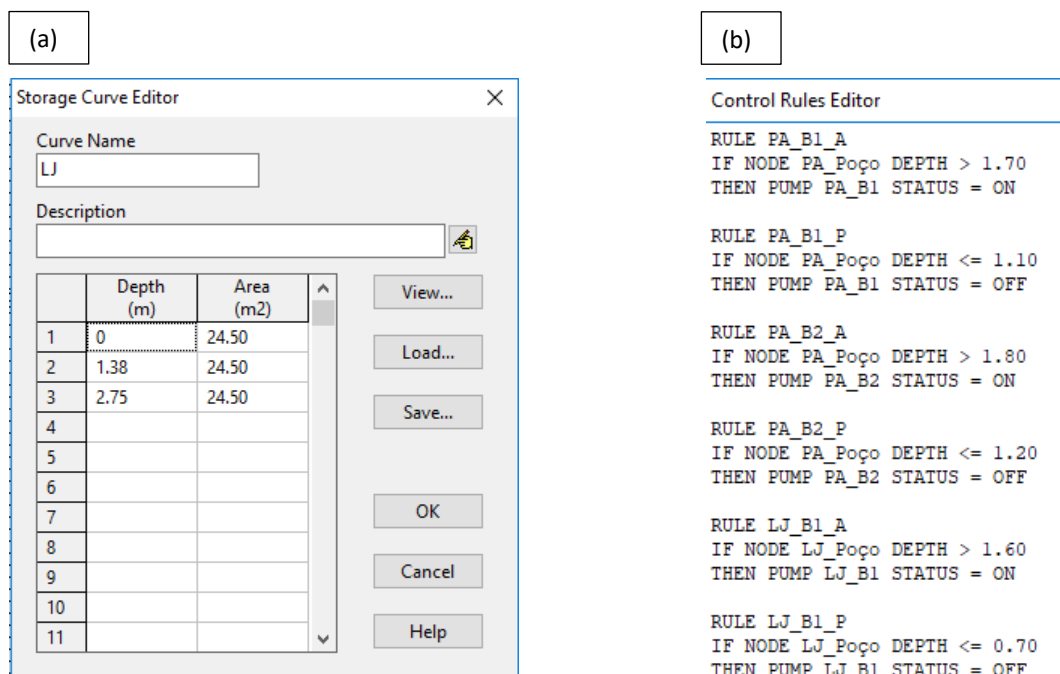
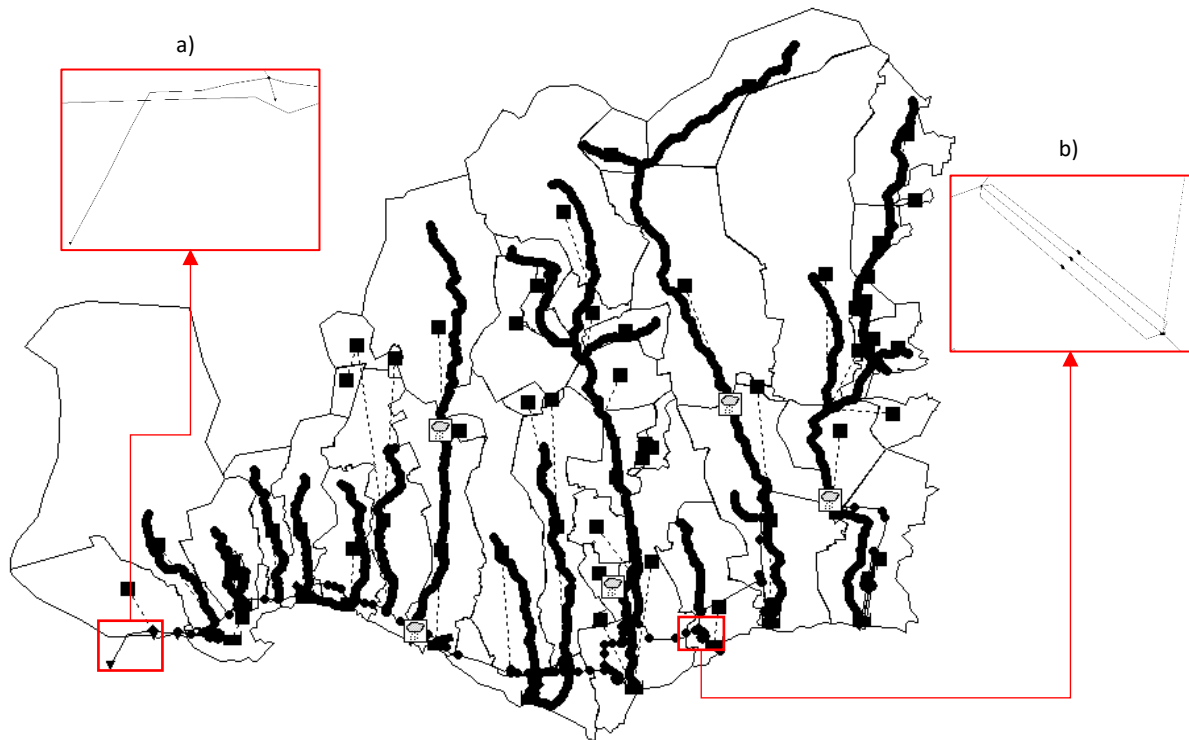


Figura 5.2.3 – (a) Janela de edição do SWMM da curva de armazenagem do poço de bombagem da bacia da Lage e (b) Parcela da janela de edição do SWMM das regras de controlo das bombas

No que toca às saídas do subsistema (descargas), foram introduzidos no modelo 11 canais, distribuídos pelo Intercetor Principal, bacia da Lage e ETAR da Guia. À exceção do canal de saída que representa o Emissário Submarino, que simboliza a descarga de caudal devidamente tratado para o meio recetor, estes canais representam pontos de descarga de emergência do subsistema e são introduzidos no modelo através de *Outfall Nodes*. A ETAR da Guia é retratada no modelo através de um repartidor de caudal dado que a sua capacidade hidráulica poderá ser ultrapassada em tempo de chuva e, se assim for, parte do caudal por tratar é encaminhado para fora do sistema de drenagem por um descarregador de tempestade. Deste modo, a ETAR reparte-se em dois canais de saída: Emissário Submarino e descarga de emergência.



Na Figura 5.2.4 encontra-se representado o resultado final do modelo físico do subsistema de drenagem da Costa do Estoril. Seguidamente procedeu-se à calibração da zona em alta da bacia da Lage, descrita no Capítulo 5.3, e, para tal, isolou-se apenas esta bacia dos restantes elementos do modelo dando origem, deste modo, a um novo modelo de simulação, representado na Figura 5.2.5.



*Figura 5.2.4- Representação esquemática do resultado final do modelo físico do subsistema de drenagem da Costa do Estoril e exemplos ilustrativo de a) ETAR da Guia e Emissário Submarino e b) Grupo de bombas da bacia de Porto Salvo*

É de salientar que a construção de todo o modelo matemático do subsistema de drenagem da Costa do Estoril foi desenvolvida com a colaboração do meu colega de curso Filipe Guerreiro e de técnicos profissionais da empresa Águas do Tejo Atlântico (AdTA).

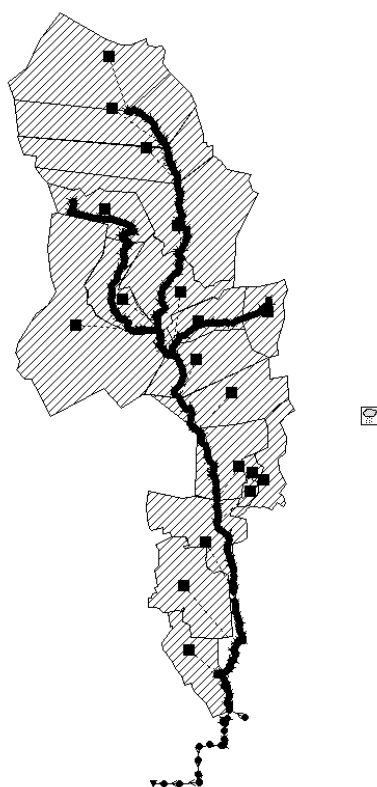


Figura 5.2.5- Representação do modelo da bacia da Lage

O modelo matemático do emissário da Lage é constituído por mais de 500 nós e mais de 500 troços, 3 descargas de emergência para a Ribeira da Lage e, inicialmente, por 12 sub-bacias hidrográficas. Cinco destas sub-bacias foram divididas dando origem a mais 7, o que faz um total de 19 sub-bacias hidrográficas no modelo. Com esta fragmentação, pretendeu-se que a entrada de caudal, relativo a cada uma das sub-bacias, não ocorresse apenas numa câmara de visita, mas sim ao longo dos emissários, tal como ocorre naturalmente. O modelo da bacia da Lage é apresentado com maior detalhe na **Error! Reference source not found.** do Anexo D, onde, também, são apresentadas as designações de cada sub-bacia criada.

## 5.3 Calibração e validação da bacia da Lage

### 5.3.1 Considerações iniciais

A calibração da zona em alta bacia da Lage foi feita, como já foi referido, para tempo seco e tempo húmido, e as respetivas simulações do comportamento hidráulico foram efetuadas com base no estabelecimento de alguns cenários para as afluências ao sistema. Todas as simulações foram feitas com a opção de modelo de propagação de fluxo como onda dinâmica. Apesar desta opção exigir maior tempo de computação, inclui fenómenos como inversão do sentido do escoamento, efeitos de regolfo e condutas em pressão que não são suportados pelo modelo de onda cinemática, que é hidráulicamente mais adequado. Ambas as calibrações se desenvolveram de igual forma, isto é, as calibrações efetuaram-se progressivamente tendo-se dividido a bacia da Lage em quatro troços. O primeiro troço consiste na zona desde o início do emissário da Lage até ao medidor de caudal Q28, o

segundo troço é relativo à zona entre os medidores de caudal Q28 e Q03B, o terceiro troço entre os medidores de caudal Q03B e Q04 e, por fim, o quarto troço consiste na zona entre os medidores Q04 e Q07.

### 5.3.2 Calibração de tempo seco

O volume de caudal de tempo seco reflete a contribuição de águas residuais domésticas presente no sistema de drenagem. O caudal é representado através de uma taxa média a cada ponto de entrada no modelo, sendo definido pela relação entre a população da sub-bacia de drenagem e a população total do sistema. A calibração da bacia da Lage em tempo seco efetuou-se simultaneamente para os períodos de verão e inverno nos pontos onde se encontram os quatro medidores de caudal instalados no emissário da Lage (medidores Q28, Q03B, Q04 e Q07).

A calibração do modelo passa por aferir o balanço de volumes, o caudal de ponta e a forma do hidrograma, comparando os resultados da simulação e os observados. Nesse sentido, existem parâmetros e intervalos de valores de referência, para calibração em tempo seco em ambos os períodos, sintetizados no Quadro 5.3.1, definidos por WAPUG (2002).

Quadro 5.3.1 – Critérios para a avaliação da calibração em tempo seco (WAPUG, 2002)

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
Erro Volumétrico	Dentro de -10% a +10% do volume medido
Erro no Caudal de Ponta	Dentro de -10% a +10% do caudal de ponta medido
Forma	A forma dos hidrogramas previstos devem acompanhar de perto o caudal medido

Apesar das simulações a efetuar serem relativas a tempo seco, devido às características peculiares da bacia da Lage, como é o caso de não haver medições de caudal na cabeceira das sub-bacias de Mem Martins e Vale Mourão e da existência de 3 descargas de emergência ao longo da bacia das quais são desconhecidas as respetivas cotas, considerou-se como critérios de calibração, no que toca aos erros volumétricos e de caudal de ponta, os seguintes:

- Erro volumétrico: [-10%; +20%]
- Erro no caudal de ponta: [-15%; +25%]

Os erros volumétricos e do caudal de ponta são obtidos através das equações (5) e (6), respetivamente.

$$\text{Erro Volumétrico} = \frac{\text{Volume Escoamento Medido} - \text{Volume Escoamento Simulado}}{\text{Volume Escoamento Medido}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Erro Caudal de Ponta} = \frac{\text{Valor de Ponta Medido} - \text{Valor de Ponta Simulado}}{\text{Valor de Ponta Medido}} \times 100 \quad (6)$$

Como já foi mencionado, a calibração da bacia da Lage foi iniciada pela análise do primeiro troço: início do emissário da Lage até ao medidor de caudal Q28. Dado que não existem dados de caudal monitorizados à cabeceira de cada sub-bacia, estabeleceu-se a afluência de caudal no modelo na primeira câmara de visita da bacia da Lage (LJ0010.00), através da criação de *Time Patterns* (indicação que faz variar o caudal com o padrão escolhido), o que consistiu na introdução de valores, na respetiva janela de edição, resultantes da divisão entre os hidrogramas padrão de tempo seco, do medidor Q28, pelos respetivos valores de caudal médio (apresentados no Capítulo 4.3). Com o intuito de diminuir o tempo de simulação, os resultados desta operação de divisão foram introduzidos no modelo apenas de hora em hora, tal como se pode observar pela Figura 5.3.1. A calibração do troço da bacia da Lage relativo à primeira câmara de visita até à câmara onde se encontra o medidor de caudal Q28 (LJ0760.00) consistiu num processo iterativo de simulações que se baseou no ajuste do valor do caudal médio inserido no modelo.

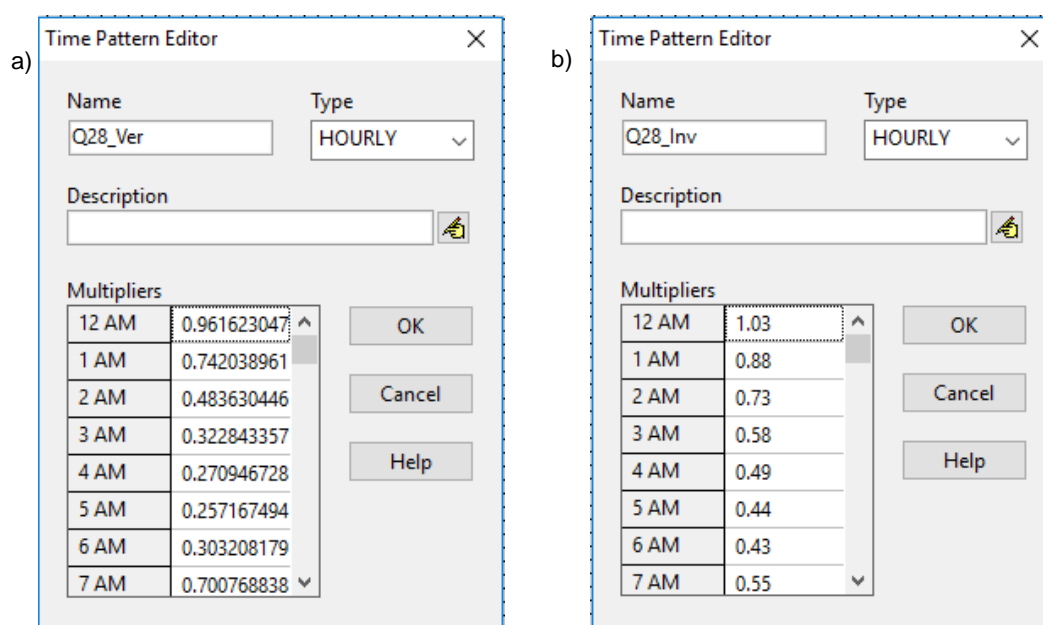


Figura 5.3.1 – Janela de edição do SWMM relativa ao Time Pattern do medidor Q28 em tempo seco para o a) período de verão e b) período de inverno, valores introduzidos no SWMM de hora em hora

A análise de tempo seco apenas envolve resultados de um dia de simulação, no entanto é considerado um tempo de simulação de três dias para anular o efeito do tempo de escoamento inicial e eventuais erros do modelo no final de cada simulação. Como já foi referido, para cada tipo de calibração (período de verão e inverno) foram escolhidos aleatoriamente três dias dentro do período em estudo, sendo que 2 dias foram utilizados para a calibração do modelo e 1 dia para a respetiva validação.

Posto isto, nos Quadro 5.3.2 e Quadro 5.3.3 encontram-se registados os melhores resultados obtidos dos vários cenários analisados de calibração em tempo seco, respetivamente nos períodos de verão e inverno, relativos ao ponto de medição de caudal Q28. No processo de obtenção destes resultados foram analisados diversos valores de caudal médio ( $Q_{méd.}$ ) da câmara de visita LJ0010.00, sendo que, para os resultados dos quadros mencionados, o  $Q_{méd}$  tomou o valor de 156 l/s.

Quadro 5.3.2 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do primeiro troço da bacia da Lage

<b>Medidor - Q28</b>		<b>Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Verão</b>		
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)	Sábado	Quinta	Segunda
LJ0010.00	156	<b>11/07/2015</b>	<b>03/09/2015</b>	<b>07/09/2015</b>
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		12617.95	12425.04	12164.13
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		13423.20		
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		69.20	70.95	69.66
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		73.12		
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		-6.4	-8.0	<b>-10.4</b>
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-5.6	-3.1	-5.0

Quadro 5.3.3 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do primeiro troço da bacia da Lage

<b>Medidor - Q28</b>		<b>Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Inverno</b>		
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)	Domingo	Segunda	Domingo
LJ0010.00	156	<b>02/11/2014</b>	<b>16/03/2015</b>	<b>05/04/2015</b>
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		12189.28	15406.59	14835.66
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		13470.37		
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		268.90	290.30	305.40
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		216.81		
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		<b>-10.5</b>	12.6	9.2
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		19.4	<b>25.3</b>	<b>29.0</b>

Os erros obtidos ultrapassam em certos casos os intervalos estipulados (assinalados a vermelho), no entanto essa ultrapassagem não foi considerada gravosa visto que retratam um dos melhores cenários obtidos. É importante referir que neste tipo de modelação, os erros volumétricos são mais condicionantes, isto é, caso os resultados obtidos sejam insatisfatórios para os dois tipos de erro, é dada prioridade aos erros volumétricos, ajustando o modelo de forma a que estes se encontrem dentro dos intervalos mencionados.

Como já foi mencionado, outro fator a ter em consideração aquando da realização da calibração e validação do modelo em análise, é a comparação entre as formas dos hidrogramas do caudal medido e do caudal simulado. As Figura 5.3.2 e Figura 5.3.3 representam a comparação entre ambos os hidrogramas relativos aos dias em análise para a calibração (dia 03/09/15 e dia 07/09/15) e validação do modelo (dia 11/07/15) em tempo seco, respetivamente, para os períodos de verão e inverno, inerentes ao medidor de caudal Q28.

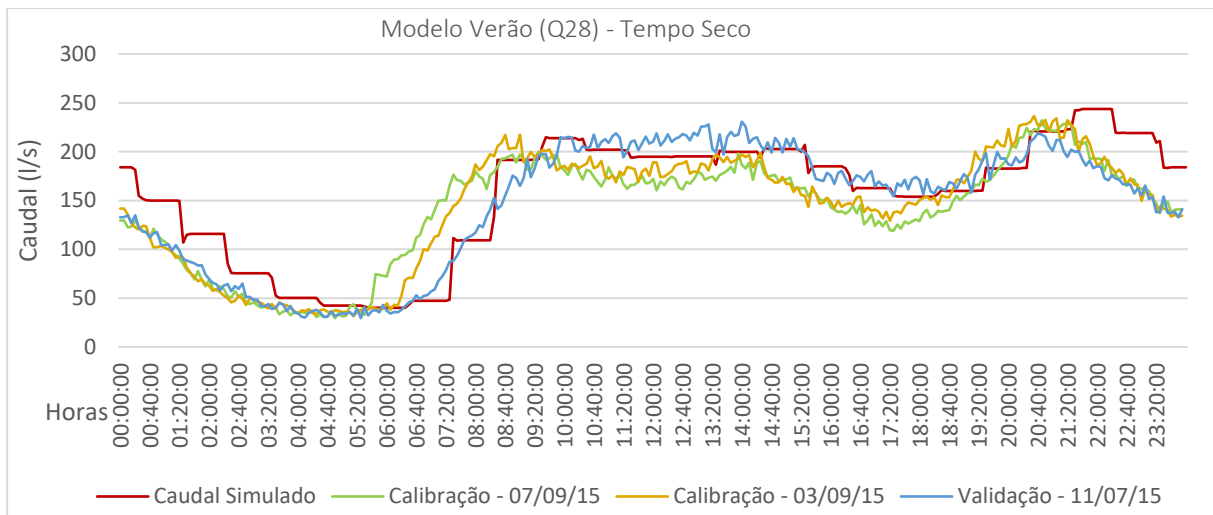


Figura 5.3.2- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q28

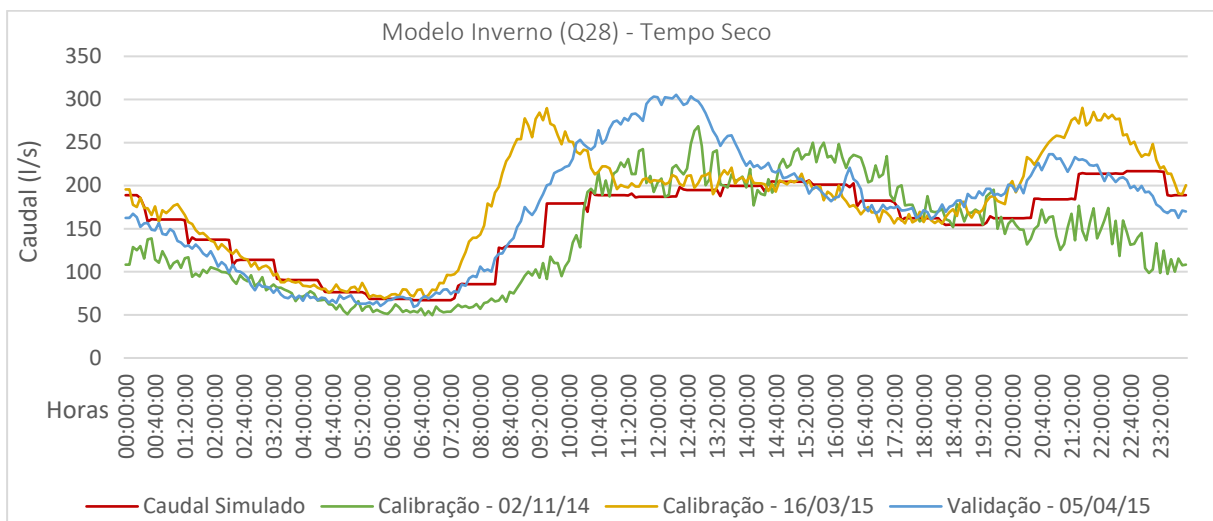


Figura 5.3.3- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q28

Em ambas as figuras, os hidrogramas representados a vermelho correspondem aos hidrogramas do caudal simulado no coletor onde o medidor de caudal Q28 se encontra (coletor LJ0755.00A). O aspeto em “escadas” que a curva o hidrograma de caudal simulado apresenta deve-se ao facto dos valores dos hidrogramas padrão terem sido introduzidos de hora em hora no modelo.

Na figura relativa à análise no período de verão, é possível constatar que o hidrograma simulado tem tendência a acompanhar os restantes hidrogramas, sendo que os caudais máximos e mínimos ocorrem aproximadamente ao mesmo tempo. É de referir apenas que a partir das 21h45 se verifica um ligeiro afastamento entre os hidrogramas, no entanto esse afastamento não foi considerado significativo. Em relação à figura do período de inverno, é possível presenciar algumas diferenças entre os hidrogramas

dos três dias de caudal medido, contudo o hidrograma simulado apresenta uma tendência em acompanhar esses três hidrogramas. A curva a azul, correspondente ao dia 05/04/15, é a que apresenta um pico mais elevado e distante do pico da curva do hidrograma simulado, fator já esperado pelo resultado obtido para o erro de caudal de ponta deste dia (29%).

Seguidamente iniciou-se a calibração do troço da bacia da Lage até ao segundo medidor de caudal (segundo troço), o medidor Q03B. Este troço requer uma maior atenção dado que se encontram agregados, ao emissário da bacia da Lage, outros dois emissários: emissário de Mem Martins e emissário de Vale Mourão.

Como já foi referido, não existem dados de caudal à cabeceira de cada emissário, no entanto são conhecidos os volumes de caudal que afluem à câmara de visita associada ao medidor de caudal Q03B. Deste modo, introduziram-se novas afluências de caudal nas câmaras de visita de cabeceira dos emissários de Mem Martins (MM0010.0) e Vale Mourão (VM0010.0) através da criação de *Time Patterns*, alusivos aos hidrogramas padrão, de verão e de inverno, do medidor de caudal Q03B, respetivamente, nos modelos de simulação de verão e inverno.

O volume de caudal médio medido pelo medidor Q03B ( $Q_{\text{méd\_Inv}}=236.6$  l/s e  $Q_{\text{méd\_Ver}}=174.3$  l/s) é, substancialmente, igual à soma dos volumes de caudal médio do emissário de Mem Martins, do emissário de Vale Mourão e do primeiro troço do emissário da Lage já analisado (que resultou num  $Q_{\text{méd}}=156$  l/s). O caudal médio introduzido em cada uma das câmaras de visita de cabeceira será, então, diferente e ainda inferior aos caudais médios relativos aos hidrogramas padrão do medidor Q03B de cada período.

A definição dos valores a atribuir ao caudal médio que afluí a cada uma das câmaras de visita de cabeceira, compreendeu uma análise ao número de habitantes definido para as sub-bacias Q28, Mem Martins e Vale Mourão. Com os dados do Quadro B.3 do Anexo B, relativos ao número de habitantes em cada sub-bacia, foi possível estimar valores de caudal médio passíveis de serem utilizados no início da calibração do segundo troço da bacia da Lage. Os resultados obtidos através desses cálculos encontram-se representados no Quadro 5.3.4.

*Quadro 5.3.4 – Resultados obtidos, através de regras de três simples, para os valores de caudal médio a introduzir no modelo nas câmaras de visita de cabeceira dos emissários de Mem Martins e Vale Mourão*

<b>Sub-bacia</b>	<b>População (hab)</b>	<b>Câmara de visita de cabeceira</b>	<b><math>Q_{\text{méd}}</math> (l/s)</b>
Q28	90437	LJ0010.00	156
Mem Martins	971	MM0010.00	2
Vale Mourão	7134	VM0010.00	12

É importante referir que os resultados obtidos para os caudais médios, representados no quadro anterior, não têm em consideração o troço da bacia da Lage entre a câmara de visita onde se encontra instalado o medidor de caudal Q28 e a câmara de visita onde se encontra o medidor Q03B, o que implica, à partida, um eventual aumento dos valores de caudal médio ao longo deste percurso.

Uma vez mais, o procedimento de alcançar os melhores resultados para os modelos, de verão e inverno em tempo seco, resultou de um processo iterativo de sucessivas corridas do programa SWMM. Nos Quadros 5.3.5 e Quadro 5.3.6 encontram-se representados os resultados obtidos para os valores de caudal médio, das duas câmaras de visita de cabeceira das sub-bacias de Mem Martins e Vale Mourão, que se melhor adequam aos modelos de simulação, de verão e inverno, e os respetivos conjuntos de resultados de erros para os diferentes dias analisados para a calibração em tempo seco. Através desses quadros é possível aferir a alteração dos valores de caudal médio para 7 l/s e 23 l/s nas câmaras de visita de cabeceira de Mem Martins e Vale Mourão, respetivamente.

*Quadro 5.3.5 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do segundo troço da bacia da Lage*

<b>Medidor - Q03B</b>		<b>Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Verão</b>		
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)	Sábado	Quinta	Segunda
MM0010.00	7	<b>11/07/2015</b>	<b>03/09/2015</b>	<b>07/09/2015</b>
VM0010.00	23			
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		14974.13	13711.46	13799.97
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		15919.72		
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		257.10	265.50	258.40
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		282.88		
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		-6.3	<b>-16.1</b>	<b>-15.4</b>
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-10	-6.5	-9.5

*Quadro 5.3.6 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do segundo troço da bacia da Lage*

<b>Medidor - Q03B</b>		<b>Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Inverno</b>		
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)	Domingo	Segunda	Domingo
MM0010.00	7	<b>02/11/2014</b>	<b>16/03/2015</b>	<b>05/04/2015</b>
VM0010.00	23			
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		19177.83	19332.42	13799.97
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		16055.63		
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		339.40	341.50	354.20
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		267.16		
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		16.3	16.9	10.2
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		21.3	21.8	24.6

Tal como se sucedeu no primeiro troço da calibração, certos resultados obtidos para os erros volumétricos no período de verão excederam os intervalos estipulados (assinalados a vermelho), todavia os valores apresentados nos quadros acima retratam a melhor solução obtida tendo em consideração os dois tipos de calibração, no período de verão e de inverno. É possível aferir que os erros obtidos no Quadro 5.3.5 tomam valores negativos, o que indica que o modelo matemática se encontram por excesso, isto é, os volumes de caudal no período de verão são superiores aos volumes



de caudal reais medidos pelo medidor Q03B. O contrário ocorre na calibração do período de inverno, pelo Quadro 5.3.6 é possível verificar que os valores dos erros obtidos tomam valores positivos.

As Figura 5.3.4 e Figura 5.3.5 representam a comparação entre os hidrogramas de simulação e de medição relativos aos dias escolhidos aleatoriamente para a calibração e validação do modelo em tempo seco, respetivamente, para os períodos de verão e inverno, inerentes ao medidor de caudal Q03B.

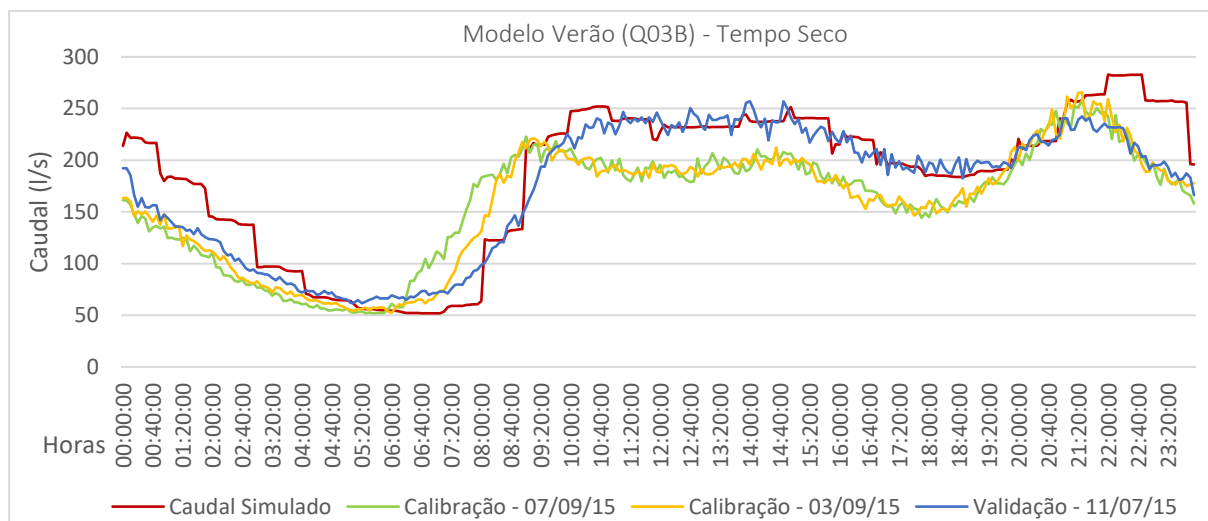


Figura 5.3.4- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q03B

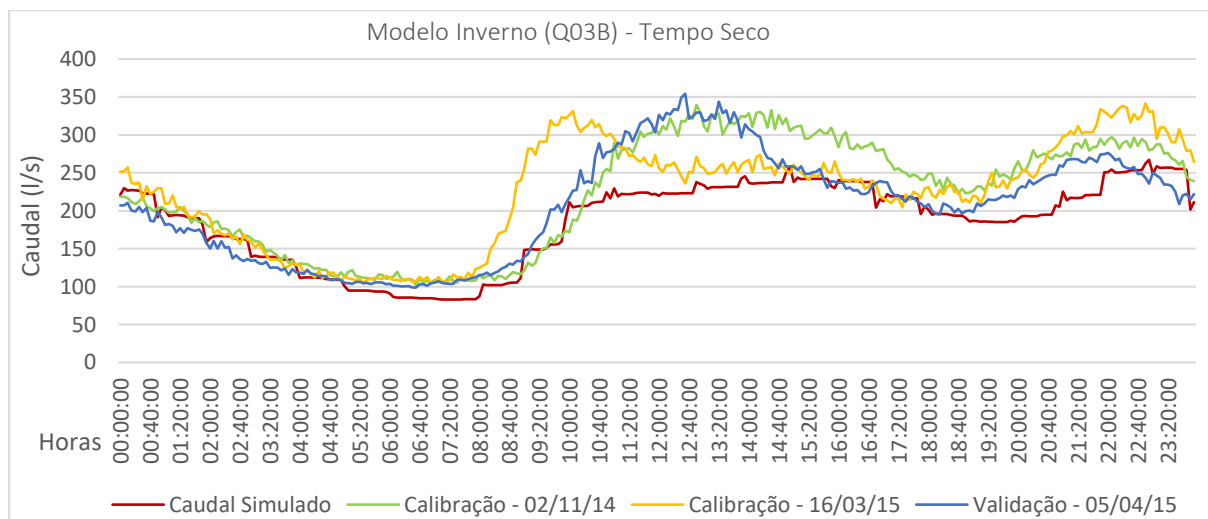


Figura 5.3.5- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q03B

Pela análise à Figura 5.3.5 é possível confirmar que a curva do hidrograma simulado se situa sensivelmente abaixo das restantes curvas, indicando, novamente, que o modelo se encontra por

defeito no que toca ao tempo de inverno. No entanto, em ambos os gráficos é notável a tendência que os hidrogramas simulados têm em acompanhar os restantes hidrogramas, sendo que os caudais máximos e mínimos ocorrem aproximadamente à mesma hora. A solução final do segundo troço da bacia da Lage que se melhor adequa aos dois períodos em análise é, então, duas afluições de caudal com  $Q_{méd} = 7$  l/s e  $Q_{méd} = 23$  l/s nas câmaras de visita MM0010.00 e VM0010.00, respetivamente.

Seguidamente, iniciou-se a calibração do terceiro troço da bacia da Lage, isto é, desde a câmara de visita onde se encontra instalado o medidor de caudal Q03B até à câmara de visita onde se encontra o medidor Q04. Utilizando o mesmo método de análise do segundo troço da bacia da Lage, o volume de caudal que aflui à câmara de visita deste último medidor é, essencialmente, igual ao volume de caudal afluente à câmara de visita do medidor Q03B e restantes volumes que afluem ao longo deste terceiro troço. Através da **Error! Reference source not found.** do Anexo D é possível verificar que existem apenas três sub-bacias (Q29, Q30 e Q31) relativas ao troço em análise, dado que se dividiu a sub-bacia Q04 em duas outras de menores dimensões (Q04\_1 e Q04\_2) apenas para efeitos de análise do modelo em tempo húmido. O caudal gerado na sub-bacia Q29 é encaminhado para a sub-bacia Q30 onde, por sua vez, é direcionado para a sub-bacia Q31 que afluiu ao emissário da Lage.

Do mesmo modo como foram introduzidas entradas de caudal nas câmaras de visita de cabeceira dos emissários de Mem Martins e Vale Mourão aquando da análise do segundo troço, para a análise deste terceiro troço introduziu-se, na câmara de visita de ligação entre a sub-bacia Q31 e o emissário da Lage (LJ2050.00), uma entrada de caudal. Foram, então, criados dois novos *Time Patterns*, de hora em hora, um para o modelo no período de verão e outro no período de inverno, inerentes a dados de caudal relativos à sub-bacia Q31 e introduzidos nos dois modelos. Nos Quadros 5.3.7 e Quadro 5.3.8 encontram-se representados os resultados obtidos nas calibrações do terceiro troço da bacia da Lage.

*Quadro 5.3.7 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do terceiro troço da bacia da Lage*

Medidor - Q04		Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Verão		
		Sábado	Quinta	Segunda
Câmara de Visita	$Q_{méd}$ (l/s)	11/07/2015	03/09/2015	07/09/2015
LJ2050.00	27			
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		17186.49	16383.52	16388.63
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>			18338.43	
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		308.00	318.10	309.60
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>			333.32	
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		-6.7	-11.9	-11.9
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-8.2	-4.8	-7.7

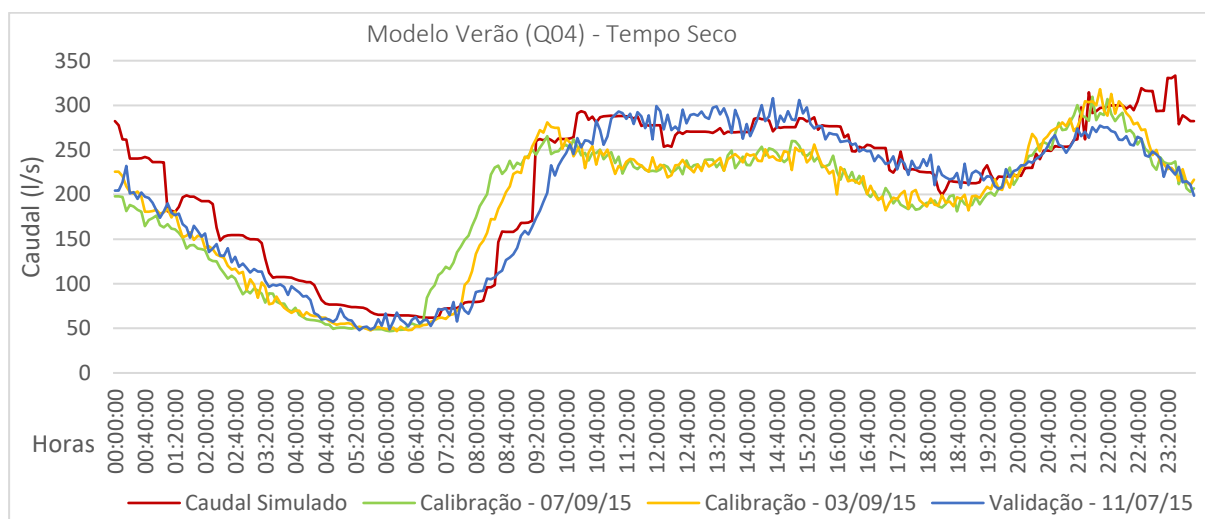
Quadro 5.3.8 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do terceiro troço da bacia da Lage

Medidor - Q04		Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Inverno		
		Domingo	Segunda	Domingo
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)			
LJ2050.00	27	<b>02/11/2014</b>	<b>16/03/2015</b>	<b>05/04/2015</b>
<b>Volume Caudal Medido (m³)</b>		20581.47	21245.04	20236.56
<b>Volume Caudal Simulado (m³)</b>			18323.99	
<b>Valor de Ponta Medido (m³)</b>		368.60	377.90	404.20
<b>Valor de Ponta Simulado (m³)</b>			309.78	
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		11.0	13.7	9.5
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		16.0	18.0	23.4

Também nesta fase de calibração do modelo em tempo seco existem valores fora dos intervalos estipulados (apresentados a vermelho no Quadro 5.3.7), no entanto apenas ultrapassam em 2%, valor este que não foi considerado significativo.

De seguida, apresentam-se as Figura 5.3.6 e Figura 5.3.7 relativas à comparação entre os hidrogramas de simulação e de medição dos dias em análise para a calibração e validação do modelo para os períodos de verão e inverno, inerentes ao medidor de caudal Q04.

Figura 5.3.6- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q04



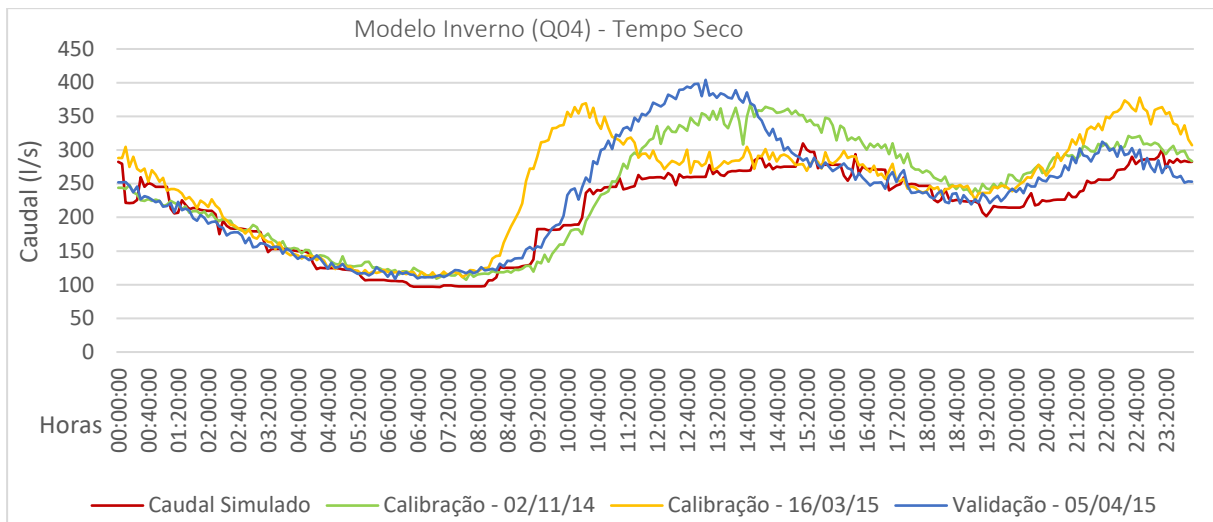


Figura 5.3.7- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q04

Através da análise das figuras mencionadas, constata-se que as curvas dos hidrogramas simulados tendem a acompanhar as restantes curvas. A solução final do terceiro troço da bacia da Lage que se melhor adequa aos dois períodos em análise é, então, uma afluência de caudal com  $Q_{méd} = 27$  l/s na câmara de visita LJ2050.00.

A calibração do quarto, e último, troço da bacia da Lage envolveu a criação de dois novos *Time Patterns* alusivos às duas sub-bacias que se encontram no troço em questão (sub-bacias Q32 e Q33). Deste modo, introduziram-se duas novas entradas de caudal nas câmaras de visita de ligação entre as sub-bacias em análise e a bacia da Lage, LJ2600.00 e LJ2730.00. Através de um processo iterativo obtiveram-se os resultados finais para o quarto troço da bacia da Lage, que se encontram representados nos Quadro 5.3.9 e Quadro 5.3.10 para as calibrações, respetivamente, nos períodos de verão e de inverno.

Quadro 5.3.9 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Verão durante o processo de calibração e validação em tempo seco do quarto troço da bacia da Lage

Medidor - Q07		Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Verão		
Câmara de Visita	$Q_{méd}$ (l/s)	Sábado	Quinta	Segunda
LJ2600.00	10	<b>11/07/2015</b>	<b>03/09/2015</b>	<b>07/09/2015</b>
LJ2730.00	12			
<b>Volume Caudal Medido (m³)</b>		19860.85	18117.23	18381.95
<b>Volume Caudal Simulado (m³)</b>			20057.42	
<b>Valor de Ponta Medido (m³)</b>		322.30	330.50	339.50
<b>Valor de Ponta Simulado (m³)</b>			355.61	
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		-1.0	<b>-10.7</b>	-9.1
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-10.3	-7.6	-4.7

Quadro 5.3.10 – Resultados obtidos para os diferentes cenários de Inverno durante o processo de calibração e validação em tempo seco do quarto troço da bacia da Lage

Medidor - Q07		Calibração/Validação Tempo Seco - Período de Inverno		
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)	Domingo	Segunda	Domingo
LJ2600.00	10	<b>02/11/2014</b>	<b>16/03/2015</b>	<b>05/04/2015</b>
LJ2730.00	12			
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		20527.20	23139.57	20581.41
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		20333.55		
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		367.30	388.50	403.40
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		326.26		
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		0.9	12.1	1.2
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		11.2	16.0	19.1

Neste troço apenas o erro volumétrico relativo ao dia 03/09/15 (período de verão) não respeitou o intervalo estipulado, no entanto não foi considerado significativo.

De seguida, apresentam-se as Figura 5.3.8 e Figura 5.3.9 dos hidrogramas de simulação e de medição relativos aos diferentes dias em análise para a calibração e validação do modelo, em tempo seco, no quarto troço da bacia da Lage.

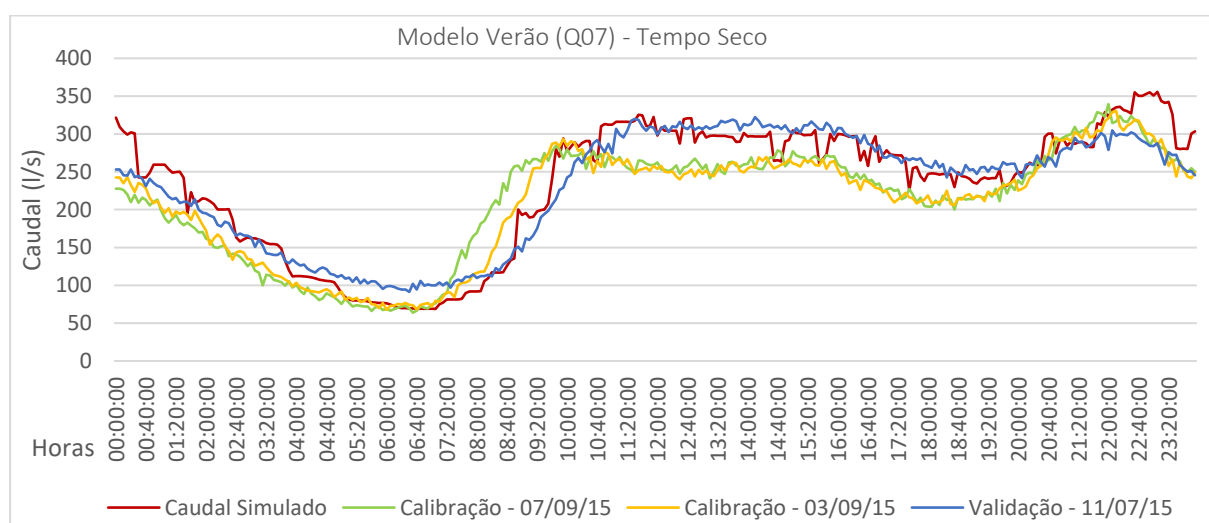


Figura 5.3.8- Representação gráfica, no período de verão em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (07/09/15 e 03/09/15) e validação (11/07/15), relativos ao medidor de caudal Q07

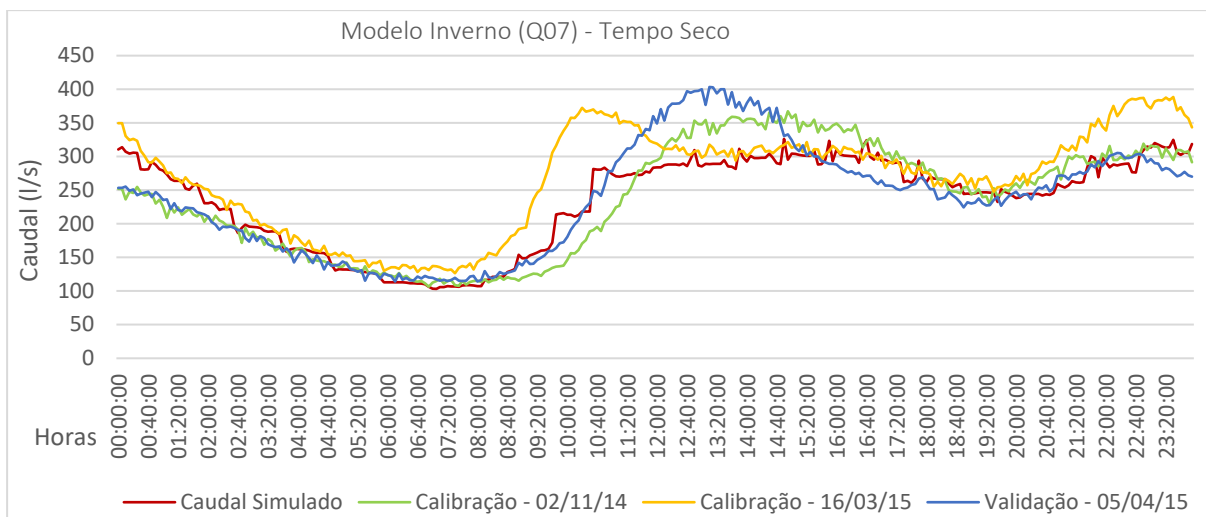


Figura 5.3.9- Representação gráfica, no período de inverno em tempo seco, dos hidrogramas de simulação, calibração (02/11/14 e 16/03/15) e validação (05/04/15), relativos ao medidor de caudal Q07

Novamente, as curvas dos hidrogramas simulados em ambos os períodos têm tendência em acompanhar as restantes curvas, os máximos e mínimos ocorrem sensivelmente ao mesmo tempo. A solução final do segundo troço da bacia da Lage que se melhor adequa aos dois períodos em análise é, então, duas afluições de caudal com  $Q_{\text{méd}} = 10$  l/s e  $Q_{\text{méd}} = 12$  l/s nas câmaras de visita LJ2600.00 e VM2730.00, respetivamente.

### 5.3.3 Calibração de tempo húmido

Na calibração de modelos de simulação de drenagem urbana, é imprescindível a realização da calibração em tempo húmido separadamente da calibração em tempo seco. Deste modo, após a calibração do escoamento em tempo seco, prosseguiu-se para a calibração do modelo em tempo húmido. Tal como na calibração em tempo seco, foram considerados os seguintes critérios de referência sintetizados no Quadro 5.3.11, definidos por WAPUG (2002).

Quadro 5.3.11 – Critérios para a avaliação da calibração em tempo húmido (WAPUG, 2002)

Critério	Descrição
Erro Volumétrico	Dentro de -10% a +20% do volume medido
Erro no Caudal de Ponta	Dentro de -15% a +25% do caudal de ponta medido
Forma	A forma dos hidrogramas previstos devem acompanhar de perto o caudal medido

Os erros volumétricos e do caudal de ponta são, respetivamente, obtidos através das equações (5) e (6), mencionadas no Capítulo 5.3.2.

Como já foi mencionado, a calibração em tempo húmido foi realizada para dois eventos de precipitação: um no período de inverno com duração de 3 dias (de 17/01/15 a 19/01/15) e outro no período de verão com duração de 1 dia (14/06/15).

A metodologia adotada para a calibração em tempo húmido é a mesma da calibração em tempo seco, isto é, a calibração foi efetuada por troços, comparando resultados nos quatro pontos onde se encontram os medidores de caudal já mencionados (Q28, Q03B, Q04 e Q07). A calibração e validação do modelo, troço a troço, foi efetuada simultaneamente para os dois eventos em análise. No processo de calibração do modelo, diversos parâmetros das bacias de drenagem foram ajustados, como é o caso da área total de cada bacia, da percentagem de área impermeável que permitem considerar armazenamento, entre outros. Dado ser uma calibração em tempo húmido, foi necessário colocar a opção *Rainfall/Runoff* ativa na janela de edição das opções do SWMM.

Na Figura 5.3.10 encontra-se representada a base que se utilizou para esta calibração, isto é, foram introduzidas as mesmas afluências de caudal que se introduziram na calibração em tempo seco e utilizados os resultados obtidos nessa calibração para os caudais médios associados a cada afluência de caudal.

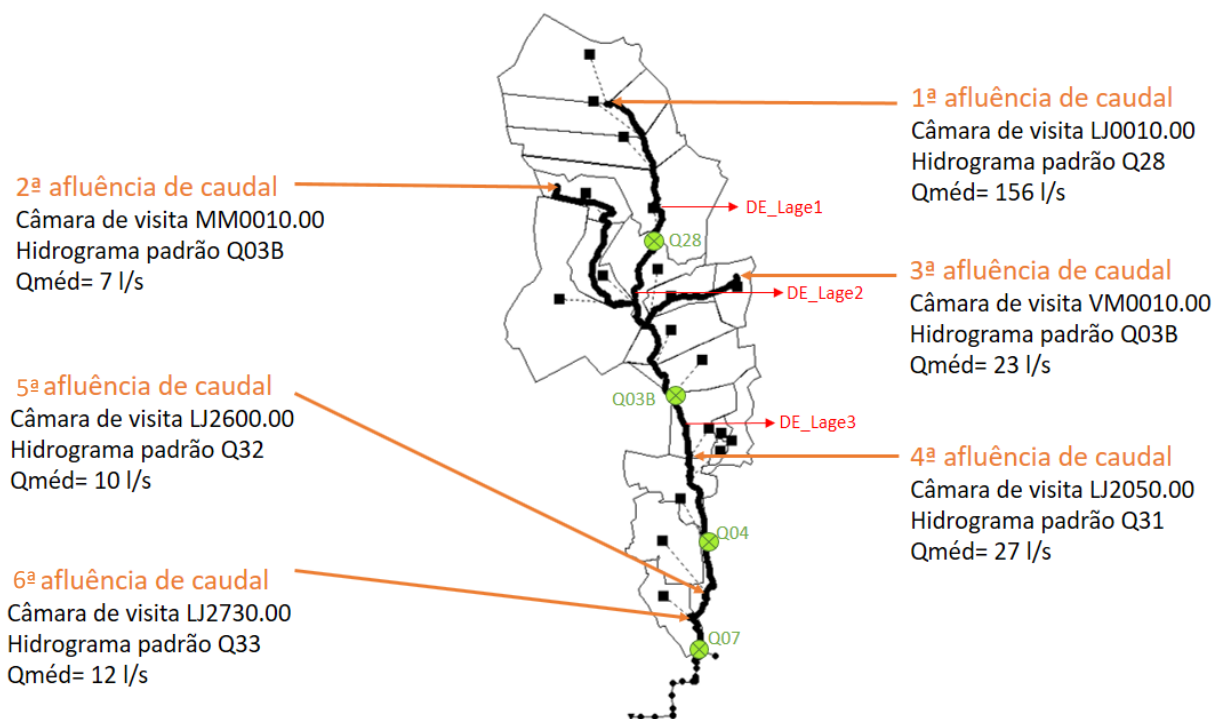


Figura 5.3.10- Afluências de caudal introduzidas no modelo da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido

Posto isto, efetuou-se inicialmente uma análise de sensibilidade com o objetivo de se perceber como certos parâmetros do software SWMM influenciavam o modelo. De seguida deu-se início à calibração do primeiro troço da bacia da Lage, isto é, desde a câmara de visita de cabeceira da bacia da Lage (LJ0010.00) até à câmara de visita onde se encontra o medidor de caudal Q28 (LJ0760.00).

Deste modo, inseriu-se uma afluência de caudal na câmara de visita de cabeceira da bacia da Lage, empregando o mesmo valor de caudal médio obtido aquando da calibração em tempo seco (156 l/s), no modelo do evento 1 (inverno) e no modelo do evento 2 (verão). É de salientar que neste troço existe uma descarga de emergência (DE\_Laje1), pelo que será necessário efetuar uma análise cuidada com o intuito de estimar a sua cota. Nas Figura 5.3.12 e Figura 5.3.12, encontram-se representadas as curvas relativas ao caudal real medido pelo medidor Q28 durante, respetivamente, os eventos 1 e 2 (representadas a azul), as curvas relativas ao nível de água dentro do coletor onde se encontra o medidor de caudal Q28 (representadas a amarelo), as curvas dos respetivos hidrogramas padrão (representadas a vermelho) e a intensidade de precipitação ocorrida ao longo de cada evento (representa a cinzento).

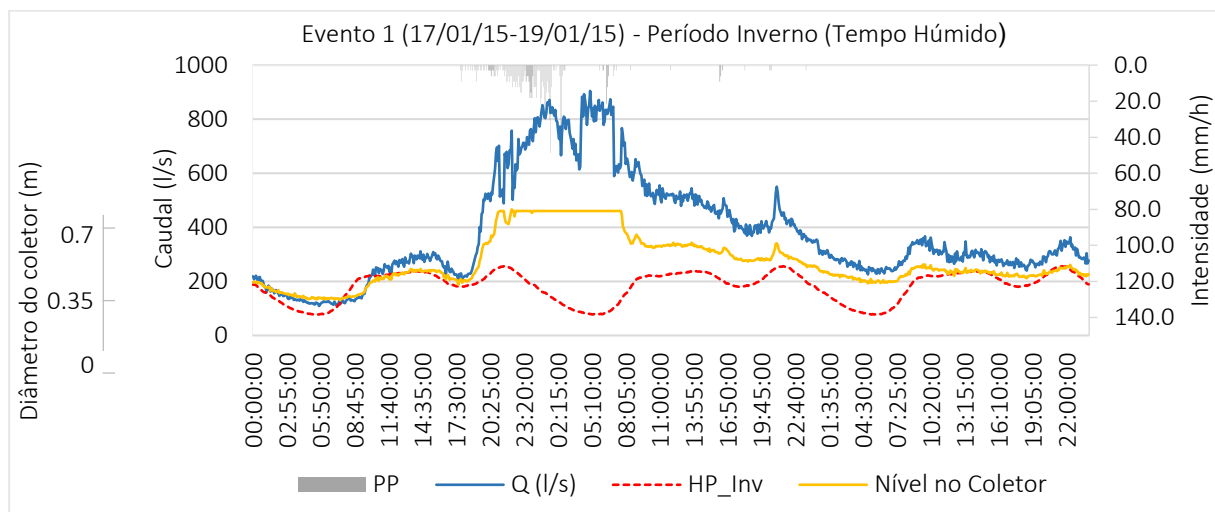


Figura 5.3.11- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 1 (inverno) que auxiliam a calibração do primeiro troço da bacia da Lage em tempo húmido

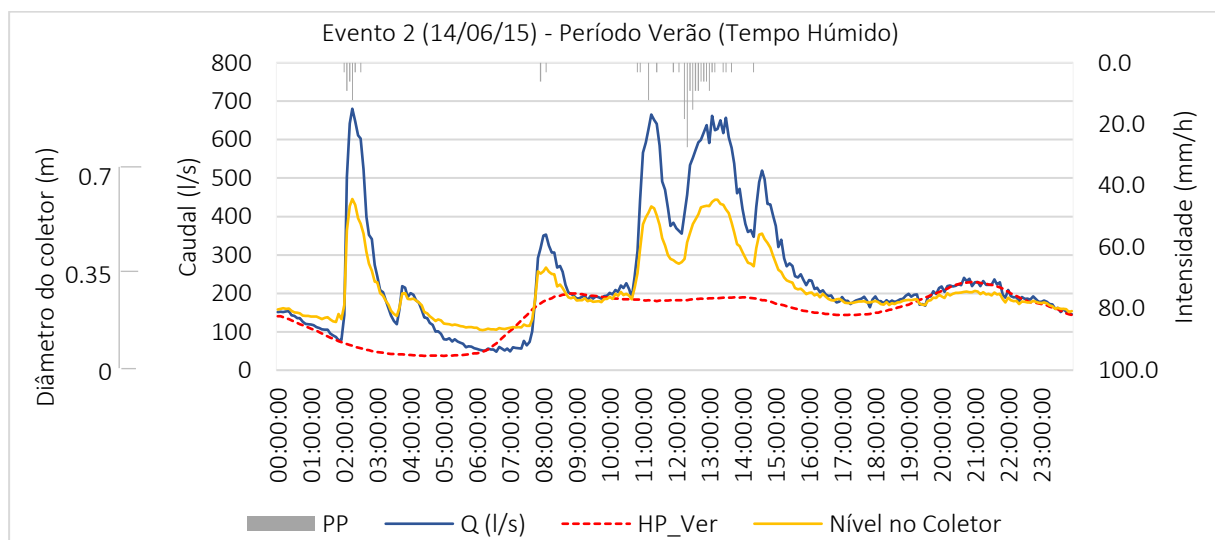


Figura 5.3.12- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 2 (verão) que auxiliam a calibração do primeiro troço da bacia da Lage em tempo húmido



Através da análise da figura inerente ao evento 1, é possível aferir a existência de um período de cerca de 10h em que o nível de caudal se manteve constante, aproximadamente nos 450 l/s, dentro do coletor em análise (LJ0755.00A), o que significa que a capacidade máxima do coletor foi atingida. Através dessa figura é, ainda, possível verificar que a esse período está associada a maior intensidade de precipitação que se fez sentir durante o evento, o que significa que, possivelmente, terá ocorrido uma descarga de caudal a montante do medidor Q28. No entanto, pela análise do gráfico relativo ao evento 2 não se verifica qualquer estagnação do nível do caudal dentro do coletor, assim é plausível afirmar que nesse evento não ocorreram descargas de emergência. Deste modo, é necessário deduzir o valor para a cota a que se encontra a primeira descarga de emergência da bacia da Lage que se melhor adequa aos modelos de simulação, retratando da melhor forma possível a situação real.

Como já foi referido nesta dissertação, o subsistema de drenagem da Costa do Estoril foi concebido como sendo um sistema separativo doméstico, no entanto ocorrem aflúências pluviais indevidas o que obriga a uma análise pormenorizada de certos parâmetros das sub-bacias, a inserir no modelo matemático, de forma a que este retrate da melhor forma possível as contribuições pluviais que ocorrem no subsistema.

Após a elaboração de um processo iterativo na calibração do primeiro troço da bacia da Lage em tempo húmido, obtiveram-se os resultados representados no Quadro 5.3.12 para os erros volumétricos e de caudal de ponta dos eventos 1 e 2 (onde o evento 1 foi utilizado para a fase de calibração e o evento 2 para a fase de validação).

*Quadro 5.3.12 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do primeiro troço da bacia da Lage*

<b>Medidor - Q28</b>		<i>Calibração/Validação - Tempo Húmido</i>	
Câmara de Visita	$Q_{méd}$ (l/s)	<b>Evento 1 - Inverno</b>	<b>Evento 2 - Verão</b>
LJ0010.00	156		
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		98606.90	21130.89
<b>Volume Caudal Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		96437.65	19959.37
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		904.70	680.50
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		999.51	685.77
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		2.2	1.1
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-10.5	-6.7

Todos os resultados obtidos, relativos aos erros volumétricos e de caudal de ponta, do primeiro troço da bacia da Lage encontram-se dentro dos intervalos estipulados.

As curvas dos hidrogramas simulados e reais relativas a este primeiro troço da bacia da Lage na calibração em tempo húmido encontram-se representadas nas Figura E.1 e Figura E.2 do Anexo E, respetivamente para os eventos 1 e 2. Apesar dos adequados valores obtidos para os erros volumétricos e de caudal de ponta, as curvas dos hidrogramas simulados de ambos os eventos apresentam algumas diferenças em comparação com as respetivas curvas reais, no entanto é notável

a tendência que estes hidrogramas têm em acompanhar os hidrogramas de caudal medido, sendo que os mínimos e máximos de caudal ocorrem sensivelmente ao mesmo tempo. Através da Figura E.1 é, ainda, possível observar que aquando da ocorrência do evento pluviométrico, a curva do hidrograma simulado encontra-se acima da curva do hidrograma medido, contudo, após o evento pluviométrico, a curva medida mantém-se acima da curva simulada, este fenómeno acontece devido ao facto de que o SWMM não tem em consideração aflúências pluviais indevidas retardadas.

No Quadro 5.3.13 encontram-se representados os valores finais para os parâmetros estimados relativos às sub-bacias do primeiro troço da bacia da Lage.

*Quadro 5.3.13 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao primeiro troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido*

Primeiro troço bacia da Lage – Calibração tempo húmido						
Sub-bacias	Câmara visita jusante	Área (ha)	Largura (m)	Inclinação (%)	Área impermeável (%)	
Q28	Q28_1	LJ0010.00	33	50	0.5	20
	Q28_2	LJ0270.00	33	50	0.5	20
	Q28_3	LJ0430.00	30	50	0.5	20
	Q28_4	LJ0720.00	30	50	0.5	20

Comparando os resultados obtidos no quadro acima com os valores do Quadro B.3 do Anexo B, verifica-se uma profunda redução nas áreas da sub-bacia Q28. Pela análise do Quadro 5.3.13 verifica-se uma área total de 126 ha (somatório das áreas de Q28\_1, Q28\_2, Q28\_3 e Q28\_4) no entanto pelo Quadro B.3 do Anexo B a área total da sub-bacia Q28 é de 1178.69 ha.

Nas Figura E.3 e Figura E.5.44 do Anexo E representam-se os gráficos, retirados do modelo de simulação, relativos às descargas de caudal ocorridas nos eventos 1 e 2, com a descarga situada a uma cota de 114.15 m. Pela Figura E.3, relativa ao evento 1, é possível verificar a ocorrência de uma descarga de emergência por volta das 20h30 do primeiro dia do evento 1, tal como seria de esperar pela análise previamente feita à Figura 5.3.11. Como já foi referido, durante o evento 2 não terá ocorrido descarga de emergência neste primeiro troço da bacia da Lage, contudo pela análise da Figura E.5.44, relativa ao evento 2, observa-se a ocorrência, ainda que pouco significativa, de uma descarga no modelo de simulação. No entanto, esta situação trata-se solução analisada mais favorável a ambos os eventos.

Dada por terminada a calibração em tempo húmido do primeiro troço, prosseguiu-se para a calibração do segundo troço da bacia da Lage. Também neste troço existe uma descarga de emergência (DE\_Laje2) da qual se desconhece a respetiva cota. Através da Figura E.5 Anexo E, relativa ao evento 1, é possível verificar a ocorrência de uma descarga por volta das 20h30 do primeiro dia do evento. Contudo, através da Figura E.6 do mesmo anexo, verifica-se, à partida, que não ocorreu qualquer descarga neste evento.

A metodologia adotada para a calibração do segundo troço foi idêntica à efetuada na calibração do primeiro troço da bacia da Lage. Deste modo, efetuou-se um processo iterativo tendo sido obtidos os

resultados finais, para os erros volumétrico e de caudal ponta, apresentados no Quadro 5.3.14. A esses resultados estão associados os valores, de parâmetros relativos às sub-bacias inerentes ao segundo troço da bacia da Lage, exibidos no Quadro 5.3.15.

Quadro 5.3.14 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do segundo troço da bacia da Lage

<b>Medidor – Q03B</b>			
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)		
MM0010.00	7	<i>Calibração/Validação Tempo Húmido</i>	
VM0010.00	23	<b>Evento 1 - Inverno</b>	<b>Evento 2 - Verão</b>
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		146266.90	26462.29
<b>Volume Simulação (m<sup>3</sup>)</b>		124232.50	27098.97
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		1425.70	889.10
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		1747.00	1318.74
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		15.1	-2.3
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		<b>-22.5</b>	-2.1

Quadro 5.3.15 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao segundo troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido

Segundo troço bacia da Lage – Calibração tempo húmido						
Sub-bacias		Câmara visita jusante	Área (ha)	Largura (m)	Inclinação (%)	Área impermeável (%)
<b>Mem Martins</b>	MemMartins_1	MM0460.00	5	30	1	50
	MemMartins_2	LJ1130.00	5	30	1	60
<b>Vale Mourão</b>	ValeMourão_1	VM0150.00	4	30	1	50
	ValeMourão_2	VM0450.00	4	30	1	50
<b>Lage2</b>		LJ1150.00	11	50	0.5	60
<b>Lage1</b>		LJ1280.00	6	30	1	30
<b>Q03B</b>	Q03B_1	LJ1460.00	6	30	0.5	50
	Q03B_2	LJ1620.00	6	30	0.5	50

Embora todos os erros volumétricos se encontrem dentro do intervalo estipulado, o erro de caudal de ponta do evento 1 excede em 7.5% o intervalo. O desconhecimento do volume exato de caudal descarregado, bem como a cota exa das descargas e possíveis problemas nas medições de caudal são eventuais fatores que explicam o valor de erro obtido.

As Figura E.7 e Figura E.8 do Anexo E representam a comparação entre as curvas dos hidrogramas simulados com os medidos para os dois eventos em análise. Como já foi mencionado, o programa SWMM não tem em consideração os caudais pluviais retardados, este fator é bastante visível na Figura E.7. Ainda pela análise da Figura E.7 observa-se a ocorrência de irregularidades na curva do caudal simulado, este fenómeno pode-se dar devido às opções escolhidas no SWMM no que toca ao tempo

de medição e apresentação de resultados. Durante a calibração em tempo húmido, optou-se por adotar uma apresentação de resultados (*Reporting*) de 5 em 5 minutos com intuito de se reduzir o tempo de simulação, esta opção pode causar pequenas falhas de medições pelo SWMM. Contudo, o objetivo desta dissertação foca-se no cálculo de afluências indevidas que não será afetado por instabilidades na curva de caudal simulado daquela dimensão.

A segunda descarga da bacia da Lage foi colocada no modelo a uma cota de 93.24 m. As Figura E.9 e Figura E.10 do Anexo E são relativas ao volume de caudal descarregado em ambos os eventos. Como seria de esperar, durante o evento 2 não ocorreu qualquer descarga, contrariamente ao sucedido no evento 1.

De seguida prosseguiu-se à calibração do terceiro troço da bacia da Lage. É neste troço que se encontra a terceira e última descarga de emergência (DE\_Lage3) e, tal como em ambos os troços anteriores, efetuou-se uma análise sobre possíveis ocorrências de descargas nos eventos em análise. Deste modo, apresentam-se as Figura E.11 e Figura E.12 no Anexo E onde é possível aferir uma eventual ocorrência de descarga apenas no evento 1 (entre as 00:00 e 08:00 do segundo dia).

Após a elaboração de um processo iterativo obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 5.3.16 para os erros volumétricos e de caudal de ponta do terceiro troço da bacia da Lage. No Quadro 5.3.17 encontram-se representados os valores dos parâmetros das sub-bacias inerentes à calibração do terceiro troço da bacia da Lage.

Quadro 5.3.16 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do terceiro troço da bacia da Lage

<b>Medidor - Q04</b>		<i>Calibração/Validação Tempo Húmido</i>	
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)	<b>Evento 1 - Inverno</b>	<b>Evento 2 - Verão</b>
LJ2050.00	27		
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		166736.58	33504.27
<b>Volume Simulação (m<sup>3</sup>)</b>		134566.30	32345.81
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		1458.00	1083.50
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		1771.62	1521.97
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		19.5	-2.8
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-15.7	-17.8

Quadro 5.3.17 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao terceiro troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido

Terceiro troço bacia da Lage – Calibração tempo húmido						
Sub-bacias		Câmara visita/ sub-bacia jusante	Área (ha)	Largura (m)	Inclinação (%)	Área impermeável (%)
Q04	Q04_1	LJ1950.00	22	20	1	80
	Q04_2	LJ2340.00	12	30	0.5	80
Q29		Q31	6	5	0.5	90
Q30		Q31	6	5	0.5	90
Q31		LJ2050.00	17	10	0.5	60

Os erros de caudal de ponta excedem os valores tipicamente admitidos, no entanto, dado a diversidade de eventos e a complexidade da bacia em análise, retratam uma das melhores soluções analisadas.

No Anexo E encontram-se apresentadas as Figura E.13 e Figura E.14 relativas às curvas dos hidrogramas de caudal simulado e medido dos eventos 1 e 2 no terceiro troço da bacia da Lage e as Figura E.15 e Figura E.16 relativas ao volume de caudal descarregado em ambos os eventos no modelo, tendo-se adotado uma cota igual a 61.21 m para a terceira descarga da bacia da Lage (DE\_Lage3). Como esperado, ocorreu uma descarga durante o evento 1 e a descarga que ocorreu durante o evento 2 não foi considerada significativa.

Por último, prosseguiu-se à calibração do quarto troço da bacia da Lage. No Quadro 5.3.18 encontram-se sintetizados os resultados obtidos para os erros volumétricos e de caudal de ponta de ambos os eventos em análise. No Quadro 5.3.19 encontram-se representados os valores dos parâmetros das sub-bacias inerentes à calibração do quarto troço da bacia da Lage.

Quadro 5.3.18 – Resultados obtidos para os dois eventos em análise durante o processo de calibração e validação em tempo húmido do quarto troço da bacia da Lage

Medidor - Q07			Calibração/Validação Tempo Húmido	
Câmara de Visita	Q <sub>méd</sub> (l/s)			
LJ2600.00	10	Evento 1 - Inverno		Evento 2 - Verão
LJ2730.00	12			
<b>Volume Caudal Medido (m<sup>3</sup>)</b>		179187.30		36139.26
<b>Volume Simulação (m<sup>3</sup>)</b>		157065.79		35677.63
<b>Valor de Ponta Medido (m<sup>3</sup>)</b>		1410.40		1132.50
<b>Valor de Ponta Simulado (m<sup>3</sup>)</b>		2006.44		1594.85
<b>Erros Volumétricos (%)</b>		15.6		1.2
<b>Erros Caudal de Ponta (%)</b>		-27.9		-3.3

Quadro 5.3.19 – Valores finais, inseridos nos modelos de simulação, relativos a parâmetros das sub-bacias inerentes ao quarto troço da bacia da Lage para a calibração em tempo húmido

Quarto troço bacia da Lage – Calibração tempo húmido					
Sub-bacias	Câmara visita jusante	Área (ha)	Largura (m)	Inclinação (%)	Área impermeável (%)
Q32	LJ2600.00	5	30	0.5	20
Q33	LJ2050.00	3	30	0.2	20

O erro de caudal de ponta obtido para o evento 1 ultrapassou o intervalo estipulado em cerca de 13%, no entanto dada a complexidade da bacia da Lage e tendo em consideração todas as etapas da calibração efetuadas previamente e dificuldades obtidas, este considerou-se ser um dos melhores cenários obtidos para o quarto troço da bacia da Lage.

No Anexo E encontram-se apresentados as Figura E.17 e Figura E.18 inerentes às curvas dos hidrogramas de caudal simulado e medido, respetivamente dos eventos 1 e 2, relativas ao quarto troço da bacia da Lage. Pelo resultado obtido no evento 1, já seria de esperar a existência de alguma discrepância entre ambas as curvas no que toca a caudais de ponta. Contudo ambas as curvas simuladas apresentam tendência em acompanhar as curvas de caudal medido.

## 5.4 Análise de resultados

### 5.4.1 Verificação dos critérios regulamentares

As normas regulamentares impostas pelo Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (Decreto-lei de 23/95), auxiliam a realização do diagnóstico hidráulico e sanitário dos sistemas. A legislação abarca a verificação das velocidades máximas e mínimas de escoamento e da altura máxima da lâmina líquida (h/D). Assim, para sistemas separativos domésticos, segundo o Decreto-lei de 23/95, os critérios de verificação são os seguintes:

- 1º Critério:  $0.6 \text{ m/s} \leq v \leq 3 \text{ m/s}$ .
- 2º Critério:  $h/D \leq 0,5$  se  $D \leq 500\text{mm}$  e  $h/D \leq 0,75$  se  $D \geq 500\text{mm}$ .

A verificação das velocidades mínimas é efetuada através dos modelos de simulação de tempo seco dado que o caudal afluente aos coletores é igual ou inferior ao caudal em tempo húmido, o que resulta, inevitavelmente, em velocidades inferiores. Recorrendo, deste modo, aos modelos de simulação de tempo seco, foi possível aferir que a zona inicial do emissário de Mem Martins é a zona que compreende um maior número de coletores com uma velocidade mínima inferior a 0.6m/s. No entanto, este incumprimento do 1º critério regulamentar apenas se verifica durante um curto período de tempo, desde as 5h20 até às 7h50 da manhã em ambas as situações, isto é, situação no período de inverno e no período de verão. Nas Figura 5.4.1 e Figura 5.4.1 apresentam-se imagens retiradas do SWMM, relativas, respetivamente, ao período de verão e inverno, da zona do emissário de Mem Martins, sendo possível observar a existência de alguns coletores que não cumprem a velocidade mínima (representados a azul escuro).

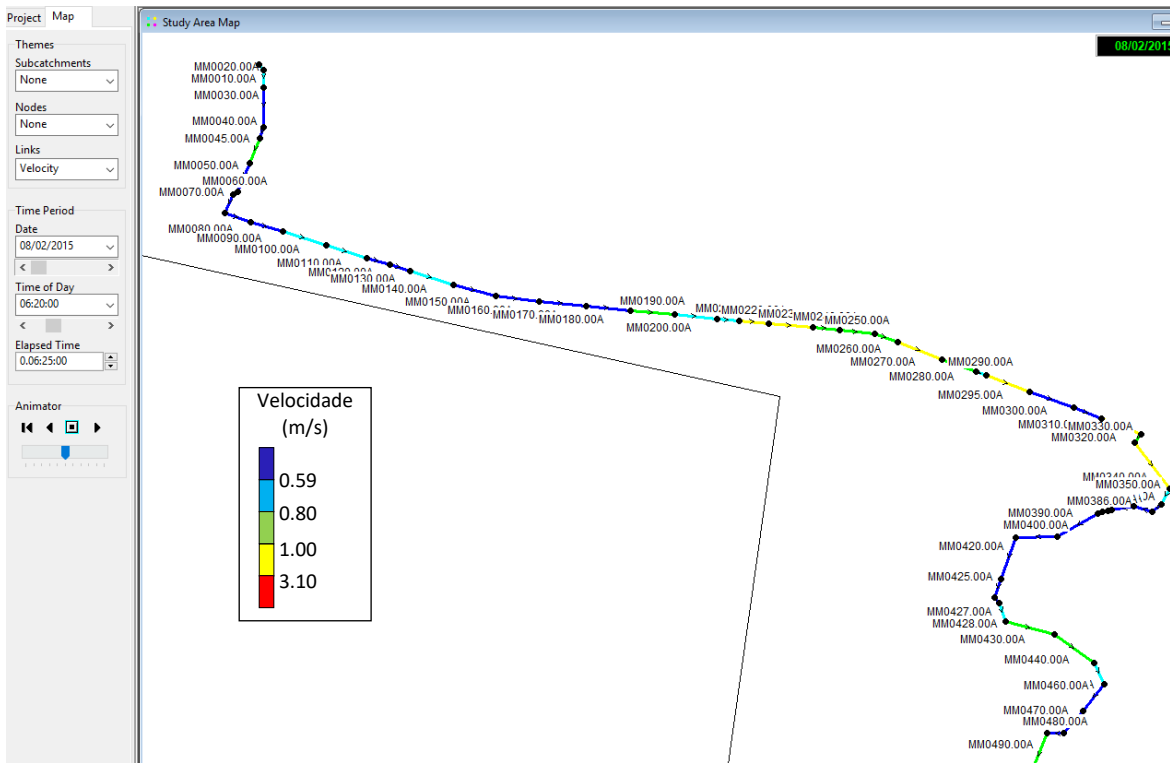


Figura 5.4.1- Representação das diferentes velocidades de caudal que ocorrem nos coletores do início do emissário de Mem Martins às 6h20 da manhã, em tempo seco no período de verão

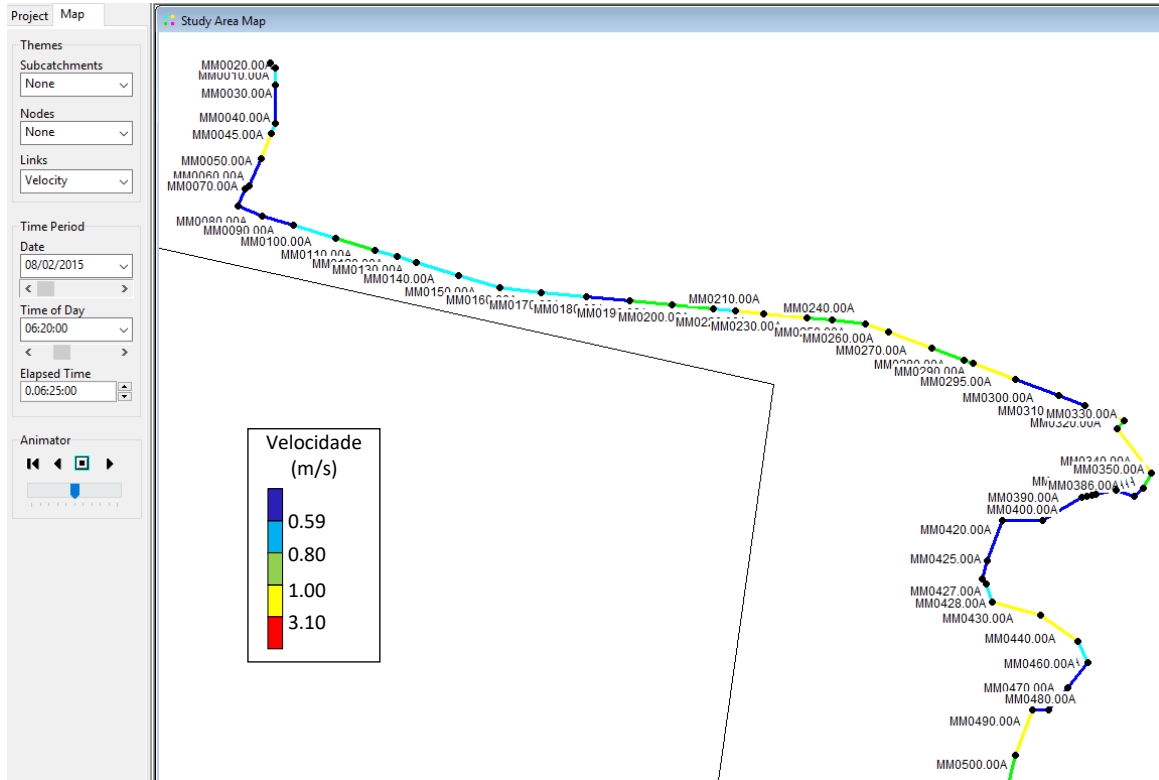


Figura 5.4.2- Representação das diferentes velocidades de caudal que ocorrem nos coletores do início do emissário de Mem Martins às 6h20 da manhã, em tempo seco no período de inverno

Recorreu-se aos modelos de simulação em tempo húmido para a obtenção das velocidades máximas atingidas em cada coletor durante os eventos 1 e 2. No Quadro 5.4.1 encontram-se representadas as percentagens de coletores dos emissários de Mem Martins, Vale Mourão e Lage que não cumpriram o critério de velocidade máxima.

O SWMM permite fazer a avaliação imediata da capacidade hidráulica dos coletores através da relação entre a altura do escoamento ( $h$ ), calculada através das equações dinâmicas de *Saint-Venant* na secção intermédia entre câmaras de visita, e o diâmetro do coletor ( $D$ ), sendo possível a obtenção direta desta relação através dos modelos de simulação dos eventos 1 e 2, representada, a título de exemplo, na última coluna da Figura 5.4.3 (*Max/Full Depth*). No Quadro 5.4.1 encontram-se representadas as percentagens de coletores que, entraram em carga durante os eventos de tempo húmido modelados.

Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
LJ0575.00A	CONDUIT	1038.98	2	00:05	5.40	0.75	0.65
LJ0580.00A	CONDUIT	1039.46	2	00:06	4.58	0.34	1.00
LJ0585.00A	CONDUIT	1039.73	2	00:06	4.44	1.13	0.80

Figura 5.4.3- Excerto de uma janela de resultados relativos a parâmetros dos coletores, nomeadamente *Max/Full Depth*

Quadro 5.4.1- Percentagem de coletores que não respeitaram os critérios regulamentares, durante os dois eventos em análise, nos diferentes emissários

		Emissários	Nº total de coletores	Critérios Regulamentares	
				Velocidade máxima	h/D
		% de coletores que não cumpriram o regulamento			
<b>Evento 1</b> Inverno	Mem Martins		113	37.2	1.8
	Vale Mourão		49	42.9	12.2
	Lage		330	59.4	87.0
	<b>Total</b>		492	52.6	60.0
<b>Evento 2</b> Verão	Mem Martins		113	23.0	0.0
	Vale Mourão		49	0.0	2.0
	Lage		330	45.5	12.4
	<b>Total</b>		492	35.8	8.5

Como já seria de esperar, dado a intensidade do evento pluviométrico ocorrido, é durante o evento 1 que se verificam maiores velocidades de escoamento dentro dos coletores e uma maior percentagem de coletores que entraram em carga. Os valores obtidos para o evento 2 são inferiores devido à, também, inferior intensidade de precipitação que ocorreu aquando deste evento. No entanto, os valores obtidos traduzem uma elevada existência de aflúências indevidas nos emissários em análise.



## 5.4.2 Estimativa de indicadores de desempenho

O cálculo dos indicadores de desempenho mencionados no Capítulo 2.5 permite uma melhor interpretação dos resultados obtidos para as afluições indevidas em tempo húmido. Foram então calculados dois indicadores de desempenho, um relativo à percentagem de coletores dos emissários de Mem Martins, Lage e Vale Mourão que, durante a simulação dos dois eventos em análise, entra em carga (ID1) e outro indicador relativo à percentagem de volume de caudal pluvial afluente ao sistema (ID2).

Através dos modelos de simulação de ambos os eventos, foi possível obter diretamente quais os coletores que entraram em carga, ou seja, quais os coletores que atingiram o valor 1 no parâmetro *Max/Full Depth* (h/D) do modelo, parâmetro já mencionado e apresentado na Figura 5.4.3.

Deste modo, no Quadro 5.4.2 encontram-se representados os resultados obtidos para o indicador de desempenho 1, bem como os comprimentos de todos os coletores que entraram em carga durante ambos os eventos.

Quadro 5.4.2- Resultados obtidos para o indicador de desempenho 1, para os eventos 1 e 2

	Comp. total dos coletores (m)	Evento 1		Evento 2	
		Comp. dos coletores em carga (m)	ID1 - % secção cheia	Comp. dos coletores em carga (m)	ID1 - % secção cheia
<b>Lage</b>	12914.68	11453.98	88.7	1586.04	12.3
<b>Mem Martins</b>	4269.70	21.42	0.5	0.00	0.0
<b>Vale Mourão</b>	2213.47	198.84	9.0	23.48	1.1
<b>Total</b>	19397.85	11674.24	60.28	1609.52	8.3

Relativamente ao evento 1, evento no período de inverno, o resultado obtido foi bastante elevado (cerca de 60% dos coletores dos três emissários em questão, entraram em carga), o que traduz uma significativa afluência de caudais pluviais ao sistema, durante este evento. No entanto, dado os resultados obtidos para os emissários de Mem Martins e Vale Mourão, é possível afirmar que o maior problema se concentra no emissário da Lage. Em relação ao evento 2, constata-se que o número de coletores que entra em carga é bastante inferior; no entanto, continua a ser o emissário da Lage a possuir uma maior percentagem de coletores em carga.

O indicador de desempenho 2 é relativo ao tempo seco e foi calculado, com recurso aos diferentes hidrogramas padrão, para as diferentes zonas da bacia da Lage onde existam medidores de caudal. No Quadro 5.4.3 encontram-se representados os resultados obtidos. O caudal mínimo ( $Q_{min}$ ) é o caudal mínimo registado em cada hidrograma padrão e, por sua vez, o caudal médio ( $Q_{mts}$ ) é o caudal médio registado, em tempo seco, por cada hidrograma padrão. A razão entre estas duas variáveis indica qual é a percentagem de caudal de infiltração relativamente ao valor de caudal médio diário em tempo seco.

Quadro 5.4.3- Resultados obtidos para o indicador de desempenho 2, em tempo seco nos períodos de verão e inverno

Período	Medidor Q28			Medidor Q03B			Medidor Q04			Medidor Q07		
	Qmin (l/s)	Qmts (l/s)	ID2 (%)	Qmin (l/s)	Qmts (l/s)	ID2 (%)	Qmin (l/s)	Qmts (l/s)	ID2 (%)	Qmin (l/s)	Qmts (l/s)	ID2 (%)
Inverno	77.4	182.1	42.5	123.7	236.6	52.3	131.6	261.7	50.3	153.3	282.7	54.2
Verão	37.2	145.8	25.5	66.5	174.3	38.2	71.4	204.3	34.9	91	225.4	40.4

Através dos resultados obtidos é possível aferir que, de um modo geral, a percentagem de infiltração na bacia da Lage é considerada moderada, a maior parte dos resultados encontram-se na gama entre 25 a 55%. Este nível de infiltração não difere muito dos valores indicados no DR 23/95, traduzindo, de certa forma, um o normal funcionamento do sistema. No entanto, deve ser tida uma especial atenção à evolução dos valores de infiltração dado que alguns deles já ultrapassam o valor de 50%. Nos pontos onde se ultrapassa os 50%, sugere-se uma investigação mais detalhada, como por exemplo uma visualização por CCTV, para detetar eventuais problemas estruturais que possam justificar uma maior entrada no sistema de caudais, por exemplo, de origem freática.

### 5.4.3 Estimativa de caudais pluviais e percentagem de ligações indevidas

Após concluídas todas as calibrações, recorreu-se ao modelo de simulação para determinar os volumes de afluências indevidas em tempo húmido para ambos os eventos em análise. Optou-se por determinar as afluências indevidas nas seguintes zonas da bacia da Lage, ilustradas na Figura 5.4.4:

- 1ª zona – após a primeira descarga de emergência da bacia da Lage, concretamente no coletor LJ1120.00A;
- 2ª zona – zona final do emissário de Mem Martins, concretamente no coletor MM1030.00A;
- 3ª zona – zona final do emissário de Vale Mourão, concretamente no coletor VM0470.00A;
- 4ª zona – zona final da bacia da Lage, concretamente no coletor LJ2905.00A.

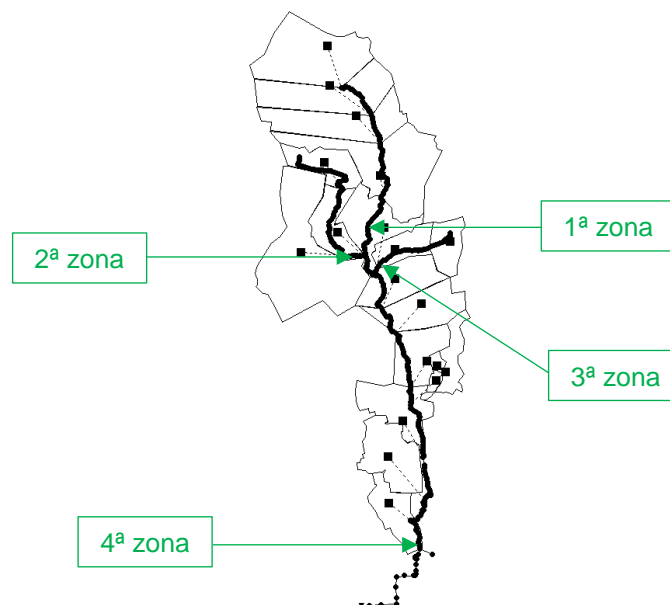


Figura 5.4.4- Ilustração esquemática da localização das zonas do modelo de simulação onde serão determinadas as afluências indevidas

Inicialmente efetuou-se uma simulação, para cada um dos eventos, com a opção *Rainfall/Runoff* ativa, considerando-se assim contribuições pluviais. Seguidamente efetuou-se uma nova simulação sem a consideração de precipitação (opção *Rainfall/Runoff* desativada), isto é, uma simulação em tempo seco. Foram, então, retirados os valores de caudal nas quatro zonas da bacia da Lage mencionadas anteriormente, durante os eventos 1 e 2. No Quadro F.1 do Anexo F encontra-se representado um excerto desses valores de caudal, nas diferentes zonas da bacia da Lage em análise, retirados dos modelos de simulação de ambos os eventos. Através da análise do quadro em questão, é possível verificar um aumento significativo no caudal escoado aquando da ocorrência de precipitação. De facto, durante as ocorrências de eventos pluviométricos, o caudal afluente aos coletores chega a ser cerca de seis vezes o caudal de tempo seco.

No Quadro 5.4.4 encontram-se representados os volumes de afluências indevidas de carácter pluvial para as zonas da bacia da Lage em análise em ambos os eventos. Os valores de afluências indevidas obtidos resultaram de uma operação de subtração entre o caudal obtido em tempo húmido (“Com Rainfall”) e o caudal obtido em tempo seco (“Sem Rainfall”).

*Quadro 5.4.4- Resultados finais relativos aos volumes de afluências indevidas pluviais, nas quatro zonas da bacia da Lage em análise, determinados a partir dos modelos de simulação dos eventos 1 e 2*

		Caudal total (l/s)		Caudal total (m³)		Afluências indevidas pluviais (m³)
		<i>Com Rainfall</i>	<i>Sem Rainfall</i>	<i>Com Rainfall</i>	<i>Sem Rainfall</i>	
Evento 1	Final Mem Martins	29898.7	6056.3	8969.61	1816.8	7152.7
	Final Vale Mourão	38818.1	19900.2	11645.4	5970.0	5675.3
	Após 1ª Descarga	314890.5	135044.2	94467.1	40513.2	53953.8
	Final Lage (Total)	523836.3	203203.9	157150.9	60961.1	96189.7
Evento 2	Final Mem Martins	4069.8	2024.2	1220.9	607.2	613.6
	Final Vale Mourão	10001.4	6648.9	3000.4	1994.6	1005.7
	Após 1ª Descarga	66913.2	44978.8	20073.9	13493.6	6580.3
	Final Lage (Total)	119672.1	67558.4	35901.6	20267.5	15634.1

Ao analisar o quadro, é possível aferir que os volumes de afluências pluviais indevidas ocorridas foram cerca de 60% no evento 1 e 40% no evento 2. É de salientar que, para além do evento 1 ocorrer no período de inverno, isto é, o evento pluviométrico deu-se com maior intensidade do que no evento 2 (período de verão), o evento 1 tem uma duração de 3 dias, fator este que também contribui para os elevados volumes obtidos de afluências indevidas aquando desse evento. Os volumes de afluências indevidas obtidos para ambos os eventos traduzem a magnitude desta problemática neste sistema de drenagem.

Como foi explicado durante a calibração do modelo em tempo húmido, foi necessário estimar certos parâmetros como áreas totais e percentagens de áreas impermeáveis de cada sub-bacia que simbolizam da melhor forma as contribuições pluviais que ocorrem ao longo da bacia da Lage. É possível estabelecer uma relação entre os valores estimados e os valores reais que traduz a

percentagem de ligações indevidas existentes na bacia da Lage. No Quadro 5.4.5 encontram-se representados os valores das áreas estimados e reais e as percentagens de ligações indevidas que ocorrem em cada sub-bacia.

Quadro 5.4.5- Resultados finais das percentagens de ligações indevidas nas diferentes sub-bacias

Sub-bacias	Valores Reais			Valores no Modelo Matemático			% Ligações Indevidas
	Área Total (ha)	% Área Impermeável	Área Impermeável (ha)	Área Total (ha)	% Área Impermeável	Área Impermeável (ha)	
Q28	1178.69	78.24	922.21	126	30	37.8	4
Mem Martins	224.86	67.77	152.38	10	68	6.8	5
Vale Mourão	161.36	74.2	119.73	8	74.2	5.9	5
Lage 1	159.83	22.07	35.28	6	30	1.8	5
Lage 2	466.01	73.25	341.35	11	73.25	8.1	2
Q03B	295.72	34.97	103.41	12	55	6.6	6
Q04	286.91	47.6	136.56	34	90	30.6	22
Q29	11.8	68.71	8.11	6	90	5.4	67
Q30	11.69	83.65	9.78	6	90	5.4	55
Q31	74.13	45.46	33.7	17	90	15.3	45
Q32	176.01	39.17	68.95	5	50	2.5	4
Q33	137.95	34.5	47.59	3	34.49	1	2
<b>Total</b>			<b>1979.05</b>			<b>127.2</b>	<b>6</b>

Pela análise do quadro acima apresentado é possível aferir que até ao medidor de caudal Q03B a percentagem de ligações indevidas é baixa (inferior a 10%). A zona da bacia da Lage onde ocorrem maior percentagem de infiltrações é entre os medidores Q04 e Q31, zona do município de Oeiras onde, possivelmente, as habitações construídas nesta zona são mais antigas e apenas possuem um tipo de ramal, não havendo separação entre águas de origem doméstica e origem pluvial (nos telhados e pátios). É, assim, importante desenvolver um estudo com maior detalhe nesta zona da bacia da Lage com vista à conceção de ações/medidas que contribuam para a diminuição das percentagens de ligações indevidas. No entanto, o valor obtido para o total de ligações indevidas existentes na bacia da Lage (6%) é um resultado positivo dado a dimensão e complexidade desta bacia.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS PARA FUTUROS TRABALHOS

Sendo as aflúências indevidas, e particularmente as contribuições pluviais, um fenómeno de difícil análise, o recurso a modelos matemáticos, quando bem calibrados, pode representar uma ferramenta fundamental no desenvolvimento de medidas de mitigação para esse fenómeno. A presente dissertação teve como objetivo principal a modelação dinâmica do subsistema de drenagem da Costa do Estoril, compreendendo a construção física do respetivo modelo, a calibração em tempo seco e tempo húmido da bacia da Lage, a quantificação das aflúências pluviais indevidas e, ainda, a análise hidráulica do funcionamento do sistema.

Para a calibração da bacia da Lage recorreu-se a hidrogramas padrão dos períodos de verão e inverno, obtidos por Rosmaninho (2017), que foram estimados considerando todos os dias do ano em estudo (2014/2015), ou seja, não se efetuou uma distinção entre dias úteis e de fim-de-semana (em que o volume de caudal afluente ao sistema poderá variar de forma significativa). Este aspeto juntamente com a dimensão e complexidade da bacia da Lage originou alguns resultados, nomeadamente, dos critérios de calibração do modelo, fora dos intervalos de valores estipulados para os erros volumétricos e de caudal de ponta. No entanto, grande parte dos resultados encontram-se dentro dos intervalos estipulados e, dado que o objetivo central desta dissertação se foca no cálculo de aflúências indevidas (que, particularmente, ocorrem em grande aflúência no emissário da Lage em tempo de chuva), optou-se por avançar com o trabalho.

Os indicadores de desempenho representam um bom instrumento de apoio a gestão de sistemas de drenagem, traduzindo a qualidade do serviço praticado, e auxiliam em tomadas de decisões económico-financeiras das entidades gestoras. Através dos resultados obtidos para o indicador de desempenho 1 (indicador de tempo húmido) é possível concluir que a maior percentagem de coletores em carga, durante os eventos em análise, ocorreu no emissário da Lage, o que, de certa forma, simboliza uma maior ocorrência de aflúências pluviais indevidas nesse emissário (quando comparado com os emissários de Mem Martins e Vale Mourão). Deste modo, o ID1 indica qual o emissário que necessita de uma maior atenção e de um estudo mais detalhado, no que toca a aflúências indevidas no sistema. Através dos resultados obtidos para o indicador de desempenho 2 (indicador de tempo seco), é possível concluir que a infiltração ocorrida no emissário da Lage durante o ano em análise (2014/2015), foi, no geral, moderada não comprometendo o normal funcionamento do sistema, contudo é importante a realização de um estudo, de tempo seco, com maior detalhe, designadamente através de CCTV, nas zonas da bacia da Lage onde a infiltração ronda os 50%.

O objetivo principal desta dissertação centrou-se na quantificação de aflúências indevidas na bacia da Lage. Os resultados obtidos indicam que os volumes de caudais pluviais que afluíram ao sistema, chegaram a ser, em certas horas dos eventos pluviométricos estudados, cerca de 6 vezes mais o

volume de caudal em tempo seco, isto é, sem ter em consideração contribuições pluviais. Esta análise contribuiu para uma melhor perceção da real magnitude do fenómeno de aflúncias pluviais indevidas na bacia da Lage, sustentando a importância da elaboração de medidas/ações que visam a mitigar esta problemática nesta bacia.

Ao longo da calibração em tempo húmido foram estimadas as áreas que efetivamente contribuíam, com caudais pluviais, para o sistema de drenagem, o que permitiu determinar a percentagem de ligações pluviais indevidas na bacia da Lage. Pela análise dos valores obtidos é possível aferir que a zona da bacia que apresenta maiores problemas de ligações indevidas ocorre entre os medidores de caudal Q04 e Q31. Esta zona situa-se no município de Oeiras onde, possivelmente, as habitações aí construídas serão mais antigas e apenas possuem um tipo de ramal, não havendo separação entre águas de origem doméstica e de origem pluvial. No entanto, estas contribuições também se podem dever, por exemplo, ao mau estado de conservação dos coletores. E, assim, importante o desenvolvimento de estudos mais detalhados, nomeadamente através de visualização CCTV, nas zonas mais problemáticas da bacia da Lage, para detetar eventuais problemas estruturais que possam justificar os resultados obtidos.

Todo o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos nesta dissertação servirão de suporte a projetos de entidades gestoras e permitirão, futuramente, a elaboração de medidas de mitigação para a problemática das aflúncias indevidas, não só no subsistema de drenagem da Costa do Estoril, mas também noutros sistemas de drenagem que possuam a mesma natureza.

Em suma, reforça-se a importância do investimento em estudos/projetos sobre a temática das aflúncias indevidas em sistemas de drenagem e o recurso mais frequente á modelação dinâmica. Para tal, são sugeridos alguns aspetos que merecem um desenvolvimento mais detalhado no futuro:

- Dado o tempo limitado para a realização desta dissertação, seria uma mais valia a realização de um aperfeiçoamento do modelo matemático do sistema de drenagem da bacia da Lage;
- Propagar o estudo efetuado para a bacia da Lage para os restantes emissários do subsistema de drenagem da Costa do Estoril;
- Dada a dimensão e complexidade da bacia da Lage, seria prudente a colocação de mais medidores de caudal e, posteriormente, a realização de um aperfeiçoamento do respetivo modelo matemático;
- Seria interessante a realização de campanhas para se aferir a cota exata a que se encontram as três descargas de emergência situadas na bacia da Lage e, se possível, a colocação de medidores de caudal para a quantificação de volumes escoados.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## Livros e artigos

- Alegre, H. (1992) - *Instrumentos de Apoio à Gestão Técnica de Sistemas de Distribuição de Água*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, LNEC e IST, Lisboa.
- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera Jr., E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., Parena, R. (2006) - *Performance Indicators for Water Supply Services. Series: Manual of Best Practice*. International Water Association Publishing, Londres,
- Almeida, S.; Monteiro, P. (2004) - *Incidence of rainwater flows in wastewater drainage networks two case studies in municipalities in northern Portugal*. 2004
- Amorim, H., Neves, M. V., & Matos, J. S. (2009) - *Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Apresentado na 2<sup>as</sup> Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Amorim J. (2008) - *Modelação e Gestão Avançada de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- APESB & LNEC (2015) - *Apontamentos do curso de Modelação matemática de sistemas de águas residuais e pluviais*. Lisboa.
- Appleton J., Costa A., França P. (2004) - *Efeitos estruturais da deterioração em estruturas de betão armado*. Encontro Nacional Betão Estrutural.
- Barreto, S. (2011) – *Impacto da Infiltração e Afluência de águas Pluviais na Rede de Saneamento*. Mestrado de Tecnologia e Gestão das Construções, ISEP, Porto.
- Bixio D., Carrette R., Thoeys C. (2002) - *Two years of full-scale storm operation experience*. *Wat. Sci. Tech.*, 46(6-7), 167-172.
- Bonito, A. (2014) – *Infiltrações na rede de drenagem de águas residuais caso de estudo da bacia da drenagem de Lanheses*. FEUP, Porto.
- Brandão, D. (2015) - *Gestão de Afluências Indevidas em Redes de Águas Residuais Urbanas*. Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP.



- Brito, R. D. S. (2012) - *Monitorização em drenagem urbana. Variáveis hidráulica e de qualidade da água*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Cândido, J. R. S. (2013) - *Modelação dinâmica de sistemas de drenagem em meio urbano*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Cardoso, A; Almeida, MC; Coelho, ST (2002) - *Evaluation of the infiltration impact on the performance of urban sewer systems. In Proceedings of the 9th National Congress on Water, Wastewater and Solid Waste*.
- Cardoso, M. A., Coelho, S. T., Almeida, M. (2004) - *Sewer systems performance assessment methodology, formulation, computational application and case studies. Deliverable 9.2: Infiltration and exfiltration performance indicators*, APUSS. LNEC, Lisboa.
- Cardoso, M. A., Bertrand-Krajewski, J. L., Ellis, J. B., Frehmann, T., Giulianelli, M., Gujer, W., Krebs, P., Pliska, Z., Pollert, J., Pryl, K. (2006) - *Melhorar o conhecimento e a gestão da infiltração e da exfiltração em sistemas de drenagem urbana: o projecto APUSS. 2º Encontro Nacional de Saneamento Básico*, Cascais, Portugal.
- Cardoso, M. A. (2008) – *Avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa
- Cervantes W. (2004) – *Modelling Water Quantity and Water Quality with the SWMM continuous Streamflow Model under Non-Stationary Land-use Condition using GIS*. – Master of Science, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland.
- Coelho, I. (2013) - *Variabilidade de aflúências às redes de drenagem de águas residuais causas e efeitos versus sustentabilidade económica um caso de estudo*.
- David, M. C., Barroso, V. (2017) – *Aflúências Indevidas em Sistemas de Drenagem Urbana*. Guia Técnico, Dezembro 2017.
- David, L. (2005) – *Descargas de Excedentes de Sistemas de Drenagem Urbana*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, IST.
- David, M. C. (2004) – *Avaliação do desempenho técnico da bacia da drenagem urbana da Quinta do Borel*. Relatório de Estágio Formal, LNEC, Lisboa

- Deb, A., Cesario, L. (1997) - *Water distribution systems performance assessment. IWSA Workshop on Performance Indicators for Transmission and Distribution Systems*, Maio. LNEC, Lisboa.
- Decreto regulamentar nº 23/95, de 23 de Agosto. Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais. 2ª edição. Coleção Construção Civil.
- Ellis, J. B. (2001) - *Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality*. INTERURBA II. Lisboa, Portugal.
- Ensinas, M. (2009) - *Integração de Modelos Matemáticos de Simulação de Sistemas de Drenagem Urbana com Sistemas de Informação Geográfica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Ferreira, F. (2006) - *Modelação e gestão integrada de sistemas de águas residuais* – Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, IST/UNL, Lisboa, Dezembro de 2006.
- Franz, T. (2007) - *Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results*. Tese de Mestrado, Institut für Siedlungs – und Industrierwasserwirtschaft Technische Universität Dresden, Alemanha.
- Frazão, M. (2011) - *Calibração e Validação de um Modelo Matemático Aplicado ao Caneiro de Alcântara*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Nova Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia. 111 pp.
- Freni, G., Maglionico, M., Di Federico, V. (2003) - *State of the art in Urban Drainage Modelling*. EVK1-CT-2001-00167 CARE-S Project Coordinator.
- Galvão, A. F. (2009) - *Comportamento Hidráulico e Ambiental de Zonas Húmidas Construídas Para o Tratamento de Águas Residuais* - Tese de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, IST, Lisboa, Janeiro de 2009
- Gamboa, M., Almeida, M. C., Matos, M. R., Matos, J. S. (2000) - *Controlo da Descarga de Excedentes no Sistema de Saneamento da Costa do Estoril – Diagnóstico e Formulação de Recomendações Estratégicas. 1º Relatório de Progresso – Caracterização e Diagnóstico da Situação Actual*. Relatório 324/00-NES, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Gomes, M. (2015) - *Variabilidade de afluências indevidas às redes de drenagem urbana. Caudas e efeitos. Estratégias de controlo e redução*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, FEUP, Porto.

- IISDnet (2000) - *Measurement and Indicators for Sustainable Development*. International Institute for Sustainable Development.
- 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. (2008) - *Innovative tracer methods for sewer infiltration monitoring*. Urban Water Journal, 5 (3) (Research article), 173-185.
- Kretchmer, F; Ertl, T; Koch, F (2008) - *Discharge Monitoring and Determination of Infiltration Water in Sewer Systems*.
- Lourenço, R. (2014) – *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis*. Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra.
- MAOT (2000) - *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais PEAASAR (2000-2006)*. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Portugal.
- Marques, J. e Sousa, J. (2011) - *Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais. 3.a Edição*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Martins dos Santos, M. e Hipólito, J. (2008) - *Análise do Escoamento em Rios Sujeitos à Influência da Maré*. Curva de Vazão. 7.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, Portugal.
- Matos, M. R., Bicudo, R., Alegre, H. (1993) - Technical and social-economical indicators in the scope of water supply, wastewater and solid waste systems. *Preparatory study for the definition of selection criteria for environmental projects to be funded by the European Community*, Vol. 2, project contracted by the European Commission, Report 107/93, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Matos, M. R., Almeida, M. C., Cardoso, M. A. (1994) - Introdução ao problema e aos conceitos. *Curso sobre Modelação de Sistemas de Drenagem Urbana, Estações de Tratamento e Impacte nos Meios Recetores*, 4 a 6 de Julho, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Matos J. (2005) - *Modelação Integrada de Sistemas de Águas Residuais*. Seminário de Aspetos em Portugal e na União Europeia das diretivas incidentes no ciclo urbano da água. APRH, Covilhã, Portugal.

- Meller A. (2004) - *Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria-RS*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, Brasil.
- Merril, M. e Butler, R. (1994) - *New dimensions in infiltration/inflow analysis. In A Global Perspective for Reducing CSOs: Balancing Technologies, Costs, and Water Quality*. Water Environment Federation Specialty Conference Series Proceedings. 1994.
- Metcalf e Eddy (1981) - *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater* (Tchobanoglous, G.; ed.). (T. G., Ed.) USA: McGraw-Hill, Inc.
- Portela, M. (2006) - *Modelação Hidrológica*. Departamento de Engenharia Civil, Secção de Hidráulica e Recursos Hídricos e Ambientais, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Rodrigues, V. (2013) - *Avaliação de Infiltração em Drenagem Urbana Recorrendo a Métodos Convencionais e não Convencionais* – Tese de Mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, Novembro, 2013
- Rosmaninho, A. (2017) – *Determinação dos caudais de infiltração no sistema de drenagem “em alta” de Lisboa com base em métodos convencionais da análise de caudal* – Tese de Mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, Maio 2017
- Rossman, L. (2016) - *Storm Water Management Model User’s Manual, National Risk Management Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio*.
- Saegrov, S. (ed.) (2005). *CARE-S, Computer Aided Rehabilitation for Sewer and Storm Water Networks*. IWA Publishing, Reino Unido.
- Schutze M., Butler D., Beck M.B. (2002) – *Modelling, Simulation and Control of Urban Wastewater Systems*. – Springer Verlag, London.
- SISAQUA e CENOR (2007) - *Plano de Controlo de Caudais Pluviais no Subsistema de Beirolas, Volume III – Calibração e Validação do Modelo (Tomo I)*, Lisboa, Portugal.
- Seggelke K. (2005) – *Integrated operation of sewer system and WWTP by simulation-based control of the WWTP inflow*. Water Science and Technology, Vol 52 (5), pp. 195-203, 2005
- USEPA (2002) - *Decision Support Tools for Predicting the Performance of Water Distribution and Wastewater Collection Systems*. EPA/600/R-02-029 (<http://www.epa.gov>).

WAPUG (2002) - *Waste Water Planning Users Group. Code of Practise for the Hydraulic Modelling of Sewer Systems, Version 2.001*

WIN (2000) - *Clean and Safe Water for the 21st Century, a Renewed National Commitment to Water and Wastewater Infrastructure.* Water Infrastructure Network, E.U.A.  
([https://www.iatp.org/sites/default/files/Clean\\_and\\_Safe\\_Water\\_for\\_the\\_21st\\_Century.htm](https://www.iatp.org/sites/default/files/Clean_and_Safe_Water_for_the_21st_Century.htm))

White, M., Johnson, H, Anderson, G., Misstear, B. (1997) – *Control of infiltration to sewers.* Report 175, CIRIA, UK.

York (2012) - York region and municipal inflow and infiltration reduction program. Consultado em Novembro de 2012 (<http://www.york.ca>)

## Páginas web

ONU, 2018 - <http://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>

RedZone Robotics, 2017 - <http://www.redzone.com>

LNEC, 2018 - <http://iaflui.lnec.pt/index.php/projeto/afluencias-indevidas/>



# ANEXOS

No presente anexo são apresentadas mais fotografias da visita técnica realizada ao campo do subsistema de drenagem da Costa do Estoril.



Figura A.1- Grupos eletrobomba da EE do Jamor



Figura A.2- Painéis de controlo da EE do Jamor



Figura A.3- Zona do desarenador no interior da EE do Jamor



Figura A.4- Torre de carvão ativado para redução de maus odores da EE de São Pedro



Figura A.5- Tamisador da EE de São Pedro



Figura A.6- Caudal residual dentro do Intercetor Geral



No presente anexo encontram-se sintetizados os dados base utilizados neste trabalho, fornecidos pela AdTA e retirados do antecedente trabalho elaborado por Rosmaninho (2017).

Quadro B.1- Excerto de dados cadastrais relativos a coletores de alguns emissários do subsistema de drenagem da Costa do Estoril

EMISSÁRIO	REFERÊNCIA COLETOR	CÂMARA MONTANTE	CÂMARA JUSANTE	COMPRIMENTO (m)	COTA JUSANTE (m)	COTA MONTANTE (m)	DIMENSÃO (mm)	TIPO DE SECÇÃO
Mem-Martins	MM0010.00A	MM0010.00	MM0020.00	8.83	174.14	173.73	200	Circular
Mem-Martins	MM0020.00A	MM0020.00	MM0030.00	21.11	173.5	173.69	300	Circular
Mem-Martins	MM0030.00A	MM0030.00	MM0040.00	47.36	173.36	173.48	300	Circular
Mem-Martins	MM0040.00A	MM0040.00	MM0045.00	13.74	173.26	173.33	300	Circular
(...)								
Vale Mourão	VM0010.00A	VM0010.00	VM0020.00	39.59	136.41	136.51	400	Circular
Vale Mourão	VM0020.00A	VM0020.00	VM0030.00	35.69	135.42	136.41	400	Circular
Vale Mourão	VM0030.00A	VM0030.00	VM0040.00	32.93	134.69	135.3	400	Circular
Vale Mourão	VM0040.00A	VM0040.00	VM0050.00	36.95	133.76	134.68	400	Circular
(...)								
Laje	LJ0010.00A	LJ0010.00	LJ0020.00	36.81	151.97	153.37	400	Circular
Laje	LJ0020.00A	LJ0020.00	LJ0030.00	23.14	151.51	151.89	600	Circular
Laje	LJ0030.00A	LJ0030.00	LJ0040.00	48.31	150.85	151.19	600	Circular
Laje	LJ0040.00A	LJ0040.00	LJ0050.00	30.79	150.66	150.84	600	Circular
(...)								
Amadora	AD0010.00A	AD0010.00	AD0020.00	13.07	125.81	126.23	200	Circular
Amadora	AD0020.00A	AD0020.00	AD0030.00	14.43	125.13	125.63	180	Circular
Amadora	AD0030.00A	AD0030.00	AD0040.00	34	123.5	125.13	180	Circular
Amadora	AD0040.00A	AD0040.00	AD0050.00	30.41	122.61	123.5	180	Circular
(...)								

Quadro B.2- Excerto de dados cadastrais relativos a câmaras de visita de alguns emissários do subsistema de drenagem da Costa do Estoril

<b>EMISSÁRIO</b>	<b>REFERÊNCIA CÂMARA VISITA</b>	<b>COORDENADA M</b>	<b>COORDENADA P</b>	<b>COTA DE SOLEIRA (m)</b>	<b>COTA DO TERRENO (m)</b>	<b>PROFUNDIDADE À SOLEIRA (m)</b>
Mem-Martins	MM0010.00	-105698.562	-97729.097	174.06	175.67	1.61
Mem-Martins	MM0020.00	-105673.158	-97745.862	173.69	175.53	1.84
Mem-Martins	MM0030.00	-105672.799	-97766.972	173.48	175.51	2.03
Mem-Martins	MM0040.00	-105673.207	-97814.326	173.33	175.79	2.46
(...)						
Vale Mourão	VM0010.00	-102191.063	-99497.962	136.51	139.5	3.09
Vale Mourão	VM0020.00	-102188.155	-99537.442	136.37	139.6	3.23
Vale Mourão	VM0030.00	-102188.155	-99573.128	135.3	138.25	2.95
Vale Mourão	VM0040.00	-102214.214	-99593.26	134.69	137.41	2.72
(...)						
Lage	LJ4010.00	-102748.764	-104630.539	30.28	34.06	3.78
Lage	LJ4020.00	-102739.548	-104636.37	30.21	34.03	3.82
Lage	LJ4030.00	-102751.238	-104672.919	29.72	32.67	2.95
Lage	LJ4040.00	-102745.564	-104731.095	27.51	30.46	2.95
(...)						
Amadora	AD0010.00	-96070.717	-100304.545	126.23	128.2	1.97
Amadora	AD0020.00	-96082.233	-100298.368	125.64	127.76	2.12
Amadora	AD0030.00	-96095.214	-100292.058	125.13	127.28	2.15
Amadora	AD0040.00	-96125.192	-100276.014	123.5	125.98	2.48
(...)						

Quadro B.3- Dados cadastrais relativos às Sub-bacias hidrográficas relacionadas com a bacia da Lage

Sub-bacias	Município	Caixa/Sub-bacia Jusante	População (hab)	Área Total (ha)	Área Impermeável (ha)	% Área Impermeável
Q28	Sintra	Caixa LJ0755.00	90437	1178.69	922.21	78.24
Mem Martins	Sintra	Caixa LJ1150.00	971	224.86	152.38	67.77
Vale Mourão	Sintra	Caixa VM0450.00	7134	161.36	119.73	74.20
Lage 1	Sintra	Caixa LJ1280.00	1070	159.83	35.28	22.07
Lage 2	Sintra	Caixa LJ1150.00	6961	466.01	341.35	73.25
Q03B	Sintra	Caixa LJ1610.00	292	295.72	103.41	34.97
Q04	Cascais	Caixa LJ2340.00	3949	286.91	136.56	47.60
Q29	Cascais	Sub-bacia Q31	829	11.80	8.11	68.71
Q30	Cascais	Sub-bacia Q31	491	11.69	9.78	83.65
Q31	Oeiras	Caixa LJ2050.00	1491	74.13	33.7	45.46
Q32	Cascais	Caixa LJ2600.00	3698	176.01	68.95	39.17
Q33	Cascais	Caixa LJ2730.00	5107	137.95	47.59	34.50

Quadro B.4- Excertos de registos de volume de caudal, efetuados pelos vários medidores, nos diferentes dias seleccionados para a calibração e validação da bacia da Lage em tempo seco (períodos de verão e inverno)

Registos reais de caudal na bacia da Lage em tempo seco												
Medidor de caudal <b>Q28</b>						Medidor de caudal <b>Q03B</b>						
Período de Verão			Período de Inverno			Período de Verão			Período de Inverno			
Calibração modelo		Validação modelo	Calibração modelo		Validação modelo	Calibração modelo		Validação modelo	Calibração modelo		Validação modelo	
Sábado	Quinta	Segunda	Domingo	Segunda	Domingo	Sábado	Quinta	Segunda	Domingo	Segunda	Domingo	
11/07/15	03/09/15	07/09/15	02/11/14	16/03/15	05/04/15	11/07/15	03/09/15	07/09/15	02/11/14	16/03/15	05/04/15	
Horas												
Q (l/s)												
00:00:00	133	141.9	129.6	108.2	195.7	162.6	192.2	163.5	161.1	218.4	251.9	207.2
00:05:00	133	141.9	129.6	108.2	195.7	162.6	192.2	163.5	161.1	218.4	251.9	207.2
00:10:00	134.7	135.4	122.5	128.9	177.8	167.3	185.3	160	157	216.7	257.2	210.3
00:15:00	127	127	123.4	125.1	175.3	163.3	166.9	146.2	148.2	211.8	237.2	200.2
00:20:00	134.8	122.5	130	129.7	186	152	155.2	150.8	139.1	208.6	235.3	199.1
(...)												

Medidor de caudal <b>Q04</b>						Medidor de caudal <b>Q07</b>						
Período de Verão			Período de Inverno			Período de Verão			Período de Inverno			
Calibração modelo		Validação modelo	Calibração modelo		Validação modelo	Calibração modelo		Validação modelo	Calibração modelo		Validação modelo	
Sábado	Quinta	Segunda	Domingo	Segunda	Domingo	Sábado	Quinta	Segunda	Domingo	Segunda	Domingo	
11/07/15	03/09/15	07/09/15	02/11/14	16/03/15	05/04/15	11/07/15	03/09/15	07/09/15	02/11/14	16/03/15	05/04/15	
Horas												
Q (l/s)												
00:00:00	204.5	225.4	197.8	243.7	288	252.2	253	242.4	227.9	251.9	349.4	253.4
00:05:00	204.5	225.4	197.8	243.7	288	252.2	253	242.4	227.9	251.9	349.4	253.4
00:10:00	213.8	220.4	197.4	241.9	304.7	252.4	245.6	235	226.1	236.4	330.4	255.1
00:15:00	232.1	209.1	181.3	248.2	274.7	246.8	244.9	243	219.9	247.9	324.3	249.3
00:20:00	201.2	202.9	188.4	237.2	289.8	237.3	253	232.8	210.1	245.6	326.4	251
(...)												

Quadro B.5- Excertos de registos de caudais, efetuados pelos diferentes medidores de caudal da bacia da Lage, para tempo húmido (períodos de inverno e verão) e dos respetivos hidrogramas padrão

Caudal para os 2 eventos de precipitação de tempo húmido em análise									
Evento 1- inverno Dias 17/01/2015 a 19/01/2015					Evento 2- verão Dia 14/06/2015				
Q28					Q03B		Q04		Q07
Q (l/s)									
00:00:00	218.8	287.2	352	410.2	151.1	197.8	272.2	264	
00:05:00	208.4	286.5	328.3	410.8	151.8	201.8	271	264	
00:10:00	214.6	274.6	345.2	410.4	151.5	192.3	261.1	278.9	
00:15:00	220.6	267.1	328.4	395.9	153.2	194.8	248.3	302.6	
00:20:00	210.2	241.6	338.4	400.4	153.7	180.3	246.3	311.9	
00:25:00	198.8	274	323.9	387.7	143	170.6	241.6	302.4	
00:30:00	214.9	265.7	324.7	386.1	141.4	163.7	244.6	299.1	
00:35:00	216.5	271.4	323.5	380.8	135.6	179.6	225.7	280	
00:40:00	202.1	292.7	292.5	376	135.3	170.8	215.2	273.1	
00:45:00	202.3	267	293.1	375.6	126	170.2	212.7	273.4	
00:50:00	201.9	254.8	308.8	371.5	120.5	171.5	203.2	274.3	
00:55:00	190.7	268.5	327	366.2	119.9	172	207.9	268.4	
01:00:00	180.2	256.9	293.9	358.4	119	177.8	197.7	256.9	
(...)									

Quadro B.6- Excerto de registos de precipitação (PP), e respetiva intensidade (I), registados de 5 em 5 minutos relativos aos dois eventos de precipitação em análise na calibração da bacia da Lage em tempo húmido

Evento 1 - período de inverno 17/01/2015 a 19/01/2015			Evento 2 - período de verão 14/06/2015		
Horas	PP (mm)	I (mm/h)	Horas	PP (mm)	I (mm/h)
(...)	(...)		(...)	(...)	
17:50:00	0.254	3.0	02:00:00	0.254	3.0
17:55:00	0.762	9.1	02:05:00	0.762	9.1
18:00:00	0.254	3.0	02:10:00	0.508	6.1
18:05:00	0	0.0	02:15:00	1.016	12.2
18:10:00	0	0.0	02:20:00	0.254	3.0
18:15:00	0.254	3.0	02:25:00	0	0.0
18:20:00	0	0.0	02:30:00	0.254	3.0
18:25:00	0	0.0	02:35:00	0	0.0
18:30:00	0.254	3.0	02:40:00	0	0.0
18:35:00	0	0.0	02:45:00	0	0.0
18:40:00	0	0.0	02:50:00	0	0.0
18:45:00	0.254	3.0	02:55:00	0	0.0
18:50:00	0	0.0	03:00:00	0	0.0
(...)	(...)		(...)	(...)	

Quadro B.7- Excerto de registos de precipitação diária nos diferentes postos udométricos durante o período em estudo (01/11/2014 - 31/10/2015)

Dias	U2 PP (mm)	U9 PP (mm)	U25 PP (mm)	U33 PP (mm)	U35 PP (mm)
01/11/2014	1.0	1.0	0.8	1.5	1.0
02/11/2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03/11/2014	14.7	0.3	16.0	12.4	17.3
04/11/2014	16.5	0.0	21.6	16.0	21.6
05/11/2014	1.0	0.3	2.3	1.8	2.8
(...)					
27/10/2015	4.6	9.1	3.3	8.1	1.0
28/10/2015	2.0	1.5	4.1	2.0	2.8
29/10/2015	0.3	0.5	0.0	0.3	0.0
30/10/2015	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31/10/2015	12.4	2.0	7.1	3.0	3.3

Quadro B.8- Excertos de valores dos hidrogramas padrão de inverno e verão relativos aos diferentes medidores e caudal da bacia da Lage

Horas	Hidrogramas Padrão (HP)							
	Q28		Q03B		Q04		Q07	
	HP INV	HP VER	HP INV	HP VER	HP INV	HP VER	HP INV	HP VER
Q (l/s)								
00:00:00	187.9	140.2	255.6	181.0	301.6	226.1	342.8	256.2
00:05:00	187.9	140.2	255.6	181.0	301.6	226.1	342.8	256.2
00:10:00	187.9	138.3	251.7	177.2	297.3	224.5	337.9	252.8
00:15:00	185.6	135.0	248.2	173.9	293.3	222.3	335.7	249.7
00:20:00	182.7	133.1	243.7	170.6	288.9	217.3	329.7	247.9
00:25:00	179.0	129.7	242.6	166.4	283.9	215.0	326.6	245.0
00:30:00	176.7	126.0	238.0	163.4	278.5	211.0	322.9	243.5
00:35:00	171.7	123.1	237.7	161.1	274.9	207.2	317.3	240.2
00:40:00	169.6	119.4	234.8	159.3	270.3	203.7	313.9	238.4
00:45:00	166.6	117.0	233.3	156.5	265.8	200.9	311.4	235.4
00:50:00	163.5	114.1	232.8	153.9	262.8	197.5	304.9	231.1
00:55:00	161.2	111.5	228.3	151.0	259.0	194.0	301.1	228.4
01:00:00	159.3	108.2	225.4	148.4	258.3	191.4	296.1	225.6
01:05:00	158.5	105.6	221.6	145.7	255.5	189.2	292.0	221.4
01:10:00	157.9	102.7	217.8	142.9	253.8	186.4	289.6	218.0
01:15:00	155.1	99.0	213.7	139.9	250.0	182.9	285.8	215.2
01:20:00	152.3	95.8	211.9	137.3	247.3	179.3	284.1	211.4
(...)								
Q <sub>méd</sub> (l/s)	182.1	146.8	236.6	174.3	261.7	204.3	282.7	225.4

Excertos do ficheiro Excel, posteriormente convertido num ficheiro de leitura do SWMM, que compreende informação sobre as câmaras de visita e coletores do subsistema de drenagem da Costa do Estoril.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	[TITLE]										
2	;;Project	Title/Notes									
3											
4	[OPTIONS]										
5	;;Option	Value									
6	FLOW_UNITS	LPS									
7	INFILTRATION	HORTON									
8	FLOW_ROUTING	KINWAVE									
9	LINK_OFFSETS	ELEVATION									
10	MIN_SLOPE										
11	ALLOW_PONDING	NO									
12	SKIP_STEADY_STATE	NO									
13											
14	START_DATE	03/27/2017									
15	START_TIME	00:00:00									
16	REPORT_START_DATE	03/27/2017									
17	REPORT_START_TIME	00:00:00									
18	END_DATE	03/27/2017									
19	END_TIME	06:00:00									
20	SWEEP_START	01-Jan									
21	SWEEP_END	Dec-31									
22	DRY_DAYS	0									
23	REPORT_STEP	00:15:00									
24	WET_STEP	00:05:00									
25	DRY_STEP	01:00:00									
26	ROUTING_STEP	00:00:30									
27											
28	INERTIAL_DAMPING	PARTIAL									
29	NORMAL_FLOW_LIMITED	BOTH									
30	FORCE_MAIN_EQUATION	H-W									
31	VARIABLE_STEP	0.75									
32	LENGTHENING_STEP	0									
33	MIN_SURFAREA	1.14									
34	MAX_TRIALS	8									
35	HEAD_TOLERANCE	0.0015									
36	SYS_FLOW_TOL	5									
37	LAT_FLOW_TOL	5									
38	MINIMUM_STEP	0.5									
39	THREADS	1									
40											
41	[EVAPORATION]										
42	;;Data	Source	Parameters								
43	;;-----	-----									
44	CONSTANT		0								
45	DRY_ONLY	NO									
46											
47	[JUNCTIONS]										
48	;;Name	Elevation	MaxDepth	InitDepth	SurDepth	Aponded					
49	;;-----	-----	-----	-----	-----	-----					
50	BA0010.00	203.81	1.15	0	0	0					
51	BA0020.00	203.44	1.36	0	0	0					
52	BA0030.00	203.18	0.91	0	0	0					

(...)

3618											
3619	[OUTFALLS]										
3620	;;Name	Elevation	Type	Stage	Data	Gated	Route	To			
3621	;;-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			
3622	1		0 FREE	NO							
3623											
3624	[CONDUITS]										
3625	;;Name	From Node	To Node	Length	Roughness	InOffset	OutOffset	InitFlow	MaxFlow		
3626	;;-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
3627	BA0010.00A	BA0010.00	BA0020.00	4.93	0.01	203.81	203.69				
3628	BA0020.00A	BA0020.00	BA0030.00	26.15	0.01	203.44	203.2				
3629	BA0030.00A	BA0030.00	BA0040.00	22.39	0.01	203.18	202.95				

(...)

7174												
7175	[XSECTIONS]											
7176	::Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels	Culvert				
7177	::-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----				
7178	BA0010.00A	Circular	0.12	0	0	0	1					
7179	BA0020.00A	Circular	0.2	0	0	0	1					
7180	BA0030.00A	Circular	0.2	0	0	0	1					

(...)

10727	[REPORT]											
10728	::Reporting	Options										
10729	INPUT	NO										
10730	CONTROLS	NO										
10731	SUBCATCHMENTS	ALL										
10732	NODES	ALL										
10733	LINKS	ALL										
10734												
10735	[TAGS]											
10736												
10737	[MAP]											
10738	DIMENSIONS	-119086.26	-109843.69	-91189.9	-91338.16							
10739	Units	Meters										
10740												
10741	[COORDINATES]											
10742	::Node	X-Coord	Y-Coord									
10743	::-----	-----	-----									
10744	BA0010.00	-103972.442	-95177.935									
10745	BA0020.00	-103968.462	-95180.849									
10746	BA0030.00	-103942.961	-95186.626									

(...)



No presente anexo encontra-se uma imagem ilustrativa do modelo de simulação da zona da bacia da Lage que será submetida a análises de calibração.

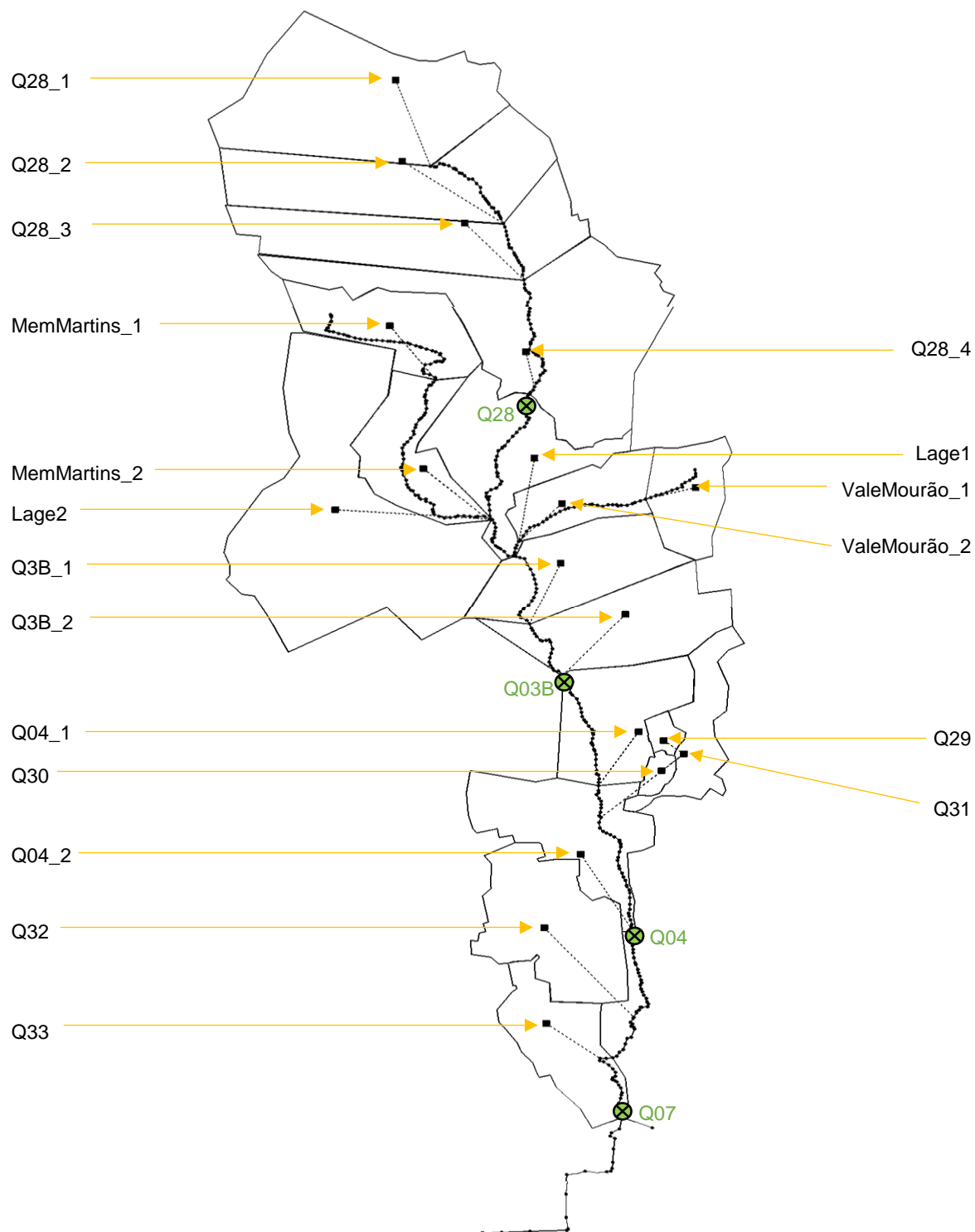


Figura D.1- Representação esquemática do modelo da zona em alta da bacia da Lage, das respetivas designações de cada sub-bacia e da localização dos medidores de caudal (representados a verde)

O presente anexo é alusivo à calibração da bacia da Lage em tempo húmido e encontra-se dividido em 4 partes, cada uma relativa a um troço da bacia da Lage.

### 1. Calibração em tempo húmido do primeiro troço da bacia da Lage

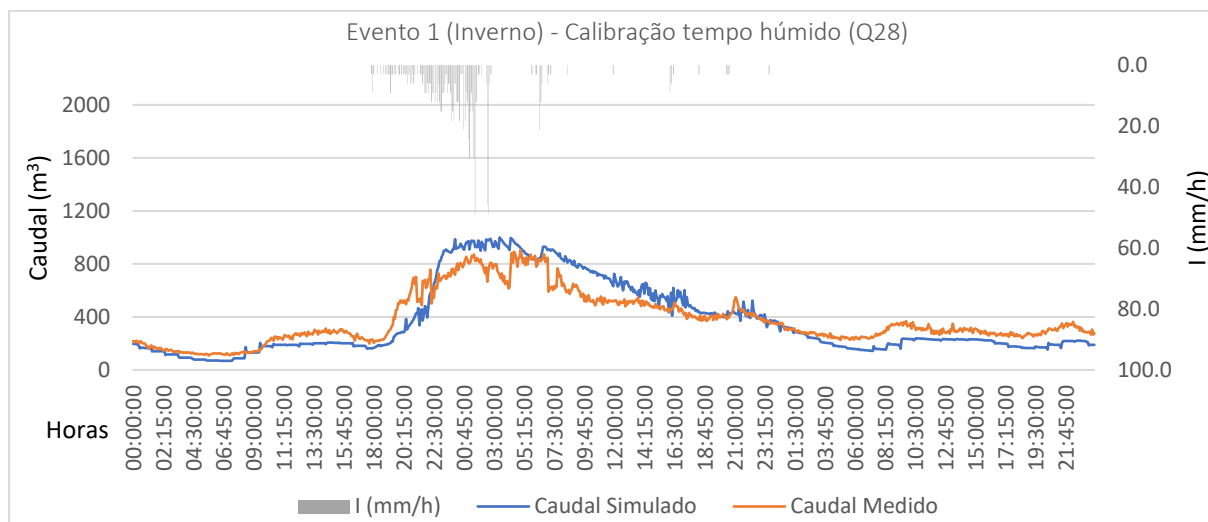


Figura E.1- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no primeiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido

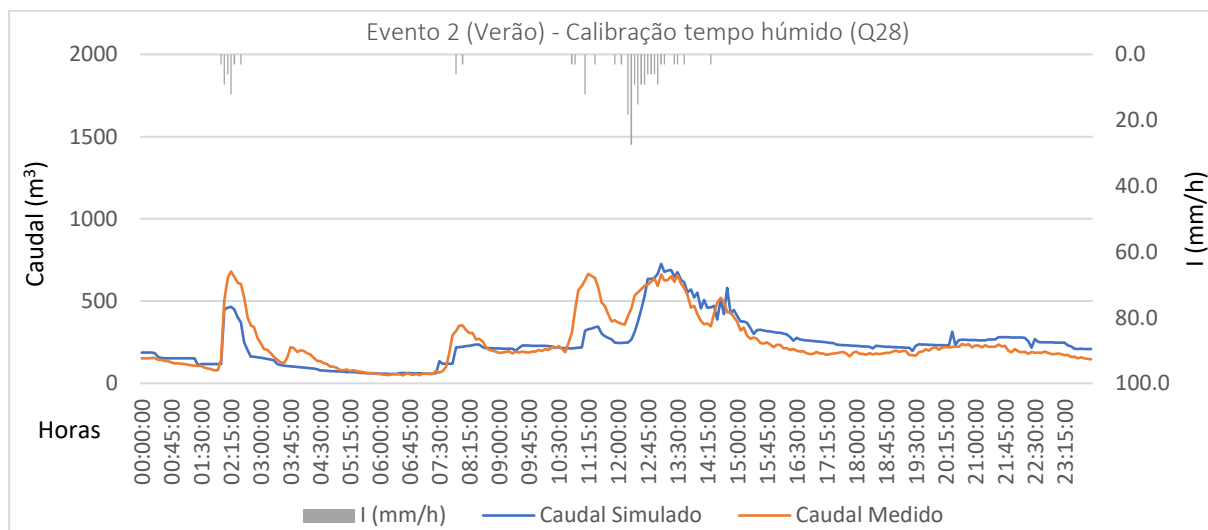


Figura E.2- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no primeiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido

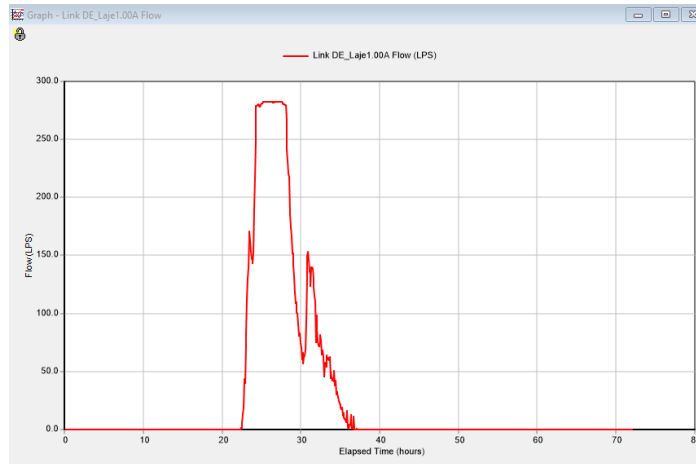


Figura E.3- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela primeira descarga de emergência durante o evento 1 (Inverno)

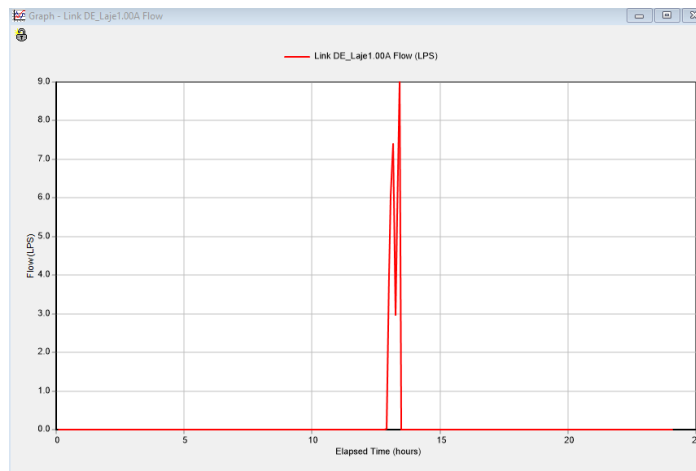


Figura E.5.44- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela primeira descarga de emergência durante o evento 2 (Verão)

## 2. Calibração em tempo húmido do segundo troço da bacia da Lage

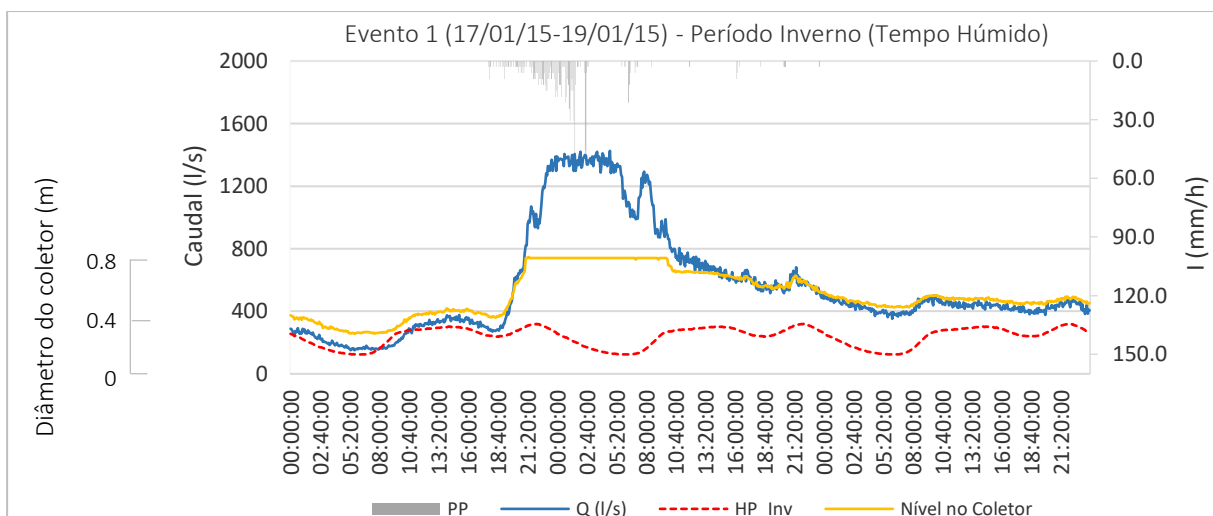


Figura E.5- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 1 (inverno) que auxiliam a calibração do segundo troço da bacia da Lage em tempo húmido

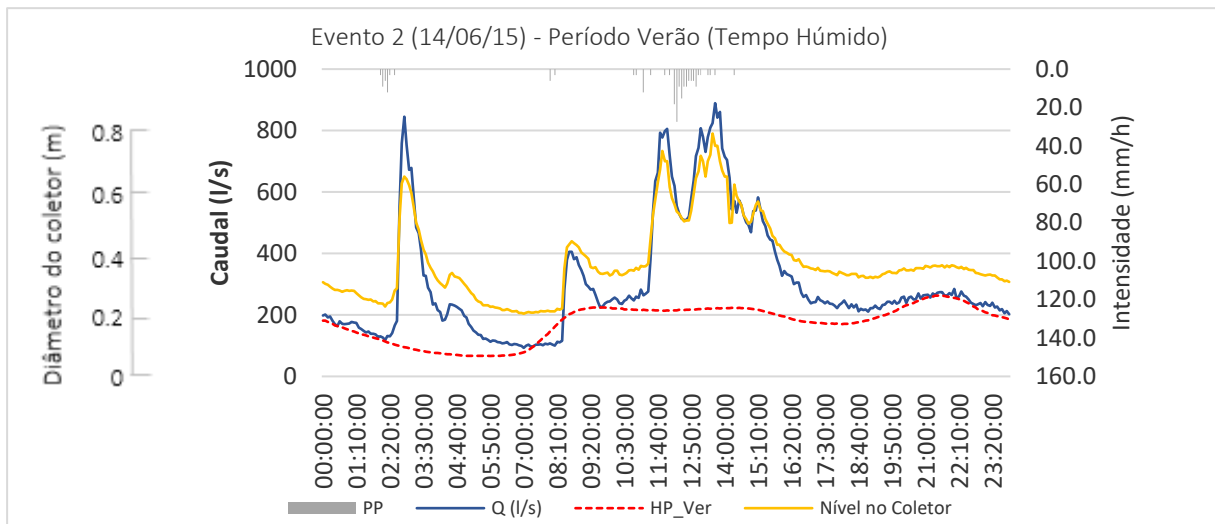


Figura E.6- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 2 (verão) que auxiliam a calibração do segundo troço da bacia da Lage em tempo húmido

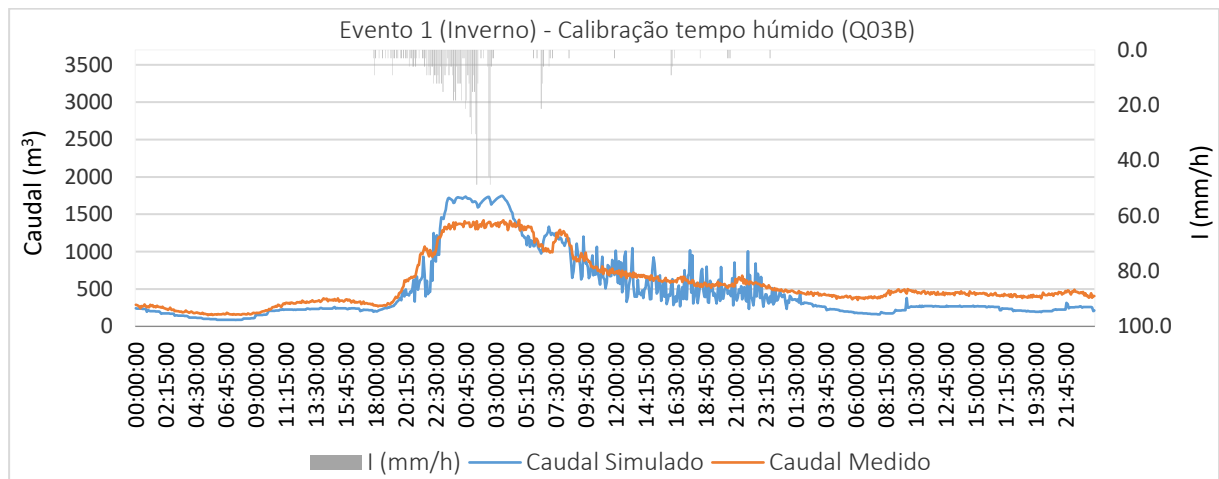


Figura E.7- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no segundo troço da bacia da Lage, em tempo húmido

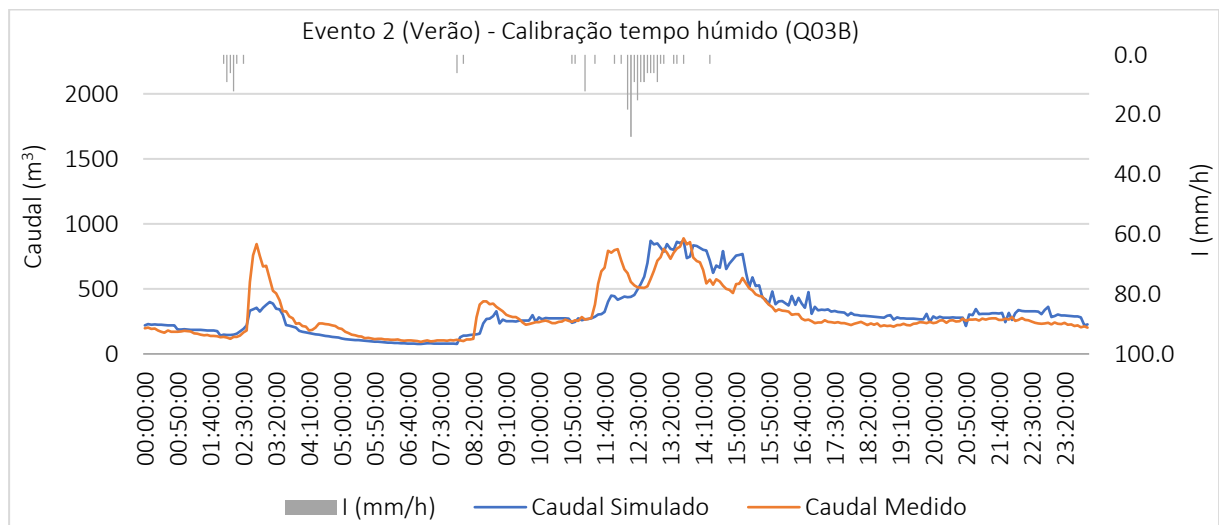


Figura E.8- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no segundo troço da bacia da Lage, em tempo húmido

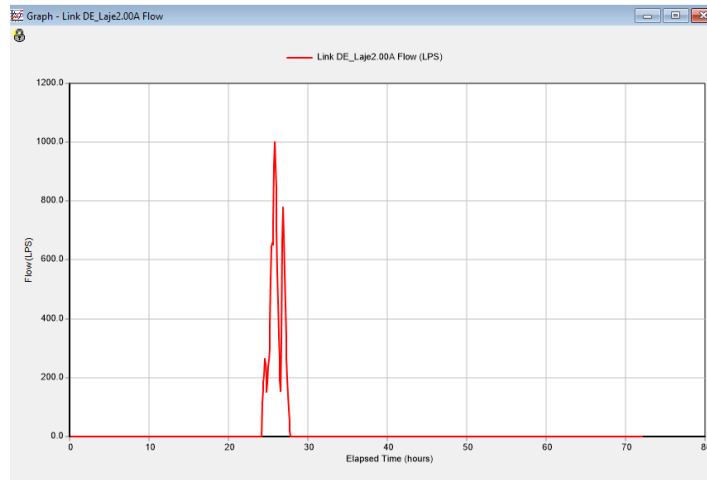


Figura E.9- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela segunda descarga de emergência durante o evento 1 (Inverno)

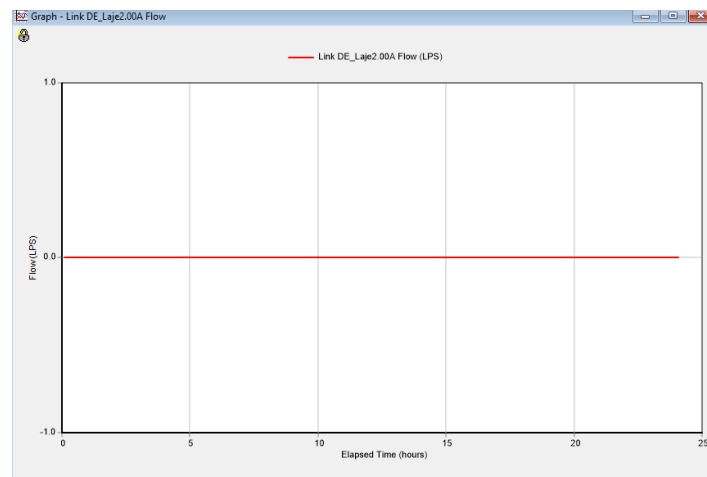


Figura E.10- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela segunda descarga de emergência durante o evento 2 (Verão)

### 3. Calibração em tempo húmido do terceiro troço da bacia da Lage

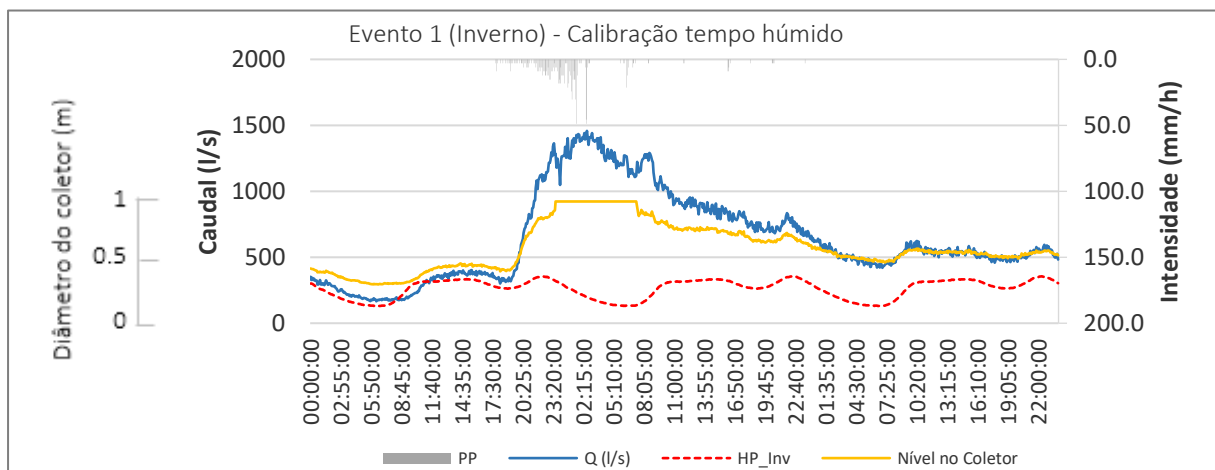


Figura E.11- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 1 (inverno) que auxiliam a calibração do terceiro troço da bacia da Lage em tempo húmido

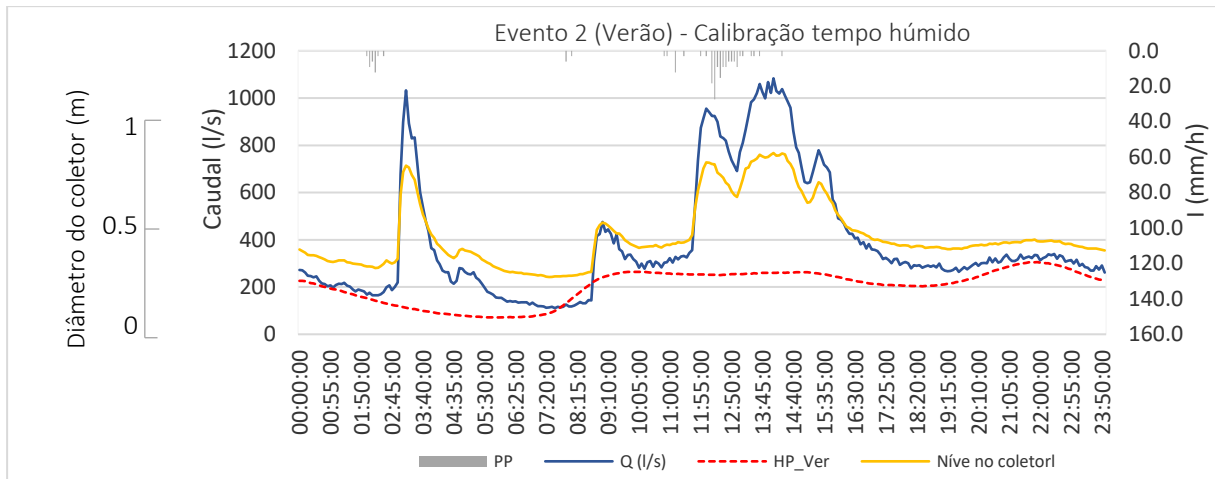


Figura E.12- Dados de caudal e precipitação relacionados com o evento 2 (verão) que auxiliam a calibração do terceiro troço da bacia da Lage em tempo húmido

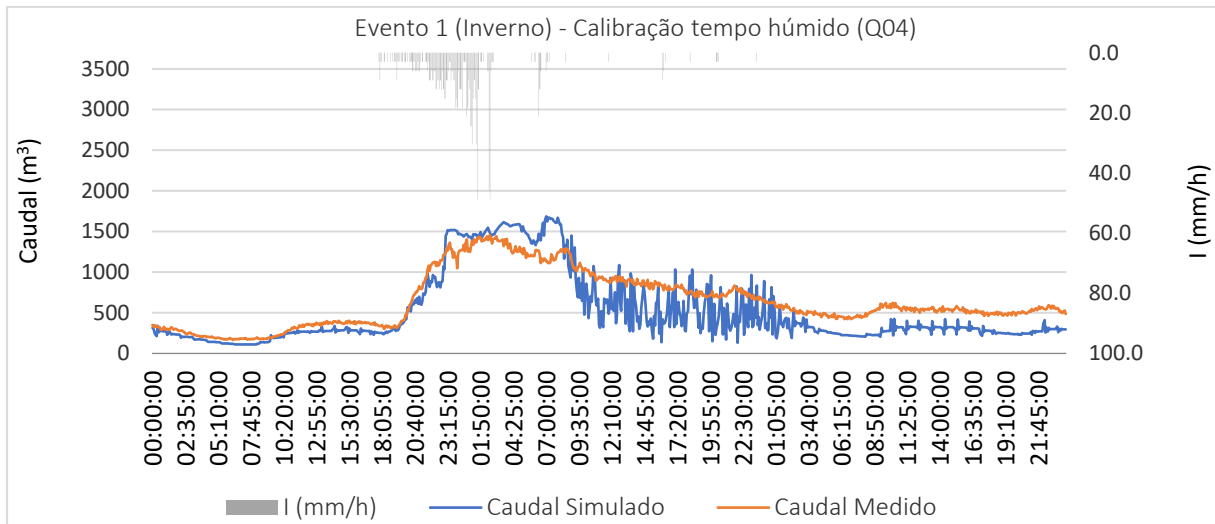


Figura E.13- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no terceiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido

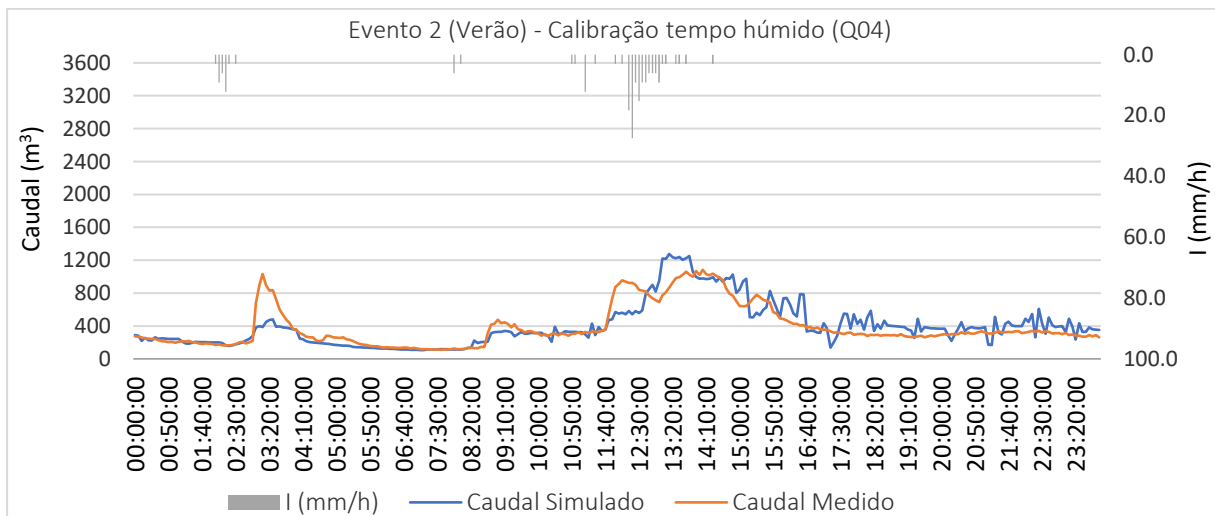


Figura E.14- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no terceiro troço da bacia da Lage, em tempo húmido

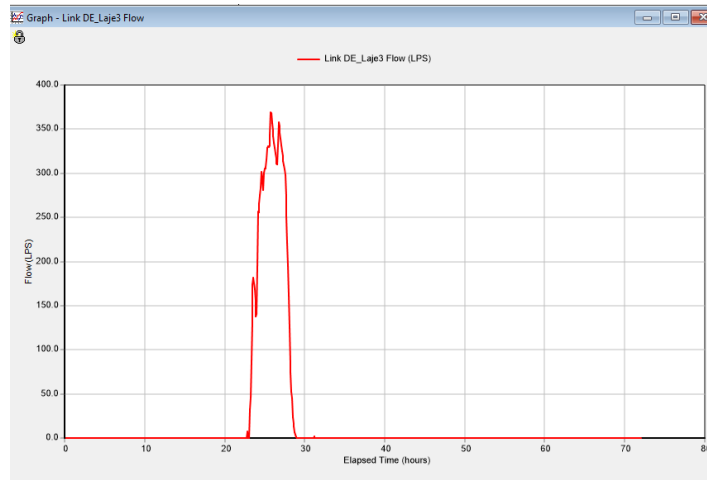


Figura E.15- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela terceira descarga de emergência durante o evento 1 (Inverno)

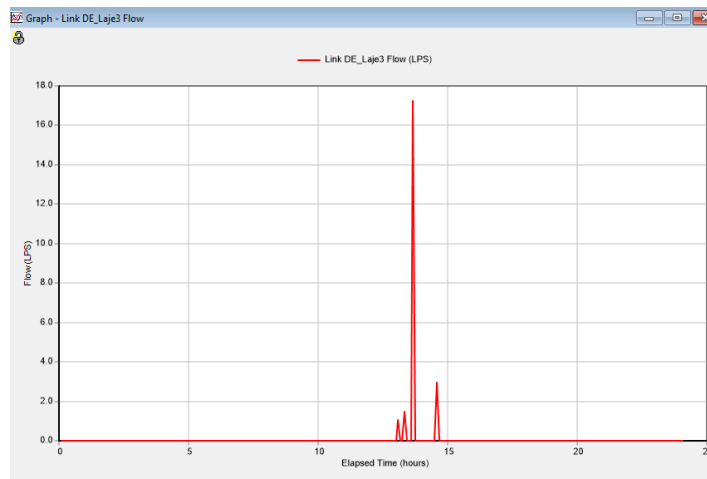


Figura E.16- Gráfico do SWMM relativo ao volume de caudal escoado pela terceira descarga de emergência durante o evento 2 (Verão)

#### 4. Calibração tempo húmido do quarto troço da bacia da Lage

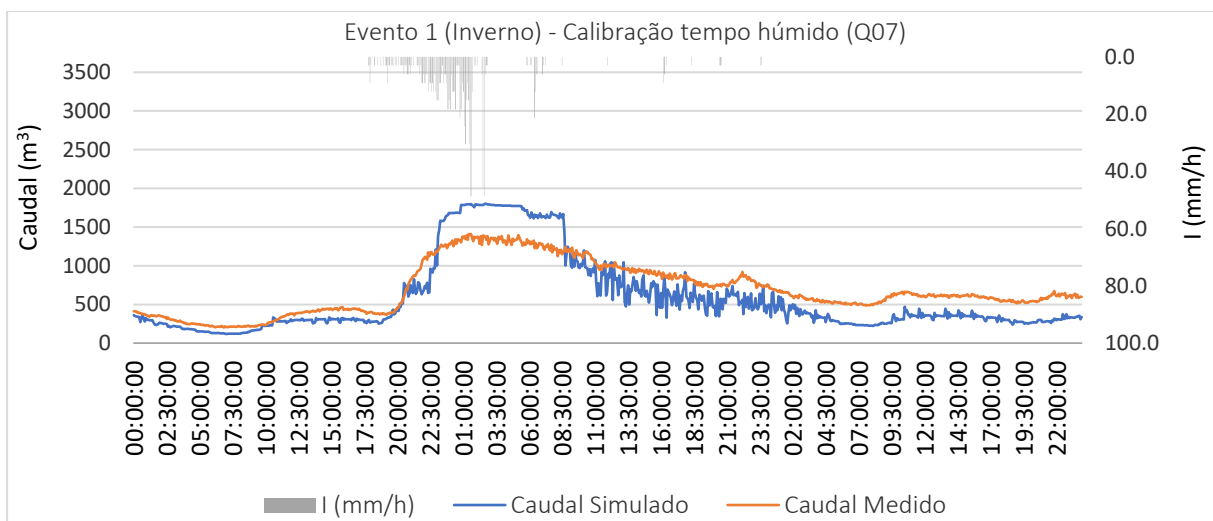


Figura E.17- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 1 no quarto troço da bacia da Lage, em tempo húmido

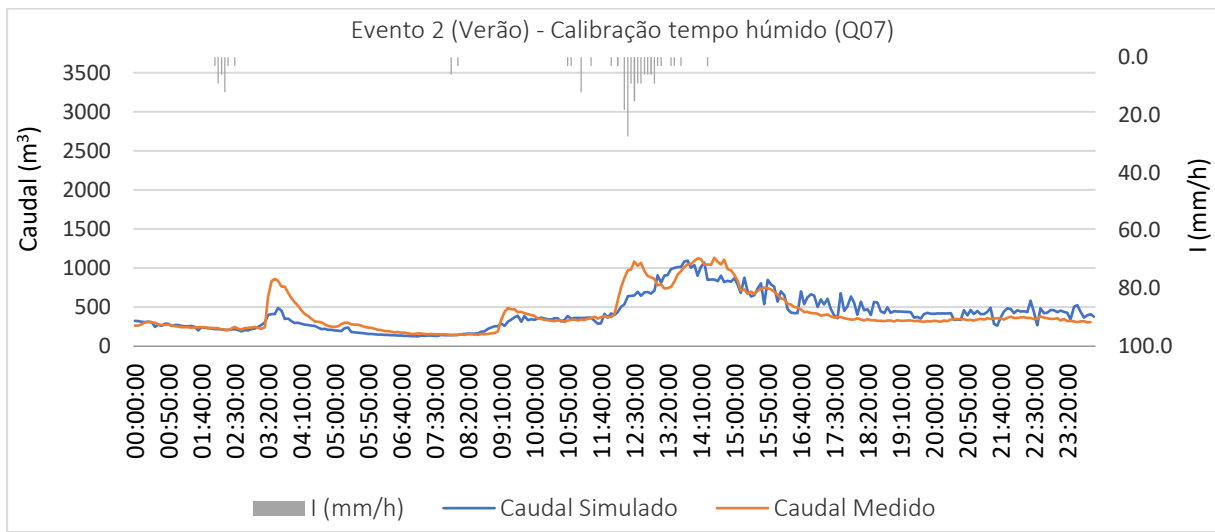


Figura E.18- Representação gráfica dos hidrogramas de simulação e medição, relativos à calibração do evento 2 no quarto troço da bacia da Lage, em tempo húmido



Quadro F.1- Excertos de valores de caudal obtidos nas diferentes zonas em análise através dos modelos de simulação, de tempo húmido dos eventos 1 e 2, com e sem a opção Rainfall/Runoff ativa

		Evento 1 (Inverno) - 17/01/15 a 19/01/15							
		Coletor MM1030.00A		Coletor VM0470.00A		Coletor LJ1120.00A		Coletor LJ2905.00A	
		Final Mem Martins (Q l/s)		Final Vale Mourão (Q l/s)		Após 1ªDescarga (Q l/s)		Final Lage (Q l/s)	
Dia	Hora	Com Rainfall	Sem Rainfall	Com Rainfall	Sem Rainfall	Com Rainfall	Sem Rainfall	Com Rainfall	Sem Rainfall
01/17/2015	00:00:00	10.48	9.28	29.78	29.04	196	188.74	359.09	307.21
01/17/2015	00:05:00	10.30	9.14	29.76	29.04	195.85	188.74	348.95	313.73
01/17/2015	00:10:00	10.14	9.01	29.74	29.04	195.7	188.74	346.48	307.04
(...)									
01/18/2015	08:45:00	34.65	3.76	38.68	15.68	830.23	127.37	1097.64	129.94
01/18/2015	08:50:00	33.28	3.77	38.11	15.68	788.68	129.64	1152.83	133.48
01/18/2015	08:55:00	32.86	3.77	36.98	15.68	784.82	129.47	1262.06	153.63

		Evento 2 (Verão) - 14/06/15							
		Coletor MM1030.00A		Coletor VM0470.00A		Coletor LJ1120.00A		Coletor LJ2905.00A	
		Final Mem Martins (Q l/s)		Final Vale Mourão (Q l/s)		Após 1ªDescarga (Q l/s)		Final Lage (Q l/s)	
Dia	Hora	Com Rainfall	Com Rainfall	Com Rainfall	Com Rainfall	Com Rainfall	Sem Rainfall	Com Rainfall	Sem Rainfall
06/14/2015	00:00:00	9.97	9.81	28.28	28.06	186.77	184.13	319.93	317.04
06/14/2015	00:05:00	9.56	9.4	28.27	28.06	186.73	184.13	323.63	312.15
06/14/2015	00:10:00	9.20	9.04	28.27	28.06	186.69	184.13	311.68	303.41
(...)									
06/14/2015	12:55:00	74.69	8.64	143.26	28.37	584.51	195.01	704.78	311.81
06/14/2015	13:00:00	76.79	8.64	139.28	28.37	690.08	195.01	724.57	296.71
06/14/2015	13:05:00	75.04	8.64	139.69	28.37	661.52	195.01	1010.63	296.4

Quadro F.2- Registo de dados de intensidade de precipitação das horas mais intensas de cada evento e respetivas médias

Evento 1 - dia 18/01/15		Evento 2 - dia 14/06/15	
Hora mais chuvosa	I (mm/h)	Hora mais chuvosa	I (mm/h)
00:40:00	3.0	12:15:00	18.3
00:45:00	21.3	12:20:00	27.4
00:50:00	18.3	12:25:00	9.1
00:55:00	9.1	12:30:00	15.2
01:00:00	12.2	12:35:00	9.1
01:05:00	24.4	12:40:00	9.1
01:10:00	30.5	12:45:00	6.1
01:15:00	15.2	12:50:00	6.1
01:20:00	9.1	12:55:00	6.1
01:25:00	15.2	13:00:00	9.1
01:30:00	30.5	13:05:00	3.0
01:35:00	48.8	13:10:00	3.0
01:40:00	12.2	13:15:00	0.0
Média I (mm/h)	19.2		9.4