

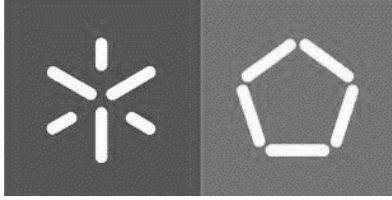


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

António Pereira da Silva

Sistema de Apoio à Decisão para a Gestão  
Operacional de Redes de Drenagem de  
Águas Residuais em Condições de Incerteza





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

António Pereira da Silva

**Sistema de Apoio à Decisão para a Gestão  
Operacional de Redes de Drenagem de  
Águas Residuais em Condições de Incerteza**

Tese de doutoramento  
Programa Doutoral em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação científica de:  
**Professor Doutor José Luís da Silva Pinho**

## DECLARAÇÃO

### DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

#### Licença concedida aos utilizadores



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## AGRADECIMENTOS

---

Gostaria de deixar, em primeiro lugar, um especial agradecimento ao Professor Doutor José Luís Pinho, orientador da presente tese pela sua exemplar orientação, no que concerne à sua recorrente disponibilidade e partilha de conhecimento. Agradeço ainda à empresa que me acolhe e que suportou este projeto de investigação, TRATAVE S.A. (Tratamento de Águas Residuais do Vale do Ave), pelo apoio incondicional, sendo este através de recursos financeiros, humanos e tecnológicos. Deixo um especial agradecimento aos engenheiros Rolando Faria (direção da gestão de clientes e intercetores) e Cláudio Costa (direção geral) pelo apoio prestado ao longo dos últimos cinco anos e ao colega José Bernardino (encarregado de clientes e intercetores) pela partilha da sua incomparável experiência e apoio nos trabalhos de campo. A todos os colegas que foram muito importantes no desenvolvimento deste estudo. O meu sincero agradecimento.

Não podia deixar de agradecer a todos os parceiros que foram apoiando em variadas ações ao longo desta caminhada, deixo o agradecimento aos colegas das construções Joaquim Gonçalves, ao Hélder Costa e demais colegas da Tecnilab, aos colegas da Tecnavé, Bombeiros Voluntários de Riba d'Ave, nomeadamente ao colega Salvador e por fim à Vórtice.

Um enaltecido agradecimento à minha esposa, por toda a resiliência, paciência, dedicação e apoio durante esta caminhada árdua.

Aos meus pais, que sempre se sacrificaram em prol da minha educação, o meu agradecimento eterno.

À minha irmã, cunhados, sobrinhos e sogra pela confiança e incentivo.

Aos meus padrinhos e demais família pelo carinho e conforto.

Por fim e indubitavelmente de crucial importância, um especial agradecimento à minha filha Leonor, pela alegria que tenho todos os dias apenas só de olhar para ela.

Muito obrigado a todos.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

---

A operação de sistemas de drenagem de águas residuais apresenta múltiplos desafios, incluindo garantir um transporte eficaz e seguro desde as habitações até à restituição dos efluentes tratados no meio ambiente. As instalações de tratamento de águas residuais da bacia do rio Ave localizadas a noroeste (NO) de Portugal são especialmente vulneráveis às infiltrações e afluências indevidas. Procedeu-se à implementação de uma vasta rede de monitorização, permitindo o conhecimento lato das reais condições de escoamento e assim otimizar a gestão operacional do sistema através do desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD) desenvolvido para o efeito. Os equipamentos de monitorização foram colocados em locais estratégicos para permitir uma melhor análise e toda a informação obtida pelos mesmos (em tempo real) está integrada em bases de dados e operada por um sistema SCADA. A presente tese, desenvolvida em ambiente empresarial, apresenta a estrutura concetual do SAD, a descrição das suas principais componentes e os resultados da sua aplicação na gestão operacional das infraestruturas. Tendo por base o sistema desenvolvido, é apresentada num primeiro grupo resultados dos trabalhos de campo que deram origem ao desenvolvimento do SAD. No segundo grupo abordam-se resultados das três principais componentes do SAD. No sistema de informação apresentam-se resultados do desenvolvimento do SIG, do SCADA e da plataforma Delft FEWS, no sistema de modelação apresentam-se resultados relativos ao modelo hidrológico e hidrodinâmico da bacia do rio Vizela, resultados do modelo hidrodinâmico da rede e o potencial impacto das descargas das ETAR na qualidade da água dos rios Vizela e Ave. No sistema de análise apresentam-se o desempenho das diferentes fontes de previsão de precipitações para diferentes horizontes temporais; uma estimativa dos volumes de infiltração durante os períodos húmidos; a identificação e localização das câmaras de visitas suscetíveis a derrames e ainda ligações desconhecidas ou clandestinas ao longo da rede; e, por fim; a definição de um controlador PID para um sistema de elevação de uma estação de tratamento de águas residuais, com base na medição em tempo real do nível do tanque de montante. O incremento no desempenho operacional da empresa responsável pela operação do sistema, obtido através do presente trabalho foi assinalável, tanto em termos económicos como em termos de proteção ambiental.

**Palavras-chave:** SAD, sistemas de saneamento de águas residuais, hidroinformática, modelação matemática, operação e controlo de infraestruturas hidráulicas.

## ABSTRACT

---

The operation of wastewater drainage systems presents multiple challenges, including ensuring effective and safe transportation from housing to the treated effluents discharge points in receiving water bodies. Wastewater treatment facilities located in Northwest (NW) of Portugal are especially vulnerable to infiltrations and undue inflows. A comprehensive monitoring network was installed, making available real time data of sewer network flow conditions which allows the operational management of the system by a decision support system (DSS) developed in this work. Several pipe and river discharges measurement devices were installed at strategic locations within the sewer network and integrated with a SCADA system responsible for its operation. The DSS was implemented using the Delft-FEWS platform, integrating monitoring data and models. This thesis, developed with the support of the company responsible for wastewater operation and management, presents the conceptual structure of the DSS, the description of its main components and the results of its application in the operational management of the main infrastructures. Considering the developed system, a first set of results related with the fieldwork that constitute the bases for the DSS implementation is presented. In a second group the three main DSS components are described. Information system includes data from the GIS (Geographic Information System), SCADA and Delft FEWS platforms development. Regarding the modeling system, results related to the hydrological and hydrodynamic model of the Vizela river basin, results of the hydrodynamic model of sewer system and the potential impact of wastewater treatment plant discharges on water quality of rivers Vizela and Ave are presented. The analysis system presents the performance of different precipitation forecasts for increasing forecast horizons; an estimate of infiltration volumes during wet periods; the identification and location of overflows manholes and unknown or clandestine connections throughout the network; and, finally, a PID controller for the pump station control based on real-time measurement of the upstream tank level. The operational performance of the wastewater company as greatly improved with the knowledge resulting from the DSS, both in terms of economic revenue and environment protection.

**Keywords:** DSS, wastewaters systems, hydroinformatic tools, mathematical modelling, hydraulics infrastructures operation and control.

# ÍNDICE

---

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIX
SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	XXI
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Motivação .....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Contribuição do trabalho de investigação .....	7
1.5 Estrutura da tese.....	7
<b>2. FERRAMENTAS PARA A AVALIAÇÃO DE AI EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....</b>	<b>10</b>
2.1 Enquadramento do trabalho com os objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas .....	10
2.2 Afluências Indevidas – enquadramento.....	13
2.2.1 Detecção de AI em SSAR.....	16
2.2.2 Perspetivas futuras na estratégia de deteção de AI .....	18
2.3 Tecnologias de Informação.....	19
2.3.1 Bases de Dados .....	21

2.4	Modelação Hidrológica e Hidrodinâmica .....	31
2.4.1	<i>Software</i> de Modelação Hidrológica, Hidrodinâmica e Qualidade da Água .....	35
2.5	Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) .....	47
2.5.1	Plataforma Delft-FEWS .....	53
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>56</b>
3.1	Caracterização da Área em Estudo .....	56
3.1.1	Levantamento Cadastral.....	59
3.1.2	Rede de Monitorização.....	70
3.1.3	Tecnologias utilizadas na implementação do SAD.....	84
3.1.4	Plataforma Delft-FEWS.....	85
3.1.5	Modelação das redes fluvial e de coletores.....	90
3.1.6	Modelação da qualidade da água.....	98
3.1.7	Conversão de dados do radar meteorológico da Meteogalicia em dados de precipitação 105	
3.1.8	Controlo em Tempo Real (RTC) de estruturas hidráulicas .....	108
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>110</b>
4.1	Resultados dos trabalhos de campo .....	111
4.1.1	Levantamento Cadastral .....	111
4.1.2	Implementação do Sistema de Monitorização.....	125
4.2	Resultados obtidos com o SAD implementado .....	142

---

4.2.1	Sistema de Informação .....	143
4.2.2	Sistema de Modelação .....	159
4.2.3	Sistema de Análise.....	187
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>212</b>
5.1	Conclusões .....	212
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	215
	<b>LISTA DE REFERÊNCIAS E RECURSOS WEB.....</b>	<b>216</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>230</b>
	Anexo 1 – Caudais normalizados a partir de padrões de tempo seco para os diferentes dias de semana – Intercetor de Nespereira. ....	230
	Anexo 2 – Caudais normalizados a partir de padrões de tempo seco para os diferentes dias de semana – Intercetor de Vizela (FD4+FD6).....	231
	Anexo 3 – Caudais normalizados a partir de padrões de tempo seco para os diferentes dias de semana – Intercetor do Ave. ....	232
	Anexo 4 – Simulação hidrodinâmica (9.0mm de precipitação) - Intercetor de Vizela.....	233
	Anexo 5 – Simulação hidrodinâmica (9.0mm de precipitação) - Intercetor do Ave. ....	234

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2-1: Objetivos para o desenvolvimento sustentável (UNRIC, 2019). .....	11
Figura 2-2: Registo de caudais escoados incluindo eventos de precipitação. ....	16
Figura 2-3: Principais fontes de informação utilizadas no trabalho desenvolvido. ....	23
Figura 2-4: Radar da Meteogalicia (Meteogalicia, 2016). ....	25
Figura 2-5: Vista de uma sala de controlo com écrans de um SCADA (DanielMiessler, 2016). ....	28
Figura 2-6: Componentes de um SIG (adaptado de Ferreira, 2016). ....	30
Figura 2-7: Exemplo de modelo implementado no programa SOBEK envolvendo uma rede de drenagem e uma rede fluvial (Deltares, 2017). ....	38
Figura 2-8: Programa HEC – RAS. Exemplo de resultados obtidos numa situação de cheia com ocorrência de inundações (TYC GIS, 2018). ....	39
Figura 2-9: Programa SWMM: exemplo de um modelo de uma rede de drenagem com vista parcial em planta e perfil de um coletor (MWMO, 2019). ....	42
Figura 2-10: Esquema de funcionamento do modelo hidrológico de Sacramento (Vieira e Pinho, 2014). ....	45
Figura 2-11: Componentes de um SAD. ....	52
Figura 2-12: Exemplo de vista principal da plataforma Delft-FEWS (RWI, 2017). ....	54
Figura 3-1: Frentes de drenagem do SIDVA geridas pela TRATAVE. ....	57
Figura 3-2: Âmbito espacial das infraestruturas do SIDVA. ....	58
Figura 3-3: Indicador de desempenho das AI por FD na rede explorada pela TRATAVE. ....	59
Figura 3-4: Equipamento DGPS Mobile Mapper 120 (Terra GES, 2017). ....	61



---

Figura 3-5: Metodologias utilizadas nas campanhas de atualização do cadastro da rede. ....	62
Figura 3-6: Levantamento topográfico na margem direita do Rio Ave. ....	63
Figura 3-7: Levantamento topográfico na margem esquerda do Rio Pelhe.....	63
Figura 3-8: Vegetação sobre câmaras de visita. ....	64
Figura 3-9: Trabalhos de desmatação. ....	65
Figura 3-10: Câmaras de visita localizadas em leito fluvial.....	65
Figura 3-11: Escavação para acesso a câmara de visita. ....	66
Figura 3-12: Características verificadas e atualizadas no levantamento cadastral.....	66
Figura 3-13: a) Instrumento para medição de diâmetro interno de coletores e b) Vareta extensível para medição de profundidades.....	67
Figura 3-14: Rede de interceptores sujeitos a levantamentos topográficos. ....	68
Figura 3-15: a) Tubagem amovível enterrada (ligação ilícita); b) Após desaterro de ligação indevida. ..	69
Figura 3-16: Detecção de câmara de visita com infiltração. ....	69
Figura 3-17: Estação meteorológica (PCE FWS, 2017). ....	72
Figura 3-18: Sensor SOFREL LT US (LACROIX Sofrel, 2016).....	74
Figura 3-19: Exemplo de medidor de caudal <i>Khrono Tidalflex</i> .....	75
Figura 3-20: Equipamento de medição <i>LaserFlow</i> (TELEDYNEISCO, 2018).....	76
Figura 3-21: Estruturas criadas para colocação de sensores de monitorização em interceptores. ....	77
Figura 3-22: Estrutura para colocação de sensores de monitorização em linhas de água. ....	77

Figura 3-23: a) Câmara de visita com instalação de canal <i>cutthroat</i> ; b) canal <i>cutthroat</i> antes da colocação na câmara de visita e c) exemplo de instalação de estação meteorológica. ....	78
Figura 3-24: Equipamento termográfico inserir rede (Fluke, 2019). ....	80
Figura 3-25: Arquitetura de comunicações. ....	81
Figura 3-26: a) Sinótico geral da rede de sensores e b) Seleção de sinótico individual (a vermelho)...	82
Figura 3-27: a) Designação de componentes do sinótico e b) Exemplo de relatório. ....	83
Figura 3-28: Componentes principais do SAD.....	85
Figura 3-29: Fontes de informação da plataforma Delft-FEWS: a) Rede de monitorização do SNIRH; b) Radar da Meteogalicia; c) Um dos modelos de previsão da NOAA - GFS; d) Modelo de previsão da Meteogalicia – WRF; e) SCADA PC WINII; f-i) Geração de dados e g) Câmaras de visita do modelo hidrodinâmico da rede intercetora.....	86
Figura 3-30: Interface gráfica da plataforma FEWS. ....	87
Figura 3-31: Dados de Radar Meteogalicia, Delft-FEWS.....	88
Figura 3-32: Procedimento para transferência de informação. ....	89
Figura 3-33: Transferência de informação por FTP. ....	89
Figura 3-34: Discretização espacial do modelo integrado de linhas de água e rede. ....	91
Figura 3-35: Perfis hidráulicos: a) um trecho do rio Vizela e b) intercetor de Nespereira. ....	92
Figura 3-36: Discretização espacial do modelo hidrológico. ....	93
Figura 3-37: Caracterização da bacia hidrográfica do Ave com a referência (a Vermelho) da localização do rio Vizela.....	94

---

Figura 3-38: Caracterização da bacia hidrográfica do Vizela em 8 sub bacias com referência para a localização da estação meteorológica instalada na EE de Lagoa e do equipamento de monitorização em Lordelo.....	95
Figura 3-39: Software RRL: formulário de seleção do modelo hidrológico.....	96
Figura 3-40: Séries temporais inseridas no RRL. ....	96
Figura 3-41: Resultados de entrada no SOBEK obtidos através do RRL, segundo o conceito Sacramento .....	98
Figura 3-42: a) Escoamento fluvial em janeiro de 2016 e b) Escoamento fluvial em janeiro 2017. ....	99
Figura 3-43: Enquadramento geográfico referenciando trechos em estudo.....	105
Figura 3-44: Implementação de um controlador PID para o sistema de elevação de entrada da ETAR de Lordelo.....	109
Figura 4-1: Extensões de rede em que foram realizados levantamentos topográficos e das características da rede de coletores. ....	113
Figura 4-2: Exemplo de perfil longitudinal de coletor caracterizado no âmbito do trabalho de levantamento de cadastro da rede.....	114
Figura 4-3: Extensões de rede em que foram detetadas anomalias.....	116
Figura 4-4: Exemplo de anomalia DEI identificada através dos resultados de monitorização contínua e posteriormente reparada. ....	117
Figura 4-5: Exemplo de câmara de visita soterrada.....	118
Figura 4-6: Desvio ao medidor de caudal com descarga em câmara a jusante.....	119

Figura 4-7: a) Fotografia do local de descarga, b) Termograma de local de descarga com seleção de malha retangular, c) Dados referentes à malha selecionada, d) Termograma tridimensional - vista superior, e) Termograma tridimensional - vista lateral e f) Termograma. ....	120
Figura 4-8: Exemplo de trabalhos de desmatação.....	122
Figura 4-9: a) Câmara de visita com infiltração, b) Infiltração reparada e de c) a f) Elevação de câmara de visita enterrada.....	123
Figura 4-10: a) e b) Câmara enterrada e c) a h) Elevação de câmara de visita. ....	123
Figura 4-11: a) a d) Levantamento de características da ligação irregular, e) a f) correção de ligação com canal à vista e g) a h) Colocação de medidor de caudal.....	125
Figura 4-12: Localização dos 66 medidores de caudal relativos a pontos de recolha municipais na fase inicial do projeto. ....	127
Figura 4-13: Localização dos 112 medidores de caudal em ramais de ligações industriais na fase inicial do projeto.....	129
Figura 4-14: Localização de equipamentos de medição de caudais instalados ao longo dos interceptores. ....	135
Figura 4-15: ZMC consideradas para efeitos de balanços de volumes escoados na rede em 2015. ..	137
Figura 4-16: ZMC consideradas para efeitos de balanços de volumes escoados na rede em 2018. ..	138
Figura 4-17: Locais das campanhas para obtenção de leis de vazão e estimação de coeficientes de rugosidade. ....	140
Figura 4-18: Lei de vazão obtida a partir dos resultados de medição da campanha 20.....	141
Figura 4-19: Exemplo com séries de registos de caudais e de precipitações – sensor instalado no interceptor de Nespereira e estação meteorológica da EE de Lagoas. ....	142
Figura 4-20: Exemplo de mapa relativo a infraestruturas operadas pela TRATAVE. ....	144

---

Figura 4-21: Rede interceptora da FD5 (amarelo), FD4 (vermelho), FD6 (azul) e FD9 (verde). .....	145
Figura 4-22: a) Aplicativo QField , b) mapa da rede no aplicativo, c) seleção de ativo específico, d) aproximação ao ativo e e) visualização do ativo com recurso a ortofotomapa. ....	147
Figura 4-23: a) Escolha de ativo a atualizar, b) ativar ferramenta de atualização e c) escolha de atributo a atualizar (diâmetro).....	148
Figura 4-24: a) Geolocalização, b) Ativar ferramentas de medição e c) Medição de distância ao ativo. ....	149
Figura 4-25: Quadro sinótico geral da SCADA.....	150
Figura 4-26: Ativação de módulo alarmístico. ....	152
Figura 4-27: Processamento de dados na plataforma FEWS. a) Dados radar com visualização interativa, b) gráfico de dados relativos à refletividade em Lordelo e c) conversão da refletividade em precipitação. ....	153
Figura 4-28: Processamento de dados na plataforma FEWS. a) Dados de previsão através do modelo WRF para Lordelo, b) dados de previsão através do modelo GFS para Lordelo e c) Dados de previsão através do modelo GEFS para Lordelo.....	155
Figura 4-29. Interface gráfica da FEWS com dados de previsão. ....	156
Figura 4-30: Exemplo de geração de dados: a) Caudais do rio Vizela, b) caudais de Lordelo, c) previsão WRF - Lordelo, d) precipitação radar - Lordelo, e) previsão GFS - Lordelo e f) previsão GEFS – Lordelo. ....	157
Figura 4-31: Importação de dados de fontes de informação externas. ....	158
Figura 4-32: Séries temporais de dados utilizadas no programa RRL para calibração automática do modelo hidrológico de Sacramento da bacia do Rio Vizela. ....	160
Figura 4-33: Programa RRL: valores simulados versus observados. ....	160

Figura 4-34: Modelo hidrodinâmico dos rios da bacia do rio Ave com inclusão do modelo hidrológico da sub bacia do rio Vizela. ....	162
Figura 4-35: Níveis simulados e observados com resolução horária. ....	162
Figura 4-36: Validação do modelo hidrológico: níveis observados e simulados. ....	163
Figura 4-37: Características do descarregador, a) Localização, b) secção transversal, c) perfil longitudinal, d) estimativa de caudal com $H=0.22m$ e e) estimativa de caudal com $H= 1.20m$ . ....	166
Figura 4-38: Relação caudal medido com estimado. ....	167
Figura 4-39: a) Modelo hidrodinâmico da rede e b) Modelo hidrodinâmico referente às FD4 e FD6 com referência dos 10 pontos de calibração. ....	169
Figura 4-40: a) Localização do interceptor de Nespereira (a vermelho) e b) Relação nível medido com o simulado. ....	171
Figura 4-41: a) Localização do interceptor do Vizela (a vermelho) e b) Relação nível medido com o simulado. ....	172
Figura 4-42: a) Localização do interceptor do Ave (a vermelho) e b) Relação nível medido com o simulado. ....	173
Figura 4-43: Trechos fluviais de avaliação do impacto das descargas das ETAR. ....	176
Figura 4-44: Concentrações de $CBO_5$ afluentes às ETAR. ....	177
Figura 4-45: Simulação referente aos cenários 1 a 3, a cerca de 5.63km do local da descarga, a) cenário 1, b) cenário 2 e c) cenário 3. ....	179
Figura 4-46: Simulação referente aos cenários 4 a 6, a cerca de 5.63km do local da descarga, a) cenário 4, b) cenário 5 e c) cenário 6. ....	180
Figura 4-47: Simulação referente aos cenários 7 a 9, a cerca de 7.35km do local da descarga, a) cenário 7, b) cenário 8 e c) cenário 9. ....	182

---

Figura 4-48: Simulação referente aos cenários 10 a 12, a cerca de 7.35km do local da descarga, a) cenário 10, b) cenário 11 e c) cenário 12. ....	183
Figura 4-49: Simulação referente aos cenários 13 a 15, a cerca de 6km da ETAR de Lordelo e 7.61km de Serzedelo, a) cenário 13, b) cenário 14 e c) cenário 15.....	185
Figura 4-50: Simulação referente aos cenários 16 a 18, a cerca de 6km da ETAR de Lordelo e 7.61km de Serzedelo, a) cenário 16, b) cenário 17 e c) cenário 18.....	186
Figura 4-51: Comparação de valores de precipitação medidos na ETAR de Serzedelo com os valores estimados a partir de dados de radar operado pela Meteogalicia. ....	189
Figura 4-52: Evolução dos erros associados às previsões de precipitação. Comparação entre dados medidos e previstos – a) horizonte 1 dia de previsão, b) horizonte 2 dias de previsão, c) horizonte 3 dias de previsão e d) horizonte 4 dias de previsão. ....	190
Figura 4-53: Evolução do erro relativo em função do horizonte de previsão (%) a) modelo WRF b) modelo GFS c) modelo GEFS. ....	193
Figura 4-54: Valor médio dos caudais transportados durante períodos com ocorrência de precipitação e em períodos de tempo seco.....	195
Figura 4-55: Média de caudais horários para diferentes dias da semana, a) Intercetor de Nespereira e b) Intercetor do Ave. ....	197
Figura 4-56: Média de caudais horários para diferentes dias da semana, a) Intercetor de Vizela FD4 e b) Intercetor de Vizela FD6.....	198
Figura 4-57: Distribuição de caudais por dia da semana.....	199
Figura 4-58: Evolução típica do caudal no Intercetor de Nespereira durante a sexta-feira em tempo seco a) Padrão para tempo seco e b) Perfil normalizado de caudal em tempo seco para o intercetor de Nespereira. ....	200

Figura 4-59: Detecção de ligações ilícitas através de padrões horários normalizados para os diferentes dias da semana. ....	202
Figura 4-60: Precipitação e volumes infiltrados acumulados durante dois períodos intensos de precipitação ocorridos no Intercetor do Ave. ....	203
Figura 4-61: Simulação hidrodinâmica - Nespereira: a e c) simulação em cenário de 9mm ocorridos numa hora – ‘ <i>status quo</i> ’, identificando um ponto de derrame através do SWMM (a) e Sobek (c) e em b e d) dimensionamento de um tanque de armazenamento, evitando derrames (SWMM (b) e Sobek (d)). .....	206
Figura 4-62: Esquema concetual do problema de controlo analisado. ....	208
Figura 4-63: Resultados do controlador PI comparativamente com operação manual. ....	210



## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela 2-1: Tipos de SGBD.....	22
Tabela 3-1: Parâmetros Sacramento (CRC, 2004).....	97
Tabela 3-2: Valores típicos de K1 (20°C).....	101
Tabela 3-3: Valores médios típicos de K2 (20°C).....	102
Tabela 3-4: Valores de K2 (de O'Connor & Dobbins, 1958; Churchill <i>et al.</i> , 1962 e Owens <i>et al.</i> , 1964). .....	103
Tabela 3-5: Equações de conversão da refletividade para intensidade de precipitação.....	107
Tabela 4-1: Síntese relativa ao levantamento e atualização do cadastro .....	112
Tabela 4-2: Síntese com resultados de número de anomalias identificadas por frente de drenagem e tipologia .....	115
Tabela 4-3: Correções de anomalias. ....	121
Tabela 4-4: Equipamentos de medição instalados em pontos de recolha municipais.....	127
Tabela 4-5: Equipamentos de medição instalados em clientes industriais. ....	130
Tabela 4-6: Dataloggers instalados em medidores de caudal industriais e municipais. ....	133
Tabela 4-7: Equipamentos de monitorização instalados em diferentes trechos de rede. ....	136
Tabela 4-8: Leis de vazão estimados a partir dos resultados de campanhas realizadas com equipamento de medição móvel .....	139
Tabela 4-8: Leis de vazão estimados a partir dos resultados de campanhas realizadas com equipamento de medição móvel (continuação).....	140
Tabela 4-9: Número de elementos por entidades e FD existentes no SIG. ....	145

Tabela 4-10: Resultados dos parâmetros de Sacramento obtidos com o programa RRL. ....	161
Tabela 4-11: Métricas de avaliação de desempenho do modelo hidrológico/hidrodinâmico do rio Vizela na simulação do período de validação.....	163
Tabela 4-12: Resultados de caudais medidos e simulados e valores de <i>Cd</i> . ....	168
Tabela 4-13: Modelo hidrodinâmico da rede – Coeficiente de rugosidade. ....	170
Tabela 4-14: Métricas estatísticas referentes ao modelo hidrodinâmico referente ao interceptor de Nespereira .....	172
Tabela 4-15: Métricas estatísticas referentes ao modelo hidrodinâmico referente ao interceptor de Vizela. ....	173
Tabela 4-16: Métricas estatísticas referentes ao modelo hidrodinâmico referente ao interceptor do Ave. ....	174
Tabela 4-17: Cenários de simulação no trecho 1 para caudais fluviais e desempenho da ETAR de Lordelo .....	178
Tabela 4-18: Cenários de simulação no trecho 2 para caudais fluviais e desempenho da ETAR 2. ...	181
Tabela 4-19: Cenários de simulação no trecho 2 para caudais fluviais e desempenho da ETAR 1 e 2. ....	184
Tabela 4-20: Métrica relativas à comparação entre valores de precipitação inferidos de dados de radar meteorológico com valores medidos na estação de Serzedelo. ....	189
Tabela 4-21: Comparação entre dados de precipitação medidos com previsões de precipitação de modelos atmosféricos em 14 cenários distintos. ....	191

## SIGLAS E ACRÓNIMOS

---

AFWA – **A**ir **F**orce **W**eather **A**gency

AI – **A**fluências **I**ndevidas

APN – **A**ccess **P**oint **N**ame or **N**etwork

ARMA – **A**uto**R**egressive **M**oving **A**verage

ASCII – **A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange

AWBM – **A**ustralian **W**ater **B**alance **M**odel

BD – **B**ases de **D**ados

CBO – **C**arência **B**ioquímica de **O**xigênio

CCTV – **C**losed-**C**ircuit **T**ele**V**ision

CF – **C**oliformes **F**ecais

CFS – **C**limate **F**orecast **S**ystem

CFSR – **C**limate **F**orecast **S**ystem **R**eanalysis

CFSRR – **C**limate **F**orecast **S**ystem **R**eanalysis and **R**eforcasting

CSV – **C**omma-**S**epareted **V**alues

DBM – **D**ata**B**ase **M**arketing

DGPS – **D**iferential **G**lobal **P**ositioning **S**ystem

DM – **D**ata **M**ining

DW – **D**ata **W**arehouse

DWF – **D**esign **W**eb **F**ormat

EE – **E**stação **E**levatória

EGNOS – **E**uropean **G**eostationary **N**avigation **O**verlay **S**ervice

EIS – **E**xecutive **I**nformation **S**ystems

ENASB – **E**ncontro de **E**ngenharia **S**anitária e **A**mbiental

ENEG – **E**ncontro **N**acional de **E**ntidades **G**estoras

ERP – Enterprise Resource Planing

ERSAR – Entidade Reguladora de Serviços de Água e Resíduos

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FAA – Federal Aviation Administration

FD – Frente de Drenagem

FFD – Ferro Fundido Dúctil

FTP – File Transfer Protocol

FEWS – Flood Early Warning System

GEFS – Global Ensemble Forecast System

GENS – Global ENSemble

GFS – Global Forecast System

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPRS – General Packet Radio Services

GSM – Global System for Mobile Communications

GRIB – GRIdded Binary

GUI – Graphical User Interface

HEC – HMS – Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System

HEC – RAS – Hydrologic Engineering Center – River Analysis System

IA – Inteligência Artificial

I&I – Infiltration & Inflow

INAG – Instituto Nacional da Água

IP – Internet Protocol

IWA – International Water Association

M2M – Machine-to-Machine

MPC – Model Predictive Control

MM120 – Mobile Mapper 120

NASA – **N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration

NCAR – **N**ational **C**enter for **A**tmospheric **R**esearch

NCEI – **N**ational **C**enters for **E**nvironmental **I**nformation

NCEP – **N**ational **C**enter for **E**nvironmental **P**rediction

NOAA – **N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration

NRL – **N**aval **R**esearch **L**aboratory

OLAP – **O**n**L**ine **A**nalytic **P**rocessing

OLTP – **O**n**L**ine **T**ransaction **P**rocessing

OMC – **O**rganização **M**undial de **C**omércio

PENSAAR – **P**lano **E**stratégico de **A**bastecimento de **Á**gua e **S**aneamento de **Á**guas **R**esiduais

PIB – **P**roduto **I**nterno **B**ruto

PID – **P**roportional **I**ntegral **D**erivative

RADAR – **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging

RRL – **R**ainfall-**R**unoff **L**ibrary

RTC – **R**eal-**T**ime **C**ontrol

RTK – **R**eal-**T**ime **K**inematic

OU – **O**klahoma **U**niversity

SAD – **S**istema de **A**poio à **D**ecisão

SBAS – **S**atellite-**b**ased **A**ugmentation **S**ystem

SCADA – **S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition

SI – **S**istemas de **I**nformação

SIG – **S**istema de **I**nformação **G**eográfica

SBD – **S**istemas de **B**ases de **D**ados

SGBD – **S**istemas de **G**estão de **B**ases de **D**ados

SIDVA – **S**istema **I**ntegrado de **D**espolição do **V**ale do **A**ve

SQL – **S**tructured **Q**uery **L**anguage

SWMM – **S**torm **W**ater **M**anagement **M**odeling

SNIRH – **S**istema **N**acional de **I**nformação de **R**ecursos **H**ídricos

SSAR – **S**istema de **S**aneamento de **Á**guas **R**esiduais

THREDDS – **T**hematic **R**ealtime **E**nvironmental **D**istributed **D**ata **S**ervice

TI – **T**ecnologias de **I**nformação

TRATAVE – **T**RATAm<sup>o</sup> de **Á**guas **R**esiduais do Vale do **A**VE

USACE – **U**nited **S**tates **A**rmy **C**orps of **E**ngineering

USEPA – **U**nited **S**tates **E**nvironmental **P**rotection **A**gency

WAAS – **W**ide **A**rea **A**ugmentation **S**ystem

WCS – **W**eb **C**overage **S**ervice

WFS – **W**eb **F**eature **S**ervice

WRF – **W**eather **R**esearch and **F**orecasting

XML – **e**Xtensible **M**arkup **L**anguage

ZMC – **Z**ona de **M**edição e **C**ontrolo

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO

---

### 1.1 Enquadramento

A água tem-se projetado como tema central na agenda política mundial, face aos desafios relacionados com a sua escassez e à ocorrência de eventos extremos tais como seca e inundações (Lima *et al.*, 2010).

Os sistemas de saneamento de águas residuais (SSAR) são responsáveis pelo transporte de efluentes domésticos e industriais e, em alguns casos (sistemas unitários), de águas pluviais para infraestruturas ambientais, onde são tratados antes de serem devolvidos ao meio ambiente (Puig, 2009). Uma gestão operacional eficiente destes sistemas e das respetivas instalações de tratamento constitui um aspeto fundamental para evitar descargas não controladas de poluentes no meio ambiente e derrames que apresentam impactos económicos, sociais e ambientais consideráveis (Joseph-Duran *et al.*, 2014).

De uma forma geral, as aflúncias aos sistemas de drenagem de águas residuais estão sujeitas a uma grande incerteza. Este aspeto tem manifestamente impacto nas condições de escoamento e na eficiência dos tratamentos. A problemática das aflúncias indevidas (AI), é inequivocamente uma das maiores preocupações das entidades gestoras responsáveis pelas infraestruturas de drenagem e tratamento de águas residuais.

As AI, pelos caudais elevados que originam, acarretam uma redução na eficácia dos sistemas de SAR. Estas situações podem conduzir a múltiplos problemas nos sistemas de drenagem, como sejam, a entrada da rede em carga, com possível derrame para ruas ou linhas de água, incapacidade de bombagem em estações elevatórias (EE), diminuição da eficiência das estações de tratamento e aumento das descargas de emergência, com os inerentes problemas de poluição (Amorim 2007, Cardoso 2005 e Fletcher *et al.* 2013). Implicam ainda um aumento dos custos unitários de tratamento e transporte,

essencialmente devido ao aumento dos custos com energia, manutenção e operação de equipamentos, reduzindo-se a eficiência global do sistema.

A degradação das características das infraestruturas de drenagem cria diversos problemas operacionais que se repercutem na diminuição da capacidade de transporte e tratamento instalados. É ainda de enfatizar que as grandes extensões destes sistemas dificultam a sua monitorização contínua. No entanto, é imperativo melhorar o desempenho operacional destas infraestruturas através de metodologias baseadas na sua digitalização e monitorização suportada por redes de sensores adequados e tecnologias hidroinformáticas avançadas.

O desenvolvimento urbano nas últimas décadas foi acompanhado por um elevado crescimento das redes de infraestruturas de saneamento básico. A construção de sistemas ou remodelação dos existentes são precedidos da elaboração de projetos que exigem a execução do seu cadastro que deverá ser permanentemente atualizado e fidedigno. Com os desenvolvimentos tecnológicos mais recentes, surgem os sistemas de informação capazes de incorporar a componente espacial, permitindo melhorias no planeamento e gestão dos sistemas.

A correta monitorização e controlo das condições de escoamento, isto é, o conhecimento da propagação do fluxo nas tubagens são fulcrais para se conseguir detetar as AI, pelo que se torna necessária a instalação de equipamentos de medição que permitam monitorizar as condições de escoamento em diferentes trechos da rede.

Ao nível do setor das infraestruturas de drenagem de águas residuais, são objetivos comunitários e nacionais promover a fiabilidade, eficácia e eficiência dos sistemas, conferindo a sustentabilidade do setor, conforme está patente no programa de apoio financeiro em curso designado de Portugal2020. O PensaAR 2020 (Plano Estratégico de Abastecimento de Água e saneamento de Águas Residuais) procura promover políticas que fomentem a mitigação de AI e utilização de sistemas de previsão e gestão operacional que permitam gerir as infraestruturas durante eventos extremos. Portanto, o setor defronta-se com novos desafios que requerem uma estratégia voltada para um novo paradigma, focalizada na gestão eficiente dos seus recursos.

Com efeito, é cada vez maior o interesse nacional e internacional em desenvolver e aplicar metodologias de gestão operacional de sistemas de drenagem. É premente a implementação de



estratégias e metodologias de controlo, operação e gestão de forma a debelar a problemática das AI dos SAR.

As metodologias aplicadas para resolver a problemática das AI (por exemplo, Pereira *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018 a,b e Pereira *et al.*, 2019 a,b) incluem a aplicação de modelos hidrodinâmicos em ambientes urbanos, com base em dados de caudais que em muitos casos não são medidos, mas estimados. Diversos autores (Butler e Schutze, 2005; Fletcher *et al.*, 2013; Lowe *et al.*, 2016 e Pereira *et al.*, 2019 a, b) desenvolveram modelos de simulação avançados e detalhados para possibilitar a identificação de propriedades dos sistemas de drenagem que mais influenciam o processo de infiltração em diferentes cenários meteorológicos.

A modelação hidráulica das redes de drenagem constitui uma ferramenta de enorme potencialidade para auxílio à sua gestão operacional (Amorim, 2007; Beven, 1993; Beven, 2001; Butts *et al.*, 2004; Cândido, 2013; Moreira, 2005, Pereira *et al.*, 2017 e Pereira *et al.*, 2019 a, b). É possível, com dados cadastrais idóneos, obter através da modelação hidráulica um conhecimento do comportamento do escoamento nas redes de drenagem, permitindo obter informação de elevada resolução temporal e espacial em redes de geometria complexa. A modelação permite obter um conhecimento mais detalhado do funcionamento do sistema, e ainda, identificar insuficiências e disfunções de natureza hidráulica. Essas ferramentas podem ser usadas para resolver um vasto número de problemas operacionais (Corominas *et al.*, 2010).

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 (Ferreira, 2014).

Drake *et al.* (2009) apresentam a sua experiência no sistema SAR de Lowell, onde foi instalado um sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que em tempo real, permite adotar medidas que reduzem os impactos das AI no SAR.

Gatterdam e Johnson (2016) descrevem os esforços realizados na otimização operacional no maior SAR da região de Cincinnati, para reduzir custos associados a extravasamentos de efluentes tendo como suporte um sistema SCADA baseado em quatro eixos: recolha automática de dados da rede, visualização dos mesmos em tempo real, possibilidade de controlar caudais descarregados em períodos

de precipitação intensa e por fim aplicação de algoritmos de forma a otimizar a gestão operacional do sistema.

Isacson (2019) utiliza dados obtidos em tempo real com o suporte de um SCADA para alimentar dois modelos de *machine learning*.

Neste trabalho, foi implementado um SCADA que integra dados de monitorização em tempo real em diferentes trechos de rede. Foi aplicado um sistema de regras, tendo como suporte os níveis de lâmina líquida e caudais estimados, permitindo ao operador do sistema uma melhor gestão em função de regras preconizadas no mesmo, disseminadas por diferentes percentis.

Existe um interesse crescente (Joseph-Duran *et al.*, 2014; Lowe *et al.*, 2016 e Pinho e Vieira, 2014) em desenvolver e aplicar metodologias de gestão operacional de recursos hídricos, especialmente utilizando ferramentas de controlo em tempo real (RTC) (Fuchs e Beeneken, 2005; Lowe *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2018 a,b; Pereira *et al.*, 2019 a,b; Puig, 2009; Shishegar *et al.*, 2018 e Van Daal-Rombouts *et al.*, 2016;).

As condições meteorológicas, nomeadamente as previsões de curto e médio termo através de modelos atmosféricos robustos, são de extrema importância para os processos de suporte à decisão e estão cada vez mais a ser utilizados (Butler e Schutze, 2005; Fletcher *et al.*, 2013, Joseph-Duran *et al.*, 2014 e Pereira *et al.*, 2019 c) e em constante desenvolvimento. No entanto, em Portugal, a gestão operacional de águas residuais e pluviais baseada em ferramentas avançadas hidroinformáticas é ainda pouco explorada, existindo um atraso na aplicação destas metodologias em relação a alguns países que já as adotam. De referir que em termos académicos, a nível nacional, tem-se assistido a avanços extremamente representativos, não obstante, as entidades gestoras mostram-se resistentes à sua utilização nas práticas de operação das suas infraestruturas.

Os sistemas de apoio à decisão (SAD) contribuem para uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis. Constituem ferramentas que facilitam a integração do conhecimento disponível sobre sistemas de elevada complexidade, permitindo uma tomada de decisão suportada por dados atualizados e resultados de modelos hidrodinâmicos e de qualidade de água (Pinho *et al.*, 2011).

## 1.2 Motivação

O SIDVA é especialmente vulnerável à infiltração de águas freáticas/pluviais uma vez que apresenta extensões consideráveis de coletores instalados em leitos fluviais. A gestão operacional deste sistema complexo envolve variáveis de decisão como a seleção da ETAR onde serão tratados os efluentes recolhidos, com implicações nos volumes a elevar e consequentemente nos consumos de energia, as ações de reparação após eventos de precipitação intensa, a decisão sobre volumes a descarregar para as linhas de água sem tratamento em situações extremas e ainda, para além das aflúncias naturais indevidas, a identificação de afluentes que resultam de ligações não cadastradas. Este conjunto de problemas relacionados com a gestão operacional de um dos sistemas de recolha e tratamento de águas residuais mais complexos a nível nacional, constituíram a motivação para a realização deste trabalho inovador suportado por ferramentas hidrodinâmicas avançadas.

O trabalho foi desenvolvido em ambiente empresarial, na TRATAVE, empresa com maior responsabilidade no tratamento de águas residuais na bacia do rio Ave que opera e gere uma rede de interceptores que se desenvolve ao longo de 126 km. Esta rede de drenagem integra um sistema SAR em “alta”, com uma componente em baixa no caso de clientes industriais e encontra-se dividida em quatro frentes de drenagem (FD) (a designação interna das frentes de drenagem é: FD4, FD5, FD6 e FD9) e inclui cinco ETAR: Serzedelo I, Serzedelo II, Lordelo, Rabada e Agra.

Definiu-se e implementou-se um SAD, tendo por base a infraestrutura em operação que foi especificamente dotada de uma vasta rede de sensores de monitorização. Estes sensores foram instalados no âmbito do presente trabalho, tendo vindo a permitir a geração de uma base de dados muito alargada, única no país e rara em termos internacionais. Deste modo, criaram-se as condições necessárias para a produção de conhecimentos e ferramentas inovadoras no domínio da hidrodinâmica, assim como na investigação de questões específicas relacionadas com hidrologia, drenagem e controlo em tempo real de infraestruturas hidráulicas.

Os resultados conseguidos têm vindo a garantir um melhor desempenho na operação das infraestruturas de drenagem e tratamento de águas residuais no SIDVA. Melhorou-se a gestão dos caudais transportados pelos interceptores, considerando as capacidades de tratamento instaladas nas ETAR. O âmbito espacial correspondeu a toda a extensão da rede interceptora, tendo como principal foco

as FD4 e FD6, sendo estas consideradas as bacias prioritárias por contemplar o maior rácio caudal tratado/caudal faturado, ou seja, detêm o pior indicador de desempenho relativamente às AI.

A nível internacional (Butler e Schutze, 2005; Fletcher *et al.*, 2013; Joseph-Duran *et al.*, 2014 e Ocampo-Martinez *et al.*, 2013), tem-se investido na construção de modelos de simulação mais avançados e detalhados, que permitem entender melhor o processo de escoamento e tornem possível identificar as propriedades estruturais dos sistemas que mais influenciam o processo de infiltração em diferentes cenários meteorológicos.

As condições meteorológicas, nomeadamente previsões a curto, médio e longo termo através de modelos robustos são de extrema importância para processos de tomada de decisão e estão cada vez mais a ser utilizados a nível internacional (Hamil *et al.*, 2014; Lowe *et al.*, 2016; Pasqual *et al.*, 2016 e Quadro *et al.*, 2012) e em constante desenvolvimento. Não obstante, em Portugal ainda é algo pouco explorado em sistemas de drenagem e como corolário, o nível de conhecimento ainda está aquém do que está disponível noutros países, nomeadamente nos Estados Unidos da América (Martens *et al.*, 2016), Dinamarca (Lowe *et al.*, 2016) e Áustria (Fuchs e Beeneken, 2005). O trabalho desenvolvido é, assim, um dos trabalhos pioneiros a utilizar previsões de curto termo na gestão operacional de infraestruturas de drenagem. A partir do caso de estudo selecionado que envolve um sistema manifestamente complexo (nomeadamente por se localizar preponderantemente em leito fluvial e drenar grandes volumes de efluentes, ultrapassando os quarenta milhões de m<sup>3</sup> anuais, de caudal industrial e doméstico), aplicam-se metodologias e ferramentas inovadoras para uma melhor gestão operacional de infraestruturas de drenagem.

### 1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho centra-se no desenvolvimento e aplicação de ferramentas hidroinformáticas para apoio à gestão operacional de sistemas de drenagem de águas residuais suscetíveis a AI. Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliação dos processos hidrológicos mais relevantes para geração de aflúências indevidas e infiltrações em sistemas de SAR. Foi dada particular atenção quer ao escoamento subterrâneo quer ao escoamento fluvial;

- Implementação de um protótipo de SAD com base na plataforma Delft-FEWS que permite integrar os dados de monitorização, os resultados de modelos e os indicadores de desempenho operacional das infraestruturas.

#### **1.4 Contribuição do trabalho de investigação**

O principal contributo deste trabalho de investigação foi o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão na gestão operacional de um sistema de drenagem e tratamento relativamente complexo na bacia do rio Ave. Definiu-se e instalou-se uma rede de monitorização suportada pelas tecnologias mais recentes, desenvolveram-se ferramentas hidroinformáticas focadas na rede de drenagem de águas residuais, nas instalações de tratamento e integrando o sistema fluvial.

Utilizaram-se métodos específicos desenvolvidos no âmbito deste trabalho para monitorização de caudais, instalou-se uma rede de monitorização, única no país e rara em termos internacionais, gerando assim dados contínuos que permitem caracterizar o comportamento do sistema de drenagem.

Procedeu-se ao ajuste dos parâmetros da equação da refletividade (Marshall-Palmer) obtida através de radar meteorológico para estimativa de valores de precipitação para diferentes pontos da bacia do rio Ave.

Realizou-se uma análise à evolução da incerteza associada a previsões de três modelos atmosféricos com horizontes de previsão de quatro dias.

Definiu-se um controlador PID para um sistema de elevação de uma ETAR, permitindo uma gestão mais eficiente de caudais, com base na medição em tempo real do nível do tanque de montante da ETAR de Lordelo.

Desenvolveu-se um modelo hidrodinâmico e de qualidade da água que integra a rede de drenagem, as estações de tratamento, o rio Ave e seus afluentes, permitindo análises de elevadas resoluções espaciais e temporais.

#### **1.5 Estrutura da tese**

A presente tese contempla cinco capítulos, sendo que no **primeiro capítulo** se apresenta a introdução ao trabalho, focando de uma forma sintética, os principais temas e resultados do mesmo.

Salientam-se ainda, as principais motivações e objetivos, onde se detalha a importância da aplicação de ferramentas hidroinformáticas em sistemas SAR, identificando objetivos específicos inerentes ao trabalho desenvolvido. Por fim destacam-se os principais contributos científicos do trabalho realizado.

No **segundo capítulo**, apresenta-se uma revisão do estado de arte, abordando de forma crítica trabalhos com temáticas relacionadas com ferramentas para a avaliação de AI em sistemas de SAR, nomeadamente, influências indevidas, tecnologias de informação, modelação hidrológica e hidrodinâmica, assim como sistemas de apoio à decisão. Foram analisadas cerca de 150 publicações científicas de impacto nacional e internacional.

No **terceiro capítulo**, apresenta-se a metodologia de investigação adotada, caracterizando-se a área em estudo e as abordagens seguidas na construção do SAD. Iniciou-se a metodologia com uma caracterização ao caso de estudo, esta opção recaiu no facto de os passos metodológicos serem mais perceptíveis com o prévio conhecimento do caso de estudo. A primeira, refere-se ao levantamento cadastral, onde se apresenta em detalhe todos os trabalhos de campo executados de forma a obter a caracterização rigorosa das infraestruturas. Descreve-se a metodologia utilizada para a instalação da rede de monitorização, que inclui técnicas expeditas de medição e monitorização específica para controlo em tempo real das condições de escoamento. Apresenta-se a metodologia de utilização dos registos de refletividade do radar meteorológico operado pela Meteogalicia em diferentes pontos da bacia do rio Ave, assim como dos resultados de diferentes modelos atmosféricos de previsão. Prossegue-se com a apresentação de técnicas de controlo PID para estruturas hidráulicas e dos modelos hidrodinâmicos e de qualidade da água utilizados. Por fim, apresentam-se todas as fontes de informação que alimentam o SAD, desde resultados de modelos de previsão, dados de precipitação medidos, informação em tempo real de caudais e níveis de água na rede de saneamento e no rio.

No **quarto capítulo**, apresentam-se os resultados obtidos com o trabalho desenvolvido. Consideram-se dois grupos: o primeiro é relativo aos trabalhos de campo, nomeadamente levantamento cadastral e implementação do sistema monitorização e o segundo inclui o SAD e resultados provenientes da sua utilização, através das três componentes principais do mesmo.

No primeiro grupo apresentam-se resultados do levantamento cadastral e destacam-se condições encontradas no terreno, assim como as principais anomalias detetadas. A conceção e implementação do sistema de monitorização é apresentada, nomeadamente alguns elementos estruturais executados

para fixação dos equipamentos de monitorização. O incremento de zonas de medição e controlo (ZMC) são apresentadas, estabelecendo uma comparação com as existentes no início do projeto.

O segundo grupo refere-se à apresentação e descrição do SAD, destacando-se as suas três principais componentes. No sistema de informação, apresenta-se o desenvolvimento e implementação do SIG, que inclui temas essenciais relativos às infraestruturas, assim como a implementação e configuração do SCADA, que recolhe a informação em tempo real de todos os equipamentos de monitorização e por fim resultados processados na plataforma Delft FEWS. No sistema de modelação, apresentam-se resultados de modelação hidrodinâmica e de qualidade da água, nomeadamente o potencial impacto de descargas de ETAR para diferentes eficiências de tratamento e regimes hidrodinâmicos. Resultados do modelo hidrológico e hidrodinâmico são ainda apresentados para a bacia do rio Vizela e ainda resultados do modelo hidrodinâmico relativamente à rede de saneamento. No sistema de análise, avalia-se o erro associado às previsões dos modelos WRF (*Weather Research and Forecasting*), GFS (*Global Forecast System*) e GEFS (*Global Ensemble Forecast System*) e procedeu-se ao ajuste da equação logarítmica de Marshall-Palmer, que permite através de registos do radar meteorológico operado pela Meteogalicia a conversão de refletividade em intensidade de precipitação. Procedeu-se ao ajuste, tendo como suporte estações meteorológicas instaladas no decurso deste trabalho. Resultados relativos a estimativas de caudais infiltrados para diferentes sistemas interceptores da FD4 e FD6, padrões de caudais diários em tempo seco e húmido, assim como padrões horários são também demonstrados. Apresentam-se ainda resultados da identificação de pontos suscetíveis a derrames e deteção de ligações ilícitas. A integração dos dados de monitorização em tempo real, do modelo hidráulico da rede e a técnica de controlo PID permitiu a implementação de um controlador de um sistema de elevação visando automatizar a sua operação.

No **quinto capítulo**, são apresentadas as principais conclusões do trabalho e as sugestões para desenvolvimentos futuro

# CAPÍTULO 2

## 2. FERRAMENTAS PARA A AVALIAÇÃO DE AI EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

---

O presente capítulo apresenta uma síntese de trabalhos técnicos e científicos relacionados com o tema em estudo, centrando-se em cinco tópicos considerados relevantes:

- Objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas;
- Afluências Indevidas;
- Tecnologias de Informação (TI);
- Modelação Hidrológica e Hidrodinâmica, incluindo previsão;
- Sistemas de Apoio à Decisão (SAD).

### 2.1 Enquadramento do trabalho com os objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas

A assembleia geral das Nações Unidas definiu em 2015 a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável identificando de forma clara um conjunto de objetivos. Na figura 2-1, apresentam-se os 17 objetivos definidos, tendo estes associados um conjunto de 169 metas que servem para orientação dos estados, da sociedade civil e do setor privado na concretização dos objetivos de desenvolvimento a atingir até 2030. Esta agenda resultou do trabalho conjunto de governos e cidadãos de todo o mundo, na procura de um modelo global para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o meio ambiente e combater as alterações climáticas.





Figura 2-1: Objetivos para o desenvolvimento sustentável (UNRIC, 2019).

O trabalho desenvolvido contribui direta e/ou indiretamente para os objetivos 6, 9 e 13 (UNRIC, 2019):

- 6 – Água limpa e saneamento;
- 9 – Indústria, inovação e infraestruturas;
- 13 – Combate às alterações climáticas;

No que se refere ao objetivo 6, este trabalho assenta em dois vetores: por um lado melhorar a gestão operacional do SSAR, e por outro, sendo a consequência do anterior melhorar a qualidade da água dos recursos hídricos. Destacam-se as seguintes metas preconizadas na agenda para o objetivo 6:

- ✓ Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando descargas/despejos ilícitos, minimizando assim os impactos ambientais;
- ✓ Até 2030, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas húmidas, rios, aquíferos e lagos;
- ✓ Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento;

Estima-se que cerca de 60% da população mundial não têm acesso a SSAR, sendo que cerca de 80% das águas residuais resultantes de atividades humanas são descarregadas diretamente em meio hídrico, entenda-se sem qualquer tipo de tratamento. O desenvolvimento deste estudo, permite controlar descargas de águas residuais em meio hídrico, ou seja, em condições ambientalmente seguras, sendo assim um pequeno contributo para o objetivo 6 e que pode ser replicável em outras entidades gestoras.

Pretende-se ainda gerar ferramentas inovadoras (Objetivo 9), sendo que uma melhor gestão operacional de infraestruturas de saneamento suportada por essas acarreta benefícios substanciais.

Destacam-se algumas das metas preconizadas na agenda para o objetivo 9:

- ✓ Até 2030, modernizar as infraestruturas e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com maior eficiência no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos;
- ✓ Fortalecer a investigação científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivar a inovação e aumentar substancialmente o número de trabalhadores na área de investigação e desenvolvimento por milhão de pessoas e a despesa pública e privada em investigação e desenvolvimento;

É importante salientar que as empresas funcionais e resilientes são recorrentemente resultado de entidades bem sucedidas. Em resposta aos desafios futuros, o setor da indústria e infraestruturas necessitam de reestruturação. Com efeito, a promoção e proliferação de novas tecnologias sustentáveis e inovadoras são uma boa opção para garantir uma gestão eficaz, transparente e acessível para os cidadãos. O presente trabalho, desenvolvido em ambiente empresarial, contempla a utilização de novas ferramentas no âmbito da hidroinformática, promovendo assim a inovação e a utilização de tecnologias inovadoras.

Sendo este estudo realizado numa empresa que tem a responsabilidade de contribuir para o bom estado ecológico do meio ambiente, com infraestruturas localizadas em meio hídrico, o aumento na eficiência da gestão das suas infraestruturas permitirá contribuir para a concretização do objetivo 13.

Relativamente ao objetivo 13 destaca-se:

- ✓ Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados com o clima e as catástrofes naturais em todos os países;

As alterações climáticas têm vindo a ser uma temática muito presente nos dias de hoje. Os efeitos destas alterações são visíveis, podendo ser mesmo catastróficas. Neste sentido, a educação ambiental, inovação, incremento de monitorização de forma a obter informação realista e em tempo real serão cruciais para acompanhar e até mesmo mitigar este problema, visando a proteção do planeta. O trabalho desenvolvido é um pequeno contributo para o cumprimento da meta precedente afeta ao 13º objetivo de desenvolvimento sustentável. A antecipação de eventos de cheias e inundações são também objetivo deste trabalho. Desde logo, com a instalação de uma vasta rede de monitorização que permite, em tempo real, gerir caudais (em redes e linhas de água) e eventos de precipitação contemplando ainda a componente previsional, visando o estudo de soluções que mitiguem fenómenos de cheias e inundações.

## 2.2 Afluências Indevidas – enquadramento

A problemática das AI aos SSAR tem sido frequentemente negligenciada. As entidades gestoras destes sistemas têm-se focado essencialmente na expansão e, conseqüentemente, no aumento de cobertura do serviço. No entanto, o envelhecimento das infraestruturas e sua natural deterioração têm conduzido a um aumento significativo dos volumes infiltrados, refletindo-se negativamente no desempenho dos sistemas (Bonito, 2014).

Os SSAR são concebidos para recolher e transportar os efluentes (domésticos, e industriais) até um local apropriado, para efeitos de tratamento e de descarga final em condições ambientalmente seguras. Contudo, tem-se verificado que, em muitos casos, essa função está longe de ter um desempenho satisfatório, particularmente em períodos de forte pluviosidade, onde as AI acabam por ter um papel preponderante, nomeadamente em termos económicos e ambientais (Sola *et al.*, 2019). O termo AI, denominado pela terminologia anglo-saxónica de “*Inflow & Infiltration*” (I&I), é designado para caracterizar todo o caudal indevido, maioritariamente de origem pluvial, que entra nestes sistemas, seja por escoamento direto, através de ligações indevidas do sistema pluvial público e predial, seja por infiltração, através de anomalias estruturais e defeitos de construção ou também através de ligações clandestinas.

Em Portugal as redes de drenagem urbana são dimensionadas de acordo com os critérios do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Água Residual (DR n° 23/95). Este regulamento não prevê qualquer estudo das características de cada local, como a pluviosidade, a proximidade a aquíferos, características geológicas, no entanto, este prevê uma parcela de caudal para as possíveis infiltrações, mas este acréscimo é adotado de igual forma independentemente do local de implantação da rede (Gomes, 2015).

As AI, pelos caudais elevados que originam, acarretam uma redução na eficácia dos sistemas de drenagem de águas residuais, nomeadamente com a entrada em carga e assoreamento de coletores, inundações ou mesmo descarga do efluente sem tratamento adequado, por incapacidade das instalações de elevação e/ou tratamento. Estas situações podem levar a múltiplos problemas nos sistemas de drenagem, como sejam, a entrada da rede em carga, com possível extravasamento para ruas ou linhas de água, incapacidade de bombagem em estações elevatórias, diminuição da eficiência das estações de tratamento e aumento das descargas de emergência, com os inerentes problemas de poluição (Amorim, 2007; Fletcher *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2019 e Wei *et al.*, 2019), verificando-se assim um aumento dos custos unitários de tratamento e transporte, essencialmente devido ao aumento dos custos com energia, manutenção e operação de equipamentos, reduzindo-se a eficiência global do sistema.

Com efeito, a notória perda de características quer físicas, quer mecânicas destas infraestruturas tem criado diversos problemas, no que concerne à operacionalidade do sistema. É ainda de enfatizar que devido às grandes extensões destes sistemas se torna difícil a sua monitorização, onde recorrentemente há lacunas no conhecimento de pontos críticos e das condições de escoamento. No entanto, é imperativo melhorar o desempenho operacional destas infraestruturas através do desenvolvimento de metodologias de digitalização adequadas às mesmas que devem ser baseadas em sensores e tecnologias avançadas de hidroinformática.

A problemática das AI, é inequivocamente uma das maiores preocupações das entidades gestoras responsáveis pelas infraestruturas de drenagem.

As entidades gestoras possuem um papel ativo e fundamental na gestão dos atuais SSAR. Não obstante, há alguns modelos de gestão que atribuem a outras entidades, através, por exemplo, de uma concessão temporária, o papel de coordenar o setor de abastecimento de água e drenagem de águas residuais em Portugal (Coelho, 2013).

O Decreto-Lei 58/2005, de 29 de dezembro, criado pelo Decreto-Lei nº 191/93, de 24 de maio tutelado pelo Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento, ou Lei da Água, reconhece a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) como a autoridade nacional da água, responsável pela gestão e preservação dos recursos hídricos nacionais (Marques, 2010).

A avaliação dos serviços prestados pelas entidades gestoras do setor de saneamento e abastecimento de água é um encargo da ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos), que assegura o serviço prestado pelas empresas, promovendo a sua monitorização e acompanhamento de execução.

A sua importância deve-se ao facto de permitir ao estado intervir no setor económico, no sentido de defender o interesse público, obrigando à disponibilização de toda a informação referente aos serviços prestados e garantindo o conhecimento do utente (Coelho, 2013).

Os serviços de SAR possuem diferentes níveis organizacionais de gestão, não funcionando da mesma forma em todas as localidades. Cabe à entidade gestora definir o método mais conveniente e eficaz, destacando-se os mais comuns (Marques, 2010):

- Prestação direta de serviços (serviços municipais, municipalizados ou associações de municípios);
- Delegação do serviço (empresas municipais e intermunicipais, como juntas de freguesia);
- Prestação do serviço através de parcerias com entidades públicas.

Os processos de infiltração nos SSAR têm sido objeto de diferentes estudos (Amorim, 2007; Braud *et al.*, 2013; Fletcher *et al.*, 2013; Harold *et al.*, 2011; Sola *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2018 a,b e Pereira *et al.*, 2019 a,b). Os mecanismos que contribuem para essa afluência são diversos, nomeadamente a entrada através das tampas das câmaras de visita, inserção desta pelos coletores e ligações clandestinas de águas pluviais. Estas situações podem levar a múltiplos problemas nos sistemas de drenagem, como sejam, a entrada da rede em carga, com possível extravasamento para ruas/ linhas de água, incapacidade de bombagem em EE, diminuição da eficiência das estações de tratamento e aumento das descargas de emergência, com os inerentes problemas de poluição

A maioria dos autores considera que a infiltração é constante ao longo do dia, podendo apenas sofrer variações sazonais. Como mostra a figura 2-2, para uma janela temporal curta (da ordem dos dias), a infiltração é a única componente do caudal total que se mantém constante, mesmo após a ocorrência de precipitação (Metcalf e Eddy, 2004). Por isso é importante fazer a análise da infiltração em tempo seco, quando as afluições de escoamento direto são mínimas e se pode assumir que o caudal total tem apenas duas componentes, águas residuais (domésticas e industriais) e infiltração (Rodrigues, 2013).

Na figura 2-2 apresenta-se uma série de registos de caudais escoados (disseminados por diferentes percentis) num coletor que inclui períodos em que ocorreram precipitações intensas. A simples sobreposição desta série ao padrão de escoamento gerado para períodos secos utilizando um histórico com dois anos, permite identificar e estimar os volumes que resultaram da infiltração (ou descarga indevida de águas pluviais na rede de esgoto).

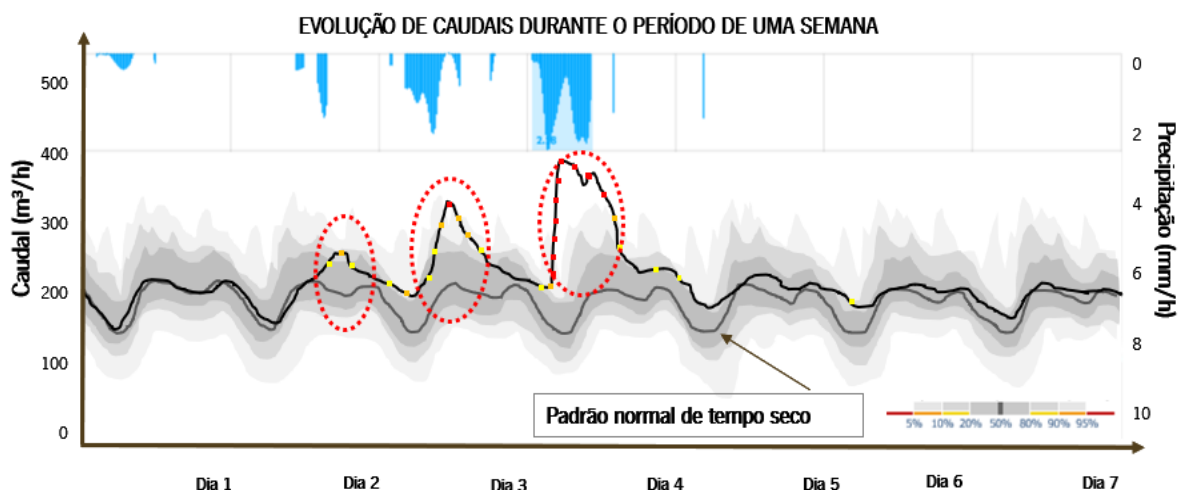


Figura 2-2: Registo de caudais escoados incluindo eventos de precipitação.

### 2.2.1 Detecção de AI em SSAR

Coelho 2013, salienta que as infraestruturas de drenagem de águas residuais representam um avanço representativo, no que concerne à qualidade de vida dos cidadãos. Não obstante, estes sistemas necessitam de recorrente manutenção e monitorização de forma a evitar diferentes tipos de anomalias que ponham em causa o transporte adequado de efluentes.

Com efeito, uma monitorização mais assertiva permite-nos detetar diferentes focos de infiltração e/ou exfiltrações. As infiltrações estão recorrentemente relacionadas com eventos meteorológicos mais severos, já as exfiltrações representam uma ineficiência no transporte de efluentes normalmente devidas a roturas e fissuras estruturais.

É comum, principalmente em sistemas em alta, as inclinações serem relativamente reduzidas, tornando-se assim mais difícil a conceção destes sistemas, no sentido de garantir o transporte de efluentes residuais que assegurem as velocidades recomendadas às condições de autolimpeza. Assiste-se, em alguns casos, a incumprimentos dos requisitos legais em termos de força trativa, provocando uma anomalia recorrente que é a acumulação de sólidos. A acumulação de sólidos propicia outro tipo de anomalias, nomeadamente descargas para meio hídrico, desgaste das condutas e problemas de septicidade, cujos impactos ambientais são na maioria dos casos difíceis de quantificar.

São muitas as anomalias em SSAR, sendo as entidades gestoras, de uma forma geral, as principais responsáveis por determinados tipos de acontecimentos que podem ser minorados através de uma gestão eficiente.

Os caudais infiltrados apresentam uma grande variabilidade temporal e espacial, o que os torna dificilmente mensuráveis. No caso das infiltrações provenientes de eventos de precipitação a sua deteção é relativamente simples, visto que as afluências ocorrem imediatamente após o evento de precipitação e normalmente implica grandes volumes. Noutras origens, como ligações ilegais, a sua identificação torna-se mais difícil por poder ocorrer aleatoriamente no tempo e envolverem, em geral, pequenos volumes de águas residuais.

Foram desenvolvidos diferentes métodos para detetar as origens de afluências indevidas. Fleming *et al.* (2004) sugerem cinco técnicas distintas:

- Teste com recurso a traçadores coloridos inseridos estrategicamente em diferentes pontos da rede;
- Teste com recurso a injeção de fumo;
- Inspeções visuais;

- Recurso a jatos de água de alta pressão na rede (para remoção de sólidos e como consequência melhorar as condições de transporte);

- Avaliação hídrica à escala de microbacias (divisão da rede em vários troços, setorização).

A aplicação de cada técnica depende do grau de complexidade da rede, da viabilidade de aplicação do método em cada situação e do objetivo da análise a realizar (Fleming *et al.*, 2004).

Panisiuk *et al.* (2017), apresentam outros métodos de deteção de infiltrações, através de avaliações às variações de temperatura, recurso a campanhas com sistemas CCTV e amostragem de amónia durante o período de degelo, em condições de tempo seco e húmido.

O caudal infiltrado indireto (que se poderá admitir que ocorre ao longo das tubagens e câmaras de visita) é, apesar de sazonal, constante. Não obstante, o caudal infiltrado direto (ligações indevidas localizadas) é inconstante e repentino. Existem inúmeras formas para se quantificar, individualmente, cada infiltração, ou ambas. Todavia, não subsiste uma, em detrimento das outras, impossibilitando assim a uniformização e clarificação desta temática (Bonito, 2014).

### **2.2.2 Perspetivas futuras na estratégia de deteção de AI**

Os SSAR foram evoluindo ao longo dos tempos e abrangem, nos países desenvolvidos, uma área bastante vasta, conseguindo mesmo em algumas regiões atingir os 90% de atendimento. O sucessivo desenvolvimento das redes, a nível técnico e social, permitiu erradicar quase na totalidade os principais problemas criados pelos resíduos urbanos responsáveis pela proliferação de epidemias e pestes, pelo contacto da população com as águas contaminadas (Coelho, 2013 e Galvão, 2009).

São objetivos comunitários internacionais e nacionais promover nestes sistemas a fiabilidade, eficácia e eficiência, conferindo a sustentabilidade do setor, conforme está patente no programa de apoio financeiro em curso designado de “Portugal2020”.

O PENSAAR 2020 promove políticas que fomentem a mitigação de AI e a utilização de sistemas de previsão e gestão operacional tendo em conta eventos extremos. O setor defronta-se com novos desafios que requerem uma estratégia voltada para um novo paradigma, focalizada na gestão eficiente dos seus recursos.



A consciência desta problemática levou inúmeras empresas a elaborarem relatórios de contas e simulações, confrontando os caudais de dimensionamento das redes urbanas, com os volumes afluentes às ETAR faturados, numa tentativa de contabilizar as discrepâncias, descobrir as suas origens, no sentido de as evitar. Em inúmeros casos comprovou-se que os caudais de infiltração chegam a igualar os caudais de projeto nas redes de SAR, alterando de tal forma as condições de escoamento, que se tornam incomportáveis sob um ponto de vista hidráulico. Esta sobrecarga excessiva provoca inúmeras fissuras e roturas locais que, com o passar do tempo e juntamente com a deterioração natural da rede, se alastram e agravam, se não forem submetidas a devida reparação. Pequenos danos significam grandes encargos económicos, não só a nível técnico e estrutural pela substituição dos ramais, como pela contaminação da qualidade ambiental envolvente e da saúde pública, podendo inclusivamente provocar pequenos desastres ecológicos (Galvão, 2009; Bonito, 2014).

Apesar de todos os esforços que se têm vindo a desenvolver, a determinação dos caudais infiltrados não possui um carácter exato, por se tratar de um problema bastante específico de cada região. Esta inconstância obriga a que sejam elaborados estudos locais, e elaboradas estratégias segundo metodologias genéricas capazes de acelerar o processo de decisão, mas que não constituem uma resposta para qualquer eventualidade que surja futuramente. Neste sentido, o estudo, avaliação e quantificação dos volumes afluentes indevidos às infraestruturas de drenagem de águas residuais assumem uma relevância que ultrapassa não só o presente, como permite igualmente prevenir e assegurar um futuro mais eficiente, pela aprendizagem adquirida previamente (Coelho, 2013).

### **2.3 Tecnologias de Informação**

As TI são atualmente fundamentais para o bom funcionamento das organizações (Martinho *et al.*, 2014). A evolução das TI e da comunicação é de grande importância para a sociedade contemporânea pelo facto de atualmente o mundo viver numa era de globalização, onde as barreiras geográficas e a distância não impedem a partilha de conhecimentos e de informações (Junkes, 2014; Geraldi e Bizeli, 2016).

Meyer *et al.* (2000), referem que as TI começaram a ser utilizadas a partir de 1960. Inicialmente o foco tecnológico existente nas organizações era o “processamento de dados”. Nessa época, a maioria

das empresas direcionava os recursos para o processamento centralizado de dados em grandes computadores e para os sistemas de controlo operacional, tais como faturação, finanças e contabilidade.

Com o desenvolvimento da informática, as empresas integraram os seus sistemas e, na atualidade, a informática tem vindo a transformar-se em TI que integram todos os seus recursos de dados e informação. As TI podem ser designadas como o conjunto dos recursos tecnológicos e computacionais para armazenamento de dados, gestão dos dados gerindo informação e como corolário, transformando em conhecimento (Bazoti e Garcia, 2006; Romero e Verdant, 2016).

A gestão da informação torna-se um desafio para a empresa, sobretudo, se considerarmos que a competitividade se cristaliza na atitude das organizações para gerir corretamente a informação. Assim, a racionalização e a organização dos fluxos de informação tornam-se elementos indispensáveis para a competitividade das empresas (Santos, 2000). A gestão da informação engloba a sinergia entre a TI, comunicação e os recursos/conteúdos informativos, visando o desenvolvimento de estratégias e a estruturação de atividades organizacionais (Junkes, 2014).

Essa gestão deve ser ajustada a um plano de segurança de dados e informações. Quando o dado é “trabalhado” por pessoas e pelos recursos computacionais, possibilitando a geração de cenários, simulações e oportunidades, pode ser chamado de conhecimento. O significado do conhecimento complementa, portanto, o conceito de informação com valor relevante e de propósito definido.

Atualmente, as empresas têm como opção a utilização de diversas tecnologias. As principais TI aplicadas à geração de informações oportunas dos SI são: *Executive Information Systems* (EIS); *Enterprise Resource Planning* (ERP); Sistemas de Apoio a Decisões (SAD); Sistemas de Gestão de Bases de Dados (SGBD); *Data Warehouse* (DW); Recursos da Inteligência Artificial (IA); Sistemas Especialistas; *Data Mining* (DM); *Database Marketing* (DBM); recursos da internet; automação de escritórios; recursos *On-Line Analytic Processing* (OLAP), *On-line Transaction Processing* (OLTP), entre outras. Em paralelo à utilização dessas tecnologias, surgem os sistemas de conhecimentos, que manipulam ou geram conhecimentos organizados para contribuir com os seres humanos, com as organizações e com a sociedade como um todo. Podem ser compostos pelos recursos emergentes da TI ou por simples *softwares* específicos, onde podem ser geradas informações oportunas e/ou conhecimentos personalizados com valores agregados. A difusão de informações relevantes e úteis, “trabalhadas” por pessoas e/ou por recursos computacionais, produzidas com qualidade, de forma antecipada e transformadas em conhecimento explícito, que possa ser utilizado por todas as pessoas da organização,

dá suporte à obtenção de vantagem competitiva e à conquista da inteligência empresarial (Couto, 2018 e Portal da Tecnologia, 2019).

Tem vindo a assistir-se no setor das águas, ao longo da última década, a um desenvolvimento apreciável na utilização de tecnologias de informação. O incremento na disponibilidade de equipamentos de monitorização permite obter uma vasta quantidade de dados. Torna-se, contudo, necessário transformar dados em informação útil. A aplicação de diferentes algoritmos, nomeadamente de inteligência artificial, são uma solução para a gestão de grandes quantidades de dados, embora ainda pouco explorada em Portugal.

### **2.3.1 Bases de Dados**

Os primeiros modelos de base de dados (BD), datam da década de 1960. Desde então, a pesquisa científica na área procura evoluir no sentido de definir e encontrar modelos que representem da melhor forma possível os dados de uma realidade, ou seja, que organizem os dados de uma forma mais próxima da maneira como são vistos e manipulados pelas pessoas na vida real (Machado, 2004).

No início do século XX, assistiu-se a um crescimento representativo do tecido empresarial e com efeito, um aumento do volume de dados utilizados. A evolução da informática foi exponencial, tornando os computadores acessíveis para todos, assistindo-se assim à introdução dos computadores nas organizações como forma de suporte de armazenamento de informação.

Os primeiros sistemas de armazenamento informático a surgir foram os sistemas de ficheiros, onde os diversos registos eram armazenados de forma permanente em ficheiros e com aplicações separadas que permitiam uma variedade de operações, assim como inserir dados, recuperar dados, alterar e apagar dados.

Não obstante, este sistema de ficheiros revelou-se para as empresas um processo bastante moroso, no que concerne à sua criação e difícil manutenção, pois para cada ficheiro era necessário criar aplicações específicas e para adicionar um novo registo era necessário um enorme e complexo processo. Foi na sucessão dos sistemas de ficheiros que surgiram os sistemas de base de dados (SBD).

As necessidades de acelerar o processamento de dados, por parte dos utilizadores de um SBD, são cada vez maiores, com efeito o desenvolvimento tecnológico deve acompanhar paulatinamente essas necessidades (Amin *et al.*, 2018).

Um SBD define-se como um conjunto de dados, organizados de forma a representar informação e permitir aos utilizadores consultar e atualizar a informação solicitada.

A nível interno funciona de forma muito diferente dos sistemas de ficheiros, pois os dados encontram-se agora centralizados, sendo armazenados num só local designado de repositório, e os utilizadores fazem uma consulta ao sistema de gestão de base de dados (SGBD) e obtêm um conjunto de resultados como resposta. Isto faz com que cada utilizador possa ter uma vista única e diferente dos dados, de acordo com o que se pretender consultar. Por isso, quando nos referimos a um SGBD e por uma questão de hábito, referimo-nos a uma compilação de conjuntos de informação.

Existem várias opções de SGBD no mercado com funcionalidades mais ou menos específicas. Na tabela 2-1 apresentam-se os sistemas mais conhecidos.

Tabela 2-1: Tipos de SGBD.

SGBD	Fabricante	Descrição
<b>Access</b>	Microsoft	Apropriado para BD de pequena dimensão. Uso doméstico ou em pequenas empresas.
<b>SQL Server</b>	Microsoft	Apropriado para BD de média e grande dimensão. Uso profissional ou em médias e grandes empresas.
<b>ORACLE</b>	ORACLE	Apropriado para BD de média e grande dimensão. Uso profissional ou em médias e grandes empresas.
<b>DB2</b>	IBM	Apropriado para BD de média e grande dimensão. Uso profissional ou em médias e grandes empresas.
<b>MySQL</b>	Domínio público – <i>Open source</i>	Apropriado para BD de pequena, média e grande dimensão. Uso pessoal ou em médias e grandes empresas.
<b>Sybase</b>	Sybase	Apropriado para BD de média e grande dimensão. Uso profissional ou em médias e grandes empresas.

Kurdi, (2005) apresenta um modelo computacional em ambiente cliente/servidor, onde confere ao sistema a possibilidade de ser acessível por diferentes utilizadores. Do lado do servidor utiliza uma BD da Microsoft, *SQL Server 2000*.

No presente estudo utilizou-se também um SGBD *SQL Server 2012* que armazena dados obtidos através de diferentes fontes de informação, fontes essas de origem externa e interna e que se apresentam na figura 2-3.

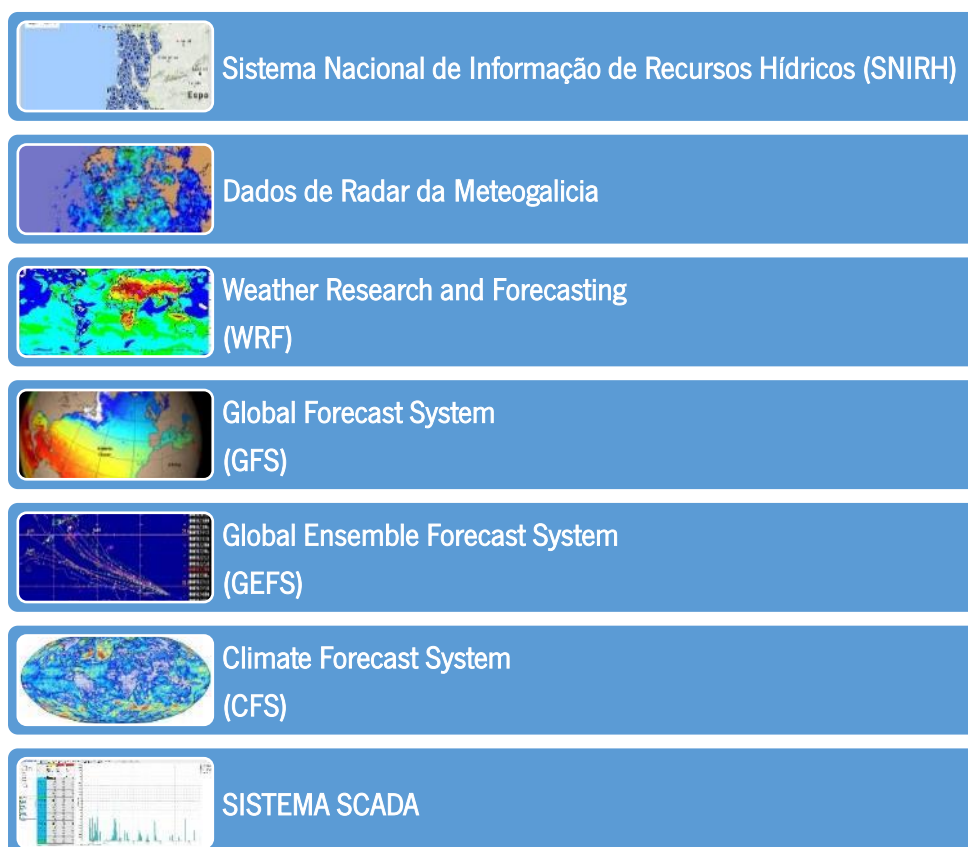


Figura 2-3: Principais fontes de informação utilizadas no trabalho desenvolvido.

O Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) foi criado pelo Instituto da Água (INAG), organismo central de jurisdição sobre todo o território nacional, em meados de 1995 e publicitado para o exterior no Dia Nacional da Água (1 de outubro).

A partir de 1997 passou-se a disponibilizar, via Internet, páginas estáticas e dinâmicas com acesso direto à base de dados do SNIRH. Este sistema é constituído por três módulos: aquisição; armazenamento e simulação; disponibilização (situação atual e previsões).

O sistema de monitorização é suportado por uma rede de estações automáticas e convencionais equipadas com teletransmissão, pertencentes às redes meteorológica, hidrométrica e de qualidade de água, e por uma ferramenta informática para arquivamento e transmissão da informação que disponibiliza informação atualizada das características hidrológicas dos rios e albufeiras do país (alturas de água, caudais e volumes armazenados) e dados meteorológicos importantes através de dados medidos nas estações pluviométricas e hidrométricas.

A informação hidrométrica e meteorológica é imprescindível aquando da definição dos dados de entrada em modelos, como os caudais nos modelos hidrodinâmicos e precipitação/evaporação nos modelos hidrológicos, na determinação das condições de fronteira, os níveis de água e caudais, e igualmente importante na fase de verificação e calibração de modelos, possibilitando a comparação dos resultados obtidos com valores medidos (SNIRH, 2017).

Na sequência de progressos tecnológicos, posteriores à Segunda Grande Guerra Mundial, surgiu o Radar (*Radio Detection And Ranging*), um instrumento de teledeteção usado em meteorologia. Desde logo assumiu uma enorme importância, começando por ser utilizado em diversas áreas de aplicação, destacando-se na previsão a curto e médio prazo de episódios de precipitação intensa, potencialmente causadores de cheias rápidas e inundações (Ferreira, 2016).

O radar meteorológico é um dispositivo de deteção remota, isto é, dispõe da capacidade de detetar e localizar objetos à distância, capaz de localizar precipitações, calcular o seu movimento, estimar a sua composição e até prever a sua evolução a curto prazo. O seu funcionamento baseia-se na emissão de pulsos eletromagnéticos numa determinada direção que são refletidos em obstáculos e recebidos por uma antena parabólica (Silva e Machado, 2016).

No seu trajeto, as ondas eletromagnéticas podem interagir com as partículas das nuvens (gotículas, gotas de chuva ou granizo), que difundem em todas as direções a onda incidente, onde parte da radiação difundida recebida pela antena é amplificada e processada. Os dados recebidos fornecem informações sobre a distância a que se encontra a partícula, as suas propriedades (granulometria das gotas de chuva, a sua velocidade média e turbulência), bem como quanto à repartição espaço temporal destes parâmetros.

Após vários anos de estudo, reconheceu-se que a previsão de tempo severo requer o conhecimento da estrutura vertical da atmosfera, para isso utilizam-se atualmente, os radares

meteorológicos de dupla polarização, associados à emissão de impulsos de polarização horizontal e polarização vertical. A conjugação das imagens de radar com os dados registados numa rede densa de udómetros permite a minimização dos erros na estimacão da precipitaçao e da sua repartiçao no espaco.

A Meteogalicia opera um radar, propriedade da junta da Galiza, que é um radar doppler de dupla polarizaçao, emite ondas eletromagnéticas na banda C (4-8GHz) e está localizado no topo do monte Xesteiras (42.61°N, 8.19° W, a uma altitude de 750m, figura 2-4). Esta posiçao permite ter uma excelente visao das frentes oceánicas que chegam à Galiza a partir do oceano Atlântico e assim monitorizar a sua evoluçao com alta precisao até ao limite oriental desta comunidade (Meteogalicia, 2016).



Figura 2-4: Radar da Meteogalicia (Meteogalicia, 2016).

O GFS é um modelo de previsao numérica das condiçoes atmosféricas criado e usado pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), (NOAA, 2015). Este modelo recorre ao cálculo computacional para produzir uma estimativa do estado futuro da atmosfera. Com base num modelo de previsao obtém-se então simulaçoes a partir do conhecimento do estado atmosférico inicial. Os resultados incluem previsoes para diferentes variáveis atmosféricas, tais como a temperatura, a pressao atmosférica, o vento e a precipitaçao.

Os modelos baseiam-se num conjunto de equações que traduzem leis da física para descrever o comportamento hidrodinâmico da atmosfera. São atualizados quatro vezes por dia com previsões a atingirem os 16 dias (384 horas). As previsões dos GFS apresentam muita incerteza após os 7 dias, com uma maioria de institutos e agências de meteorologia a dispensarem os resultados para além de 10 dias (principalmente pela inexistência de outros modelos a 16 dias para comparação de previsões).

A resolução do modelo varia horizontalmente, onde a superfície da Terra é dividida numa grelha de 35 ou 70 quilómetros por célula, verticalmente, o modelo divide a atmosfera em 64 camadas e temporalmente, produz uma previsão para cada 3 horas para as primeiras 180 horas, em seguida, com uma resolução de 12 horas.

O modelo GFS é o único modelo de cobertura global cujas previsões estão disponíveis gratuitamente e sob domínio público através da Internet. Além do modelo principal e de modelos de previsão estatística, o modelo GFS também serve como uma base para 20 modelos de previsão oferecidos com a mesma frequência que o GFS e as mesmas escalas espaciais para que eles possam gerar os seus próprios produtos derivados da previsão, como se encontra disponível nas empresas de meteorologia mundiais como *WeatherUnderground*, *AccuWeather*, *The Weather Channel* ou *MeteoGroup*.

O desenvolvimento do modelo WRF iniciou-se no fim da década de 90 do século passado, criado através de uma parceria de colaboração principalmente entre o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Air Force Weather Agency* (AFWA), o *Naval Research Laboratory* (NRL), *Oklahoma University* (OU) e a *Federation Aviation Administration* (FAA).

O WRF é um modelo de previsão numérica atmosférico de última geração, concebido para necessidades de pesquisa e previsão operacional (Ferreira, 2007). O modelo apresenta uma vasta gama de aplicações meteorológicas, incluindo diferentes fenómenos atmosféricos envolvendo diferentes escalas espaciais (dezenas de metros a milhares de quilómetros). Permite a produção de simulações atmosféricas em função tanto de dados reais (observações, análises) como de condições idealizadas atmosféricas.

Embora sejam ferramentas extremamente úteis na previsão das condições atmosféricas, o modelo apresenta erros intrínsecos. Estes erros têm várias causas, tais como a imperfeição do método numérico que aproxima as equações diferenciais por equações de diferenças finitas, a dificuldade em



representar os termos não-lineares das equações do modelo e os erros dos dados observados usados na definição da condição inicial.

O modelo de maior resolução disponível é o de 4 km, que requer enormes recursos informáticos. Existe uma plataforma flexível e computacionalmente eficiente, onde em condições normais, o modelo é atualizado 4 vezes por dia e produz uma previsão para 82 horas, em períodos de uma hora. Os resultados são disponibilizados numa base de dados que inclui as previsões da velocidade e direção do vento, temperatura, nebulosidade e precipitação.

A Meteogalicia opera um modelo WRF para uma região que abrange o norte de Portugal Continental, cujos resultados de previsões são utilizados no presente trabalho.

O GEFS, anteriormente conhecido como GFS *Global ENsemble* (GENS), é um modelo de previsão meteorológica composto por 21 previsões separadas, ou membros (NOAA, 2015a). A comunidade científica que desenvolve trabalho no domínio das previsões meteorológicas e do clima tem feito avanços significativos que se devem a melhores técnicas de assimilação de dados e acoplamentos entre a atmosfera com a superfície terrestre, criosfera e oceano (Hamil *et al.*, 2014). O *National Centre Environmental Prediction* (NCEP) desenvolveu o GEFS para abordar a natureza da incerteza nas observações meteorológicas, que é utilizada para inicializar modelos de previsão meteorológica. O GEFS tenta quantificar a incerteza nas previsões, gerando múltiplas previsões, cada uma delas gerada a partir da perturbação de uma previsão de base. Com cobertura global, o GEFS é disponibiliza quatro vezes por dia previsões meteorológicas de 16 dias.

O CFS é um modelo que representa a interação global entre os oceanos, a terra e a atmosfera (NOAA, 2015b). Desenvolvido sob orientação do NCEP, este modelo apresenta uma resolução horizontal de até meio grau com resultados horários para um conjunto alargado de variáveis atmosféricas. O CFS utiliza as mais recentes abordagens para recolher ou assimilar observações de variáveis atmosféricas, incluindo observações de superfície, observações de balão de ar quente, observações de aeronaves e observações por satélite.

O aumento da pressão sobre os SSAR, originário de aumentos populacionais, bem como de alterações climáticas, exigem maior utilização de recursos tecnológicos que permitam aumentar o desempenho das infraestruturas e limitar eventuais impactos negativos.

SCADA (Sistema de supervisão, controlo e aquisição de dados) é uma plataforma informática que permite gerir dados operacionais resultantes de redes de sensores num determinado sistema a fim de o controlar e otimizar. Esta plataforma pode ser utilizada em diferentes processos industriais, incluindo na gestão e controlo do transporte de águas residuais (Wonderware, 2018). Estes sistemas permitem aumentar a produtividade, a eficiência, a agilidade, a qualidade e a rentabilidade dos processos geridos/controlados.

Na figura 2-5 apresenta-se uma vista de uma sala de controlo onde se visualizam em tempo real dados de sensores de monitorização e/ou resultados de modelos utilizando-se um sistema SCADA.



Figura 2-5: Vista de uma sala de controlo com écrans de um SCADA (DanielMiessler, 2016).

Uma infraestrutura dotada de automação SCADA, devidamente implementada, permite aos decisores obter melhores respostas relativas a questões operacionais, nomeadamente com regras consideradas no sistema (*rule-based systems*), ou outras estruturas de controlo automático. Este sistema permite aumentar o desempenho do sistema, reduzir custos de manutenção, prevendo eventuais anomalias, aumenta a disponibilidade dos ativos, o ciclo de vida dos mesmos, portanto um conhecimento mais lato do funcionamento das infraestruturas.

Drake *et al.* (2009) e Gatterdam e Johnson (2016) implementaram sistemas SCADA para gerir e controlar redes de SAR. Isacson (2019) utiliza dados em tempo real de um SCADA para alimentar dois modelos de *machine learning* aplicados na gestão de infraestruturas. Um dos princípios fundamentais

de qualquer produto SCADA é adicionar novas capacidades a um sistema existente de forma faseada e administrável (Wonderware, 2018).

Os sistemas de informação geográfica (SIG) permitem a integração e análise dos dados georreferenciados provenientes das mais diversas fontes, como imagens fornecidas por satélites, mapas ou cartas climatológicas. Incorporam a variabilidade espacial, permitindo melhorias representativas no planeamento e gestão de diversos sistemas, nomeadamente em recursos hídricos (à escala de bacia hidrográfica), pelas potencialidades associadas à sua eficiência nos processos de análise espacial (Anastácio *et al.*, 2015; Hailing *et. al.*, 2012 e Vaz, 2004).

Castro *et al.* (2003) salientam que a preocupação com os fatores ambientais é uma realidade em todos os setores da sociedade, principalmente por parte de investigadores e profissionais que trabalham diretamente na área do meio ambiente. A utilização do geoprocessamento possibilita o tratamento eficaz e rápido dos dados ambientais, agilizando o processamento desses mesmos dados e conferindo confiança aos resultados obtidos.

Neto *et al.* (2015) utilizam ferramentas SIG como suporte ao estudo de áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do riacho Fundo, no Brasil.

A ligação de um SIG e um modelo de simulação dos processos de evaporação, precipitação e escoamento, permite efetuar a previsão do escoamento superficial e simultaneamente analisar a sua distribuição espacial numa bacia hidrográfica (Santos, 2006).

Saraiva (1999), refere a importância dos SIG como ferramenta essencial à gestão de sistemas, cuja abordagem é assente em multicritérios.

Os SIG oferecem um conjunto de potencialidades no que se refere à cartografia ambiental, uma vez que a partir de toda a aquisição, manipulação e integração de informação, é possível a geração de cartas temáticas, possibilitando a relação dos elementos característicos do meio físico com os elementos socioeconómicos da bacia hidrográfica (Faria e Pedrosa, 2005).

Num contexto geral, podem-se identificar os seguintes componentes num SIG (figura 2-6):

- Interface com o utilizador;

- Entrada e integração de dados;
- Consulta, análise espacial e processamento de imagens;
- Visualização e impressão;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de uma base de dados geográfica).

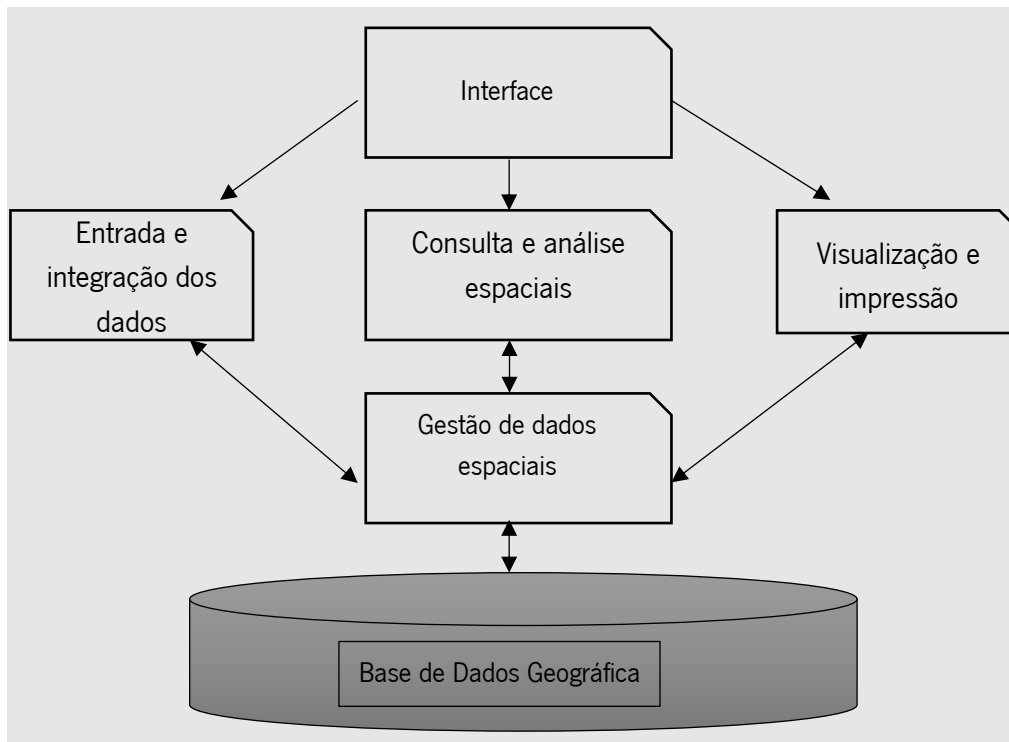


Figura 2-6: Componentes de um SIG (adaptado de Ferreira, 2016).

Existem vários programas de SIG. Neste trabalho utilizou-se o QGIS desenvolvido através de um processo colaborativo, sendo uma solução distribuída de forma gratuita. O QGIS permite analisar e editar informações espaciais (Cavallini, 2010; QGIS, 2019). Suporta camadas *raster* e vetoriais, os dados vetoriais são armazenados como recursos de ponto, linha ou polígono. São suportados vários formatos de imagens *raster* e o *software* permite ainda georreferenciar imagens. Integra-se com outros pacotes de GIS de código aberto, incluindo *PostGIS*, *GRASS GIS* e *MapServer*. Suporta ficheiros em formato *shape*, *dxf*, *csv*, *txt*, entre outros formatos, permitindo ligações a fontes de dados externas com grande facilidade (Cavallini, 2010). Permite ainda ligar-se através das suas interfaces com os SGBD *Postgre/SQL*, *PostGIS*, *SpatialLite* e *MySQL*.

## 2.4 Modelação Hidrológica e Hidrodinâmica

A magnitude de eventos extremos tem-se intensificado, tornando-se assim imperioso obter um conhecimento mais profundo do comportamento das águas superficiais e da interação destas com sistemas de drenagem.

Com efeito, desenvolver técnicas de previsão eficientes de precipitações avaliando a sua influência nos caudais superficiais para curto e médio termo é manifestamente um desafio na hidrologia. Contudo, é crucial para o planeamento e gestão desses recursos. Isto pelo facto de os caudais fluviais serem influenciados por vários processos dinâmicos não-lineares, como precipitação-escoamento, evaporação, topografia e atividades antrópicas (Dawley *et al.*, 2019 e Rezaie-Balf *et al.*, 2019).

O desafio para o desenvolvimento de um sistema de previsão hidrológico moderno com capacidade de emissão de alertas centra-se na integração de grandes conjuntos de dados, módulos especializados no processamento de dados e interfaces que permitam uma fácil integração das capacidades de modelação existentes.

As condições meteorológicas, incluindo previsões de curto e médio termo através de modelos robustos, são de extrema importância para os processos de suporte à decisão e são cada vez mais utilizadas a nível internacional e nacional (Hamil *et al.*, 2014; Lowe *et al.*, 2016; Pasqual *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2019 c, Pinho *et al.*, 2014; Pousa *et al.*, 2019 e Quadro *et al.*, 2012) e em constante desenvolvimento.

Pasqual *et al.* (2016) referem que as previsões meteorológicas são fundamentais, não apenas na relação entre o homem com o meio ambiente, mas também no desenvolvimento de diversas atividades económicas.

Os modelos de previsão numérica são atualmente utilizados com base numa enorme quantidade de dados e no uso de tecnologia avançada para monitorizar a atmosfera terrestre.

O conhecimento do desempenho dos modelos atmosféricos e a respetiva incerteza associada é de extrema importância para a compreensão dos processos físicos que ocorrem na atmosfera, pois através deste conhecimento é possível criar ferramentas que nos permitam uma resposta efetiva, no que

diz respeito à mitigação de riscos associados com eventos meteorológicos extremos agravados pelos impactos das mudanças climáticas.

É inequívoco que a frequência e a escala dos danos causados por eventos meteorológicos, nomeadamente chuvas torrenciais aumentaram exponencialmente, corolário das alterações climáticas e do aquecimento global, é portanto crucial a previsão de alerta de cheias para pequenos, médios e até grandes rios, sendo a modelação hidrológica e hidrodinâmica um elemento fundamental para uma gestão eficaz de recursos hídricos (Duong *et al.*, 2019; Hsu e Liu, 2019; Kim *et al.*, 2019 e Shi *et al.*, 2019).

No estudo dos processos de infiltração, os modelos hidrológicos das bacias hidrográficas onde se inserem os SSAR, constituem ferramentas com enorme potencial de exploração, salienta Moreira (2005). Permitem avaliar condições de evolução do nível freático e escorrências superficiais e quando utilizados para realizar previsões a partir de resultados de precipitações obtidas com modelos atmosféricos, permitem ainda antecipar eventos onde a afluência às redes possa causar problemas de gestão operacional do sistema (Cândido, 2013 e Moreira, 2005).

As margens dos rios são suscetíveis a colapsos quando ocorrem eventos meteorológicos extremos, causando efeitos nocivos ao sistema, assim como alagamento de terrenos, danos em redes de SAR (muitas vezes localizadas em margens e leitos fluviais) provocando enorme impacto ambiental, alteração de regimes hidrodinâmicos, entre outros (Duong *et al.*, 2019). Com efeito, é crucial recorrer à modelação integrada, envolvendo hidrologia, hidrodinâmica e qualidade, quer para linhas de água, quer para sistema de transporte de efluentes.

Souza *et al.* (2012) apresentam um estudo comparativo entre dois modelos matemáticos, nomeadamente em SWMM (Storm Water Management Model) e HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System). O objetivo foi comparar os resultados da modelação do escoamento superficial pelos dois modelos na bacia do Córrego Samambaia. Neste trabalho utilizou-se o *software* SWMM e SOBEK para o desenvolvimento do modelo hidrodinâmico da rede, sendo os resultados entre os modelos bastante aproximados.

Uma das principais informações de entrada num modelo hidrológico é a precipitação, à qual se poderá associar grande parte da incerteza inerente ao escoamento simulado.

Shi *et al.* (2019) referem que a incerteza é um termo usado em muitas disciplinas e muitas vezes sem definições idênticas. Contudo, a essência está relacionada com a variável associada à diferença entre o verdadeiro estado de um determinado sistema e a sua avaliação observacional ou teórica num espaço e tempo específicos.

É, todavia, um dos desafios da engenharia, debelar e/ou mitigar a incerteza associada aos dados de entrada dos modelos, sendo que a utilização de ferramentas estatísticas são uma boa opção para calibração dos parâmetros de entrada dos modelos (Leutnant *et al.*, 2018).

A modelação hidráulica das redes de drenagem constitui uma ferramenta de enorme potencialidade para auxílio à gestão operacional deste tipo de infraestrutura (Amorim, 2007; Beven, 1993; Beven, 2001 e Butts *et al.*, 2004; Corominas *et al.*, 2010) e tem sido amplamente estudada.

Martens *et al.* (2016) fornecem uma visão geral dos métodos de modelação hidrológica e hidráulica desenvolvidos para *Green City*, na Filadélfia, através do designado programa *Clean Waters*, sendo este o primeiro plano de controlo de longo termo de pontos suscetíveis a derrames.

Morgan *et al.* (2016) descreveram uma avaliação de desempenho multi-escala do SSAR, usando o modelo hidráulico regional para o distrito de Hampton Roads, apoiando na gestão operacional.

Hall e Hunt (2016) apresentam o maior modelo hidráulico de SSAR do mundo com cerca de 135000 nós para toda a bacia de *Minworth*, Inglaterra.

São várias as utilizações deste tipo de soluções abarcando nomeadamente modelos que envolvem linhas de água (Pereira *et al.*, 2019a; Pinho *et al.*, 2011 e Schmidt *et al.*, 2014) e em outros (Joseph-Duran *et al.*, 2014; Hossain *et al.*, 2019; Ocampo-Martinez *et al.*, 2013 e Pereira *et al.*, 2019a) modelos hidrodinâmicos e hidrológicos em SSAR.

Barrack II *et al.* (2016) apresentam casos de estudo sobre avaliação atual de redução de AI usando controladores e uma metodologia relacionada com modelação hidrológica e hidráulica.

As diretrizes para a gestão de águas pluviais urbanas sofreram várias mudanças ao longo do tempo. Eram baseados inicialmente em instalações hidráulicas e sanitárias, que basicamente consistiam no transporte destas águas diretamente para o meio hídrico e em alguns casos através de um sistema

combinado de SAR. Estes sistemas de drenagem convencionais consideram apenas a quantidade de efluentes transportados, desprezando a qualidade e onde muitas vezes o resultado é um elevado custo ambiental (Bouarafa *et al.*, 2019).

A disponibilidade de água numa bacia hidrográfica para os seus diferentes usos e para a preservação dos ecossistemas está indissociavelmente associada à sua quantidade e, principalmente, à sua qualidade. Pela sua importância na degradação da qualidade da água num rio, é fundamental caracterizar as fontes poluidoras, tanto pontuais como difusas, bem como os seus impactos na qualidade dos meios recetores. Com efeito, a degradação da matéria orgânica e a dispersão de microrganismos patogénicos nos meios hídricos naturais, provenientes de fontes poluidoras, podem causar problemas para os ecossistemas por depleção de oxigénio dissolvido, assim como ameaças à saúde pública por transmissão de doenças. Neste contexto, é importante a previsão das consequências da descarga de efluentes de ETAR.

Após o seu lançamento no meio hídrico recetor, a matéria orgânica presente nos efluentes sofre um complexo conjunto de transformações químicas, físicas e biológicas. A importância relativa de cada um desses fenómenos na qualidade da água depende das características e composição das águas residuais e das características biofísicas das águas recetoras.

Ren *et al.* (2019) referem que os microrganismos abrangem uma vasta diversidade em ambientes de água doce. O estado ecológico de microrganismos aquáticos depende de vários parâmetros ambientais.

Kubera *et al.* (2019) abordam a influência adicional de fatores antropogénicos, sendo esta relacionada com risco sanitário, particularmente em áreas urbanas, onde o objetivo do estudo permitiu avaliar o impacto de parâmetros físico-químicos e biológicos sobre a abundância e atividade do bacterioplâncton em diferentes condições espaço temporais na secção urbanizada do rio Brda.

Le *et al.* (2019) explicam como é possível, através de técnicas de *machine-learning*, avaliar as variações espaço-temporais da qualidade da água, abordando um caso de estudo no sistema hídrico de Song Quao-Ca Giang, Vietname.

Dhondia *et al.* (2014) recorrem à plataforma Delft-FEWS para realizar um estudo piloto de previsão de qualidade de água em trinta zonas balneares, em Inglaterra. Cada local está associado a



uma estação meteorológica com transmissão em tempo real e através de um sistema de regras é possível avaliar continuamente a evolução do estado qualitativo da água após diferentes eventos meteorológicos.

Geralmente, utilizam-se dois tipos de indicadores para caracterizar a qualidade das águas superficiais em rios (Burton e Tchobanoglous, 2000; Mendes e Oliveira, 2004 e Sreng *et al.*, 2019) indicadores bacteriológicos e indicadores de presença de matéria orgânica.

O crescimento acentuado da população mundial e do seu preponderante fluxo para as áreas urbanas vem colocando, num contexto de alterações climáticas, novos desafios à gestão ambiental dos ambientes urbanos e à preservação da saúde pública, face aos impactos negativos resultantes da intensa utilização dos meios hídricos urbanos como meio recetor de descargas poluentes geradas nas diversas atividades antropogénicas.

As descargas em meio hídrico acarretam inúmeros problemas ambientais e com efeito, torna-se crucial abordar esta temática de uma forma holística, cujo objetivo é controlar, preservar, restaurar ecossistemas, promovendo o desenvolvimento sustentável em meio hídrico (Duarte *et al.*, 2016).

#### **2.4.1 *Software* de Modelação Hidrológica, Hidrodinâmica e Qualidade da Água**

Existem diferentes soluções de *software* disponível para modelação que resolvem numericamente as equações de escoamentos em superfície livre e de transporte de substâncias indicadoras da qualidade da água. São vários os programas que poderão ser utilizados neste tipo de trabalho destacando-se alguns daqueles com maior número de aplicações, como o SOBEK da Deltares, o RRL do *Catchment Hydrology's Predicting Catchment Behaviour Research Program*, SWMM da USEPA, o HEC-RAS da USACE, entre outros. Apresentam-se a seguir as principais características dos programas que foram avaliados e/ou utilizados no âmbito deste trabalho.

O *software* de modelação SOBEK foi desenvolvido por (WL) *Delft Hydraulics*. Os modelos criados com o programa SOBEK poderão ser incluídos no Delft-FEWS (*Flood Early Warning System*) que constitui uma plataforma tecnológica utilizada para implementação de soluções de previsão hidrológica e sistemas de alerta.

O SOBEK é um *software* complexo e robusto baseado nas equações de *Saint-Venant* unidimensionais no plano horizontal (1DH) utilizado em diferentes aplicações e estudos: na previsão de cheias, na resolução de problemas de modelação hidrodinâmica, na reabilitação de sistemas fluviais e de drenagem, controlo de sistemas de irrigação, projeto de redes de SAR, morfologia de leitos de rios, intrusão salina e qualidade de águas superficiais.

O programa é constituído por sete módulos: hidrologia, hidrodinâmica em canais/rios, redes de águas residuais, controlo em tempo-real, qualidade da água, modelação bidimensional no plano horizontal (2DH) de inundações. Permite a simulação de problemas envolvendo vários destes módulos em simultâneo. É capaz de realizar simulações 1DH e 2DH através de um algoritmo numérico eficiente.

Para além das equações de *Saint-Venant* são ainda utilizadas na construção de modelos unidimensionais, expressões adequadas ao cálculo das características de escoamento em estruturas como por exemplo pontes, passagens hidráulicas, bombas, sifões, açudes, entre outras. Nestas estruturas o escoamento depende dos níveis a montante e a jusante da estrutura, das suas dimensões e de um conjunto de parâmetros específicos de cada uma delas (Pinho *et al.*, 2011).

A modelação do escoamento unidimensional é baseada nas equações de continuidade (eq. 2.1) e de conservação da quantidade de movimento (eq. 2.2).

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad (2.2)$$

onde,

Q = é o caudal  $[m^3/s]$

t = é o tempo [s]

$x$  = é a coordenada unidimensional [m]

$A_f$  = é a área de secção molhada [m<sup>2</sup>]

$g$  = é a aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

$h$  = é a altura de escoamento [m]

$C$  = é o coeficiente de Chézy [m<sup>1/2</sup>/s]

$R$  = é o raio hidráulico [m]

$W_f$  = é a largura superficial da linha de água [m]

$q_{lat}$  = é o caudal lateral unitário [m<sup>3</sup>/(sm)]

$\tau_{wi}$  = é a tensão tangencial devida ao vento [N/m<sup>2</sup>]

$\rho_w$  = é a massa volúmica da água [kg/m<sup>3</sup>]

O programa simula o caudal e a altura de água em redes simples ou complexas, podendo ser constituídas por um elevado número de canais, secções e estruturas. É possível definir diferentes tipos de condições de fronteira, bem como definir as entradas e saídas laterais usando séries temporais ou expressões numéricas. O processo de precipitação/escoamento em áreas urbanas também é possível de se modelar, existindo vários tipos de áreas que poderão ser consideradas, pavimentadas ou não pavimentadas, tendo em conta o uso do solo, a zona não saturada, as águas subterrâneas, a ascensão capilar e a interação com os cursos de água onde ocorrem escoamentos com superfície livre. Para a qualidade da água e problemas ambientais o uso do módulo de qualidade da água oferece um conjunto muito alargado de variáveis indicadoras e processos físicos,

O SOBEK *Urban* constitui uma ferramenta de modelação abrangente para sistemas de drenagem urbanos compostos por SSAR e canais. Permite criar modelos de infraestruturas em novas áreas urbanas ou analisar e melhorar as existentes. O cálculo é extremamente rápido, independentemente da dimensão das redes. Além disto o programa SOBEK *Urban* oferece praticamente qualquer opção de controlo em tempo-real de bombas e comportas. É a ferramenta ideal para a conceção, gestão e renovação de SSAR.

Apresenta-se na figura 2-7, a título ilustrativo, uma vista da interface gráfica do programa onde é apresentada uma rede de drenagem juntamente com uma rede fluvial.

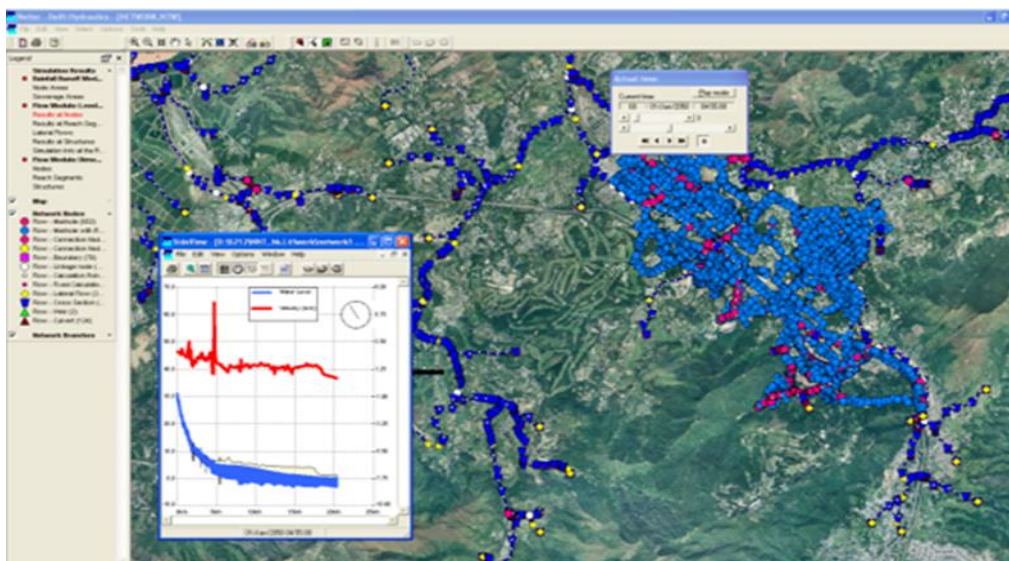


Figura 2-7: Exemplo de modelo implementado no programa SOBEK envolvendo uma rede de drenagem e uma rede fluvial (Deltares, 2017).

O programa *River Analysis System* (RAS) foi desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC) do U.S. *Army Corps of Engineers* e é frequentemente denominado de HEC-RAS. O sistema é constituído por uma interface gráfica (GUI), por componentes de análise hidráulica, pela capacidade de armazenamento e gestão de dados, ferramentas de produção de gráficos e relatórios.

O HEC-RAS é utilizado para cálculos unidimensionais de escoamento superficiais permanentes e não permanentes, cálculo do transporte sedimentar e análise de qualidade da água.

Os modelos de cálculo utilizados são baseados na equação de conservação de energia unidimensional. As perdas de energia por atrito são avaliadas através da equação de *Manning* e as perdas devidas a contração/expansão utilizando-se um coeficiente multiplicado pela variação da altura cinética. A equação da quantidade de movimento é utilizada em situações onde o perfil da superfície livre apresenta variações bruscas. Estas situações incluem cálculos de diferentes regimes de escoamento (regime variado, gradualmente variado, rapidamente variado), escoamento sob pontes, e situações de confluências de canais. Os impactos no escoamento provocados por obras de engenharia como pontes, túneis, barragens e descarregadores podem ser considerados nos cálculos (USACE, 2016).

Na figura 2-8, apresenta-se, a título ilustrativo, um exemplo envolvendo um trecho fluvial, apresentando o resultado correspondente à área de inundação numa simulação de um evento extremo.

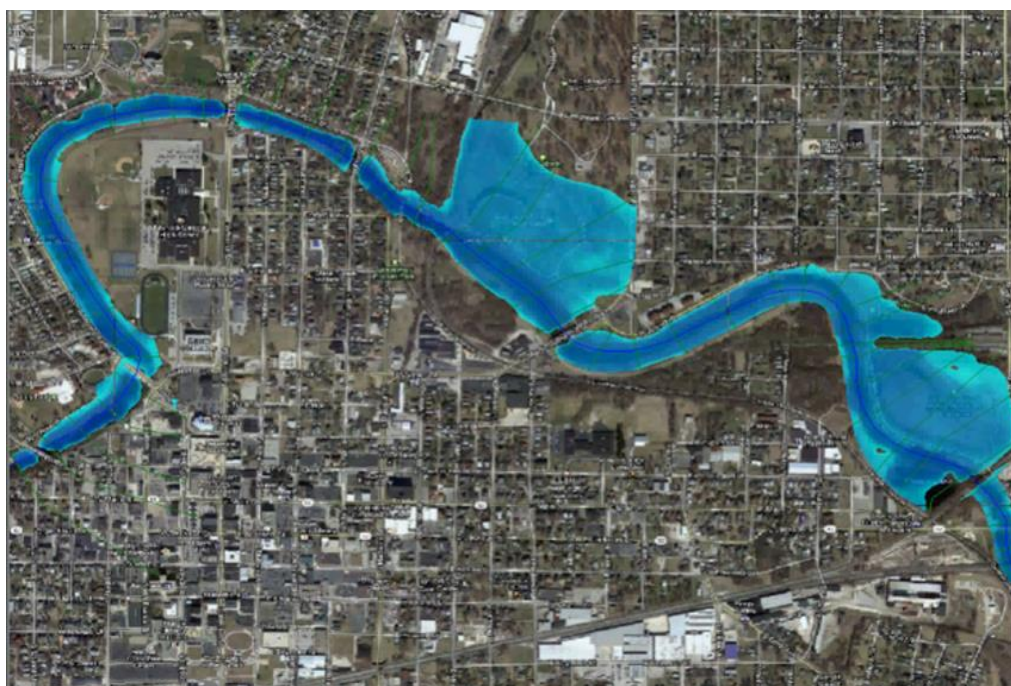


Figura 2-8: Programa HEC – RAS. Exemplo de resultados obtidos numa situação de cheia com ocorrência de inundações (TYC GIS, 2018).

O software *SWMM* (*Storm Water Management Modelling*) da USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) foi desenvolvido em 1971 e tem sido continuamente atualizado, incluindo atualmente um conjunto alargado de opções de simulação de escoamentos sob pressão, e com efeitos de regolfo, bem como ferramentas de análise estatística, elaboração de hidrogramas e de curvas de variação de concentrações ao longo do tempo (EPA, 2016). Contempla dois modelos computacionais: o hidrológico e o hidrodinâmico. O modelo hidrodinâmico é formulado pelas equações de *Saint-Venant*.

Este programa utiliza os seguintes princípios: propagação do escoamento superficial, avaliada pelo método do hidrograma unitário; perdas hidrológicas, incluindo a retenção superficial e infiltração, modeladas pelas fórmulas de *Horton* e *Green-Ampt* e pelo “número do escoamento” do *Soil Conservative Service* (Ferreira, 2006).

A propagação do escoamento superficial é descrita pelo modelo cinemático e a propagação do escoamento na rede de coletores (eq. 2.3) pode ser descrita pelo modelo dinâmico completo (equações completas de *Saint-Venant*), ou pelo modelo cinemático ou difusivo.

$$\gamma \cdot A_f \cdot \left( \frac{\partial h}{\partial x} - i \right) + \gamma \cdot A_f \cdot J + \rho_w \cdot \left( \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \beta QV}{\partial x} \right) = 0 \quad (2.3)$$

onde,

$\gamma$  = é o peso volúmico da água [ $N/m^3$ ]

$J$  = é a perda de carga unitária [-]

$\beta$  = é o coeficiente da quantidade do movimento (que se admite igual a 1) [-]

$V$  = é a velocidade uniforme fictícia em cada secção transversal (m/s)[-]

O primeiro termo da equação (2.3), também designada por equação da dinâmica, corresponde às forças actuantes sobre o volume de controlo (peso e pressão), o segundo termo às forças tangenciais (forças de atrito, dadas pela perda de carga hidráulica) e o terceiro à aceleração local e convectiva do escoamento (termo de inércia). Em regime uniforme e permanente, as grandezas  $U$ ,  $h$  e  $A$  são constantes ao longo do tempo e do percurso; em regime permanente mas não uniforme (regime variado com regolfo), estas grandezas não variam com o tempo mas variam ao longo do percurso; em regime variável, podem variar com o tempo e ao longo do percurso (Ferreira, 2006).

Para a resolução das equações básicas devem ser consideradas as seguintes equações adicionais:

- Equação da resistência (fórmulas de perda de carga, nomeadamente as fórmulas de Darcy-Weisbach ou de Colebrook-White, ou as fórmulas monómias empíricas de Chezy ou de Gauckler-Manning-Strickler);
- Condições iniciais (de volume e altura de escoamento ao longo do percurso);

- Condições fronteira (de forma a caracterizar as variações de caudal ou de altura do escoamento nas extremidades de cada troço, incluindo perdas de carga localizadas, armazenamento em câmaras de visita, descarregadores e eventuais níveis de maré).

Consoante a metodologia de resolução das equações de *Saint-Venant* e os termos da equação que se desprezarem, podem ser obtidos os seguintes três modelos hidrodinâmicos:

**Modelo cinemático** – modelo simples, em que o escoamento é calculado assumindo-se o equilíbrio entre as forças resistentes e gravíticas. Não se adequa a modelar situações de regolfo.

**Modelo difusivo** – modela o atrito no perímetro molhado, as forças de gravidade e despreza a inércia (permite a modelação em condições, em que as variações de inércia são desprezáveis).

**Modelo dinâmico** – considera todos os termos da equação de conservação da quantidade de movimento, permitindo a simulação correta de regimes transitórios. Deve ser utilizado quando as alterações nos parâmetros de inércia, ao longo do tempo ou do espaço, não são desprezáveis (exemplo dos coletores pouco inclinados e existência de reduzidas forças de atrito).

Na figura 2-9 apresenta-se a título ilustrativo, um exemplo da interface do programa SWMM envolvendo a simulação de uma rede de drenagem.

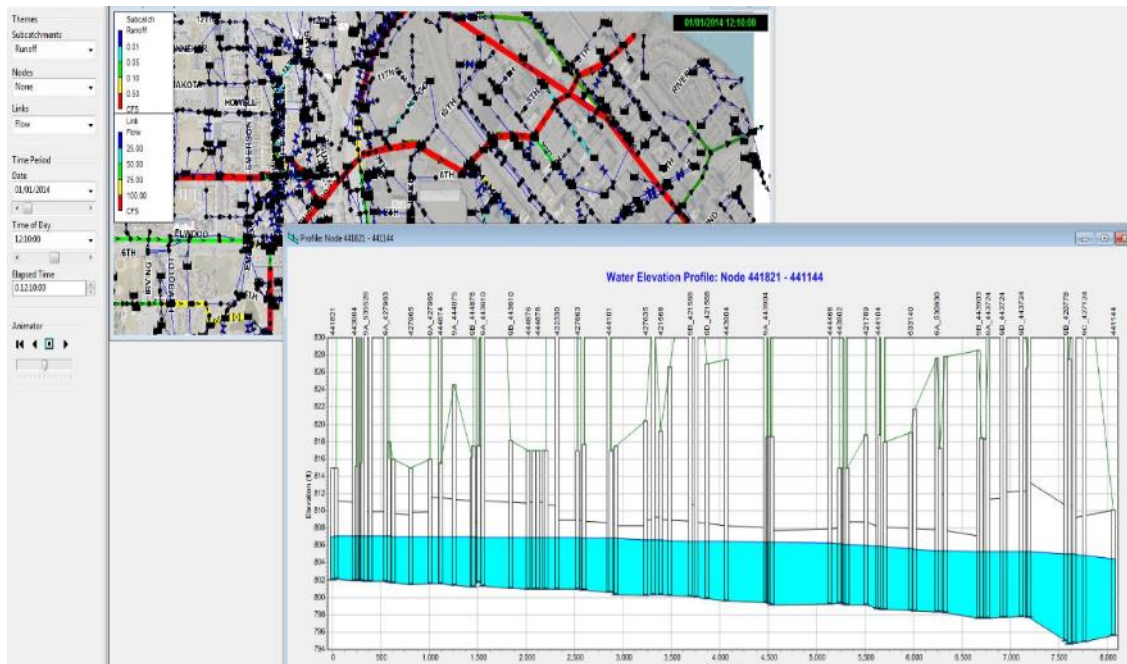


Figura 2-9: Programa SWMM: exemplo de um modelo de uma rede de drenagem com vista parcial em planta e perfil de um coletor (MWWO, 2019).

O *software* RRL foi desenvolvido na Austrália, pelo *Catchment Research Center for Catchment Hydrology*, em 2002. O modelo *Rainfall Runoff* permite calcular os diferentes tipos de escoamento à escala da bacia hidrográfica em função da precipitação, e evaporação medidas, recorrendo a diferentes formulações de modelos hidrológicos. Um dos modelos implementados é o modelo de Sacramento que também é utilizado no programa SOBEK.

São de esperar erros na previsão dos caudais devido a, previsões de precipitação incorretas, erros na estimativa da precipitação média sobre a bacia, erros na formulação do modelo e erros nas estimativas de evaporação (Neto *et al.*, 2007). Adicionalmente o *software* apresenta um conjunto de ferramentas que permitem proceder à calibração automática recorrendo a diferentes algoritmos de otimização que são utilizados na minimização dos erros entre valores simulados e medidos, permitindo estimar o valor dos dezassete parâmetros envolvidos no modelo de Sacramento.

A implementação do modelo é feita através da divisão da bacia hidrográfica em diferentes sub-bacias interligadas por canais. Nas sub-bacias a precipitação é transformada em escoamento, sendo consideradas homogêneas a precipitação e as respetivas características.



O modelo de Sacramento divide o solo em duas camadas principais, sendo que na camada superficial ocorrem os processos de evaporação, percolação e escoamento superficial e na camada interior ocorrem os processos de transpiração, recarga do aquífero e escoamento de base.

O princípio de funcionamento do modelo pode ser resumido da seguinte forma: a água é armazenada numa porção de solo como água sob tensão superficial, até que a sua capacidade de armazenamento seja atingida, a partir desse momento, toda a água adicionada ao sistema será armazenada como água livre. A variação do volume de água sob tensão superficial ocorre através de evaporação ou transpiração, enquanto a água livre também sofre decaimento devido à percolação da camada superior para a camada inferior.

O caudal instantâneo corresponde ao somatório dos seguintes escoamentos:

- **Escoamento direto**, proveniente da precipitação que cai sobre a superfície impermeabilizada da bacia;
- **Escoamento superficial**, proveniente da chuva após a saturação do solo;
- **Escoamento sub-superficial**, em função do grau de saturação parcial da subzona de água livre da camada superior;
- **Escoamento de base primário e suplementar**, proveniente da subzona de água livre primária e suplementar da camada inferior.

O modelo é composto por uma série de reservatórios com o intuito de simular as capacidades de armazenamento do solo. Os diferentes tipos de reservatórios considerados são:

- água sob tensão superficial da camada superior que representa o volume de água que pode ser adicionado ao solo antes que qualquer volume de água se encontre livre;
- água livre da camada superior que representa o volume de água que se escoar no solo, dando origem ao escoamento sub-superficial;
- água sob tensão superficial da camada inferior que se refere ao volume de água necessário para satisfazer as necessidades de humidade do solo que fica retida por atracção molecular;
- água livre da camada inferior - volume de água que preenche os vazios do solo na camada inferior e é responsável pela geração do escoamento de base.

À medida que se adiciona água proveniente dos eventos de precipitação estes reservatórios são preenchidos, simulando a infiltração da água no terreno. Numa primeira fase a água é totalmente absorvida até que seja atingido o ponto de saturação de água sob tensão superficial. Quando a quantidade máxima de água sob tensão superficial no solo é atingida, todo o volume de água que lhe seja adicionado ficará livre. O esvaziamento ocorre por percolação, evaporação ou drenagem lateral. No modelo é possível distinguir na bacia as regiões permeáveis e impermeáveis.

No modelo de Sacramento a parcela correspondente à área impermeável da bacia não é constante, podendo sofrer alterações consoante as condições de humidade da bacia. Esta fração tem como objetivo simular a área impermeável adicional gerada pelo preenchimento de pequenos reservatórios e percursos temporários de fluxo de água lentos, que fazem com que as características de impermeabilidade sofram variações à medida que a superfície do solo se torna húmida. Existem três áreas definidas no modelo, sendo elas:

- **Permeável:** áreas que produzem escoamento superficial apenas quando a intensidade de chuva é superior à capacidade de infiltração do solo;
- **Permanentemente impermeável:** áreas cobertas por rios ou lagos que produzem escoamento direto independente da intensidade da chuva;
- **Ocasionalmente impermeável:** fração da bacia que se torna impermeável quando a capacidade máxima de água sob tensão superficial for atingida.

Resumidamente o modelo de Sacramento é constituído por duas componentes, água livre e água sobre tensão superficial, camada inferior e superior e respetivos escoamentos (figura 2-10).

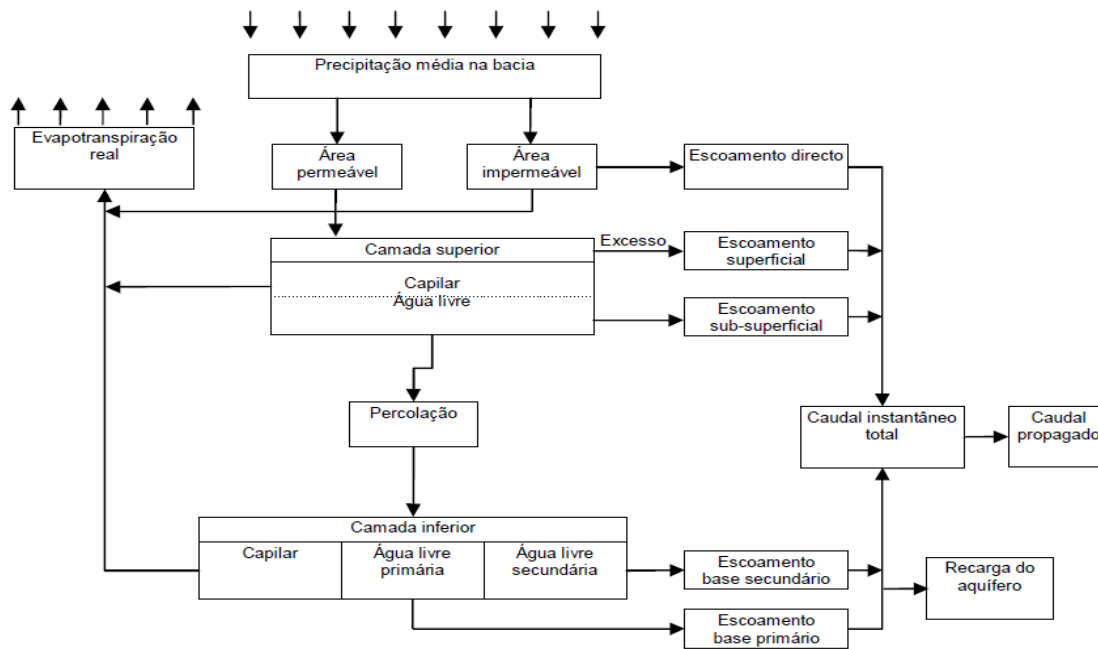


Figura 2-10: Esquema de funcionamento do modelo hidrológico de Sacramento (Vieira e Pinho, 2014).

O *software* RRL contém no total cinco modelos precipitação-escoamento, oito algoritmos de otimização global para calibração automática, dez tipos de funções objetivo, baseadas em diferentes métricas de avaliação de desempenho dos modelos e uma interface gráfica de visualização de resultados. (CRC, 2004).

Um modelo hidrológico é calibrado escolhendo um dos modelos precipitação-escoamento e combinando os algoritmos de otimização com as funções objetivo. (CRC, 2004)

Os cinco modelos precipitação-escoamento disponibilizados são:

- AWBM
- Sacramento
- Simhyd
- SMAR
- TANK

O utilizador tem ainda a possibilidade de seleccionar entre 18 opções distintas, combinando funções de erro (objetivo) e métodos de otimização. A escolha da função objetivo e do algoritmo de otimização é uma etapa fundamental para que o modelo tenha um bom desempenho.

A otimização traduz-se na procura do valor de uma variável ou de múltiplas variáveis que conduza ao melhor resultado para uma função dependente dessas variáveis, representando o objetivo desejado, a denominada função objetivo (Celeste e Chaves, 2014).

Os oito algoritmos de otimização global para a calibração incluídos no *software* são:

- *Uniform random sampling;*
- *Pattern search;*
- *Multi start pattern search;*
- *Rosenbrock single-start search;*
- *Rosenbrock multi-start search;*
- *Genetic algorithm;*
- *Shuffled Complex Evolution (SCE-UA);*
- *AWBM custom optimizer;*

E por fim as funções objetivo disponíveis são:

- Critério *Nash-Sutcliffe;*
- Soma dos quadrados dos erros;
- Raiz quadrada da média dos erros quadrados;
- Média das diferenças da raiz quadrada;
- Valor absoluto do somatório das diferenças entre valores observados e valores simulados;
- Soma das diferenças da raiz quadrada;
- Soma do quadrado das diferenças da raiz quadrada;
- Soma das diferenças entre logaritmos dos valores observados e simulados;

Existem ainda três opções disponíveis na calibração, baseadas em duas funções objetivo adicionais:

- Percentagem de diferença entre escoamento observado e escoamento simulado;
- Curva duração escoamento;

Como resultados, o RRL fornece a série de caudais simulados, os valores dos parâmetros encontrados, os coeficientes de correlação e eficiência, os gráficos de dispersão dos caudais diários e mensais e os gráficos de comparação entre os valores de caudais observados e simulados.

## 2.5 Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)

Os sistemas de abastecimento de água e os SSAR têm sofrido importantes desenvolvimentos, onde a incerteza é assumida como um parâmetro intrínseco no processo de gestão, essencialmente motivados pelo progresso tecnológico, mudanças climáticas e desenvolvimento urbano. Assegurar a sustentabilidade destes sistemas sob condições dinâmicas tem vindo a ser proposto em diferentes trabalhos (Lowe *et al.*, 2016; Joseph-Duran *et al.*, 2014; Ocampo-Martinez *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2018 a,b e Pereira *et al.*, 2019 a,b), sendo que as novas tecnologias implementadas e as respetivas infraestruturas devem ser flexíveis, adaptáveis e robustas (Spiller *et al.* 2015).

Na literatura técnica e científica, ainda são pouco claras as melhores opções para uma gestão holística dos recursos hídricos. Neste trabalho realiza-se um esforço de integração de diferentes tecnologias, procurando contribuir para o desenvolvimento de abordagens que considerem uma gestão integrada das infraestruturas com os sistemas naturais. A prossecução de estratégias de gestão otimizada para sistemas de drenagem contribui para a mitigação da vulnerabilidade dos sistemas em questão (Joseph-Duran *et al.*, 2014; Ocampo-Martinez *et al.*, 2013 e Schmidt *et al.*, 2014).

As ferramentas de auxílio ao planeamento e gestão de recursos hídricos à escala da bacia hidrográfica sofreram, nas últimas décadas, um imenso avanço na gestão e geração de informação relevante que suporta a capacidade de tomada de decisões. A interdisciplinaridade necessária para o desenvolvimento e utilização dessas ferramentas exige conhecimentos diversificados e o envolvimento direto dos profissionais interessados na sua conceção e implementação (Vieira e Pinho, 2008). Os SSAR apresentam especificidades que foram objeto de estudo, análise e resolução no âmbito deste trabalho.

Ramamurthy (2016) descreveu um caso de estudo no condado de Jefferson, Alabama, onde relata a integração de várias fontes de dados, incrementando a gestão operacional do sistema de SAR e destacando como o condado implementou o *Microsoft Business Intelligence* para acompanhar e reportar indicadores de desempenho de maior importância para o sistema.

Há um interesse crescente (Vieira e Pinho, 2008; Pinho e Vieira, 2014; Joseph-Duran *et al.*, 2014; Lowe *et al.*, 2016 e Pereira *et al.*, 2019 a,b) em desenvolver e aplicar metodologias de gestão operacional no domínio dos recursos hídricos, especialmente utilizando ferramentas de controlo em tempo real (RTC), tendo vindo a assistir-se a inúmeras implementações (Brown *et al.*, 2015; Campiso 2012; Fricke *et al.* 2016; Fuchs e Beeneken, 2005; Kim *et al.* 2019; Lee *et al.* 2019; Lowe *et al.*, 2016; Meng *et al.* 2017; Puig, 2009; Shishegar *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2018 a,b; Pereira *et al.*, 2019 a,b e Van Daal-Rombouts *et al.*, 2016).

Campiso *et al.* (2012) abordam as tecnologias disponíveis para gestão operacional de sistemas de drenagem, nomeadamente a utilização de atuadores, sensores, controladores e sistemas de telemetria num contexto RTC, avaliando o seu potencial, assim como as respetivas limitações.

Não obstante, o desenvolvimento que se tem vindo a assistir nas últimas duas décadas, há ainda bastante relutância na utilização destas ferramentas. Conforme, se referiu tem-se assistido a grandes desenvolvimentos em meio académico. São ferramentas amplamente consideradas de enorme potencial, contudo no meio empresarial a sua utilização é ainda incipiente.

Kroll *et al.* (2018) relatam a relutância de alguns operadores na utilização de ferramentas RTC em sistemas de drenagem e apresentam um estudo para redes de drenagem, na Flandres, Bélgica. Pretenderam demonstrar a aplicação de novas metodologias de controlo automático de infraestruturas de drenagem, nomeadamente identificar locais suscetíveis a derrames e com isto ter a capacidade de evitar esses derrames através de algoritmos de controlo definidos para estruturas hidráulicas projetadas com essa finalidade.

Uma das possíveis razões para a resistência existente na adoção de ferramentas hidroinformáticas, poderá estar relacionada com a introdução de tecnologias avançadas, onde estas se traduzem para muitos operadores em ferramentas de complexa utilização e naturalmente dispendiosas. Outra razão poderá estar relacionada com a fiabilidade dos equipamentos de monitorização, principalmente para sistemas de SAR, onde as condições do meio são menos propícias para a medição fiável de parâmetros do escoamento. Neste caso, os equipamentos têm de ser manifestamente resistentes para se adaptarem à agressividade do meio, durante um grande período de tempo. Terão de resistir a altos teores de humidade, atmosfera corrosiva, gases, óleos e sedimentos que colocam em causa o bom funcionamento de diversos componentes. Neste sentido, é recorrente existirem falhas na

utilização destas ferramentas e como corolário, os operadores destes sistemas optam por operações manuais em detrimento de ferramentas automáticas inovadoras.

Com efeito, a correta seleção dos equipamentos de monitorização para sistemas de SAR é fundamental para que as medições sejam fiáveis e permitam, assim, uma gestão mais efetiva e eficiente destes recursos.

Os SSAR apresentam grandes extensões e um funcionamento com dinâmicas complexas o que constitui um desafio acrescido para a implementação de controladores em tempo-real. Torna-se assim necessário o desenvolvimento de estratégias específicas adequadas.

A gestão operacional de SSAR procura essencialmente garantir o transporte e tratamento das águas residuais em todas as situações de afluência minimizando possíveis impactos decorrentes de descargas indesejadas resultantes de derrames ou rotura das infraestruturas. O controlo destes sistemas pode ser formalizado por um conjunto de regras lógicas e matemáticas, existindo diferentes tipos de controladores que se podem classificar da seguinte forma (Martins, 2014):

- **Controlo de caudal** - O caudal escoado é definido, realizando-se o seu controlo através de configurações de uma determinada estrutura hidráulica, como a largura de uma possível comporta ou da sua respetiva abertura;
- **Controlo de volume** - O volume alcançado num canal ou reservatório é mantido o mais próximo possível de um volume predefinido;
- **Controlo do nível** - Os níveis no canal ou reservatório são mantidos num determinado nível predefinido.

Outra classificação possível baseia-se na localização do nível a controlar e que tem que ser mantido o mais próximo possível de um nível predefinido em relação à estrutura de controlo:

- **Controlo a jusante** - O nível a jusante da estrutura de controlo é mantido o mais próximo possível do nível especificado. Ao utilizar-se este método, verificando-se falta de água no canal a jusante, adotam-se operações de controlo que permitam a alimentação do canal através da estrutura de montante. Esta característica justifica que este tipo de controlo seja adequado para sistemas de irrigação.

- **Controlo a montante** - O nível da água a montante da estrutura de controlo é mantido o mais próximo possível de um nível predefinido. Ao aplicar-se este método, a água em excesso a montante é descarregada através da estrutura de controlo para jusante. Esta característica torna adequado este método para o controlo dos sistemas de drenagem.

Em alternativa à classificação com base nas características de controlo como apresentado anteriormente, existe também a classificação baseada na teoria geral de controlo, identificando: *feedback control*, em que é corrigida a diferença entre o nível da água medido e o nível predefinido através de um processo repetitivo; *feedforward control*, utiliza as medições ou previsões de uma perturbação e um modelo inverso do efeito dessa perturbação no nível da água, para estimar os ajustes necessários; e o **controlo ótimo**, que tem como objetivo minimizar uma função recorrendo a um algoritmo numérico de otimização, determinando-se assim o valor das variáveis de controlo do problema.

Zeferino (2011) recorre a modelos de otimização para definir a configuração ótima de redes de coletores, a localização, tipo e dimensões de EE, assim como das ETAR. Os critérios de decisão assentam essencialmente em dois aspetos: custos (nomeadamente de instalação, manutenção e operação de equipamentos) e os indicadores de qualidade de água a serem cumpridos no meio hídrico que recebe os efluentes tratados. O modelo base de otimização aplicado, consiste numa formulação determinística com um objetivo de minimização de custo. A função objetivo está sujeita a diferentes restrições assegurando que a rede de coletores seja dimensionada de acordo com as leis e normas vigentes.

Fuchs e Beeneken (2005) descrevem a utilização de ferramentas RTC para o sistema SAR de Viena, Áustria. Apresentam como objetivo avaliar o sistema em condições de incerteza meteorológica, na gestão de caudais em períodos de precipitação mais intensa.

Garcia *et al.* (2015) apresentam um estudo onde caracterizam diferentes tipos de controladores com aplicação em sistemas de SAR, identificando as melhores opções. As estratégias de RTC aplicadas e discutidas dividem-se em dois grupos: algoritmos baseados em métodos heurísticos e métodos de otimização.

Creaco *et al.* (2018) comparam a gestão de diferentes tipos de válvulas de controlo de pressão numa rede de abastecimento de água através de ferramentas RTC.



A medição de precipitação pode ser utilizada de forma eficiente em sistemas de RTC aplicados à gestão de albufeiras. A comparação entre a quantidade de precipitação e a capacidade de armazenamento disponível numa bacia pode ser utilizada para definir as operações de controlo operacional na barragem que domina a albufeira, permitindo evitar/mitigar episódios de inundações e /ou cheias.

Cembrano *et al.* (2011) apresentam uma ferramenta que permite controlar em tempo real redes de drenagem e foi aplicada na cidade de Santiago, no Chile.

Os SAD têm vindo a ser amplamente desenvolvidos e aplicados em meio empresarial, potenciando a gestão operacional de diversos sistemas. Podem ser definidos, como uma solução tecnológica interativa, flexível e adaptável, especialmente desenhada para apoiar o processo de decisão em problemas complexos de gestão estratégica deficientemente estruturados, nomeadamente na avaliação de impactos de medidas de política, contemplando cenários diferenciados (Vieira e Pinho, 2008).

Numa estrutura clássica, inclui capacidades de gestão através de sofisticadas bases de dados, informação, conhecimento, componente de acesso à modelação matemática, interfaces simples, com capacidades gráficas, proporcionando interatividade ao utilizador na aferição de dados.

Assenta usualmente em três componentes principais (figura 2-11) que são: sistemas de informação, sistemas de modelação e sistemas de análise.

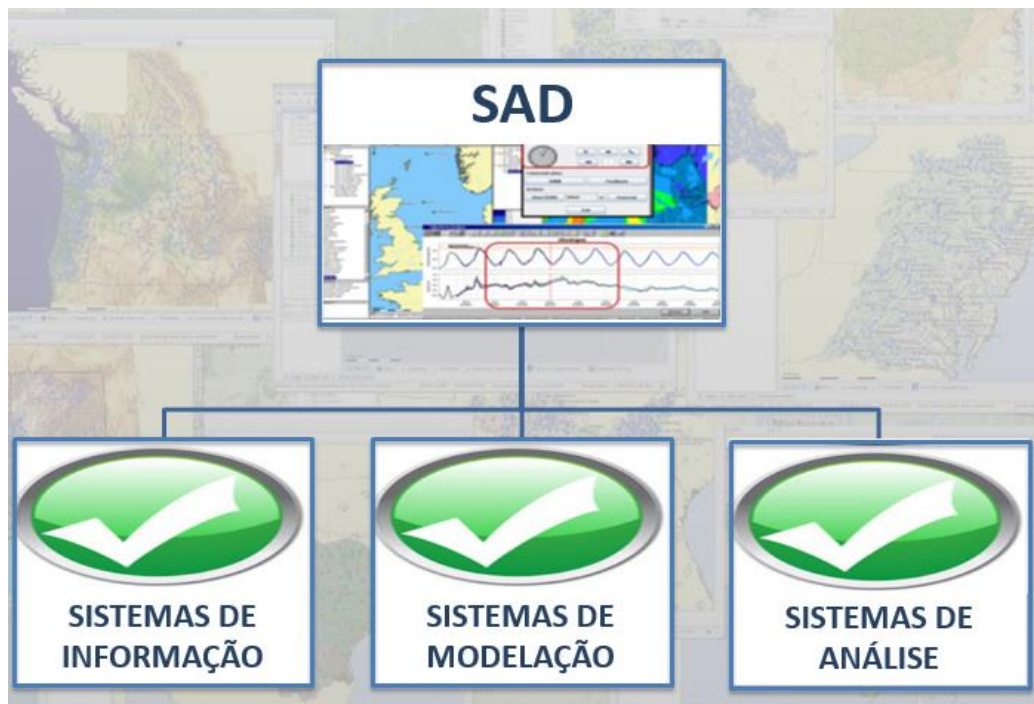


Figura 2-11: Componentes de um SAD.

Sendo que:

- **Sistemas de Informação:** a plataforma deverá incorporar o sistema de informação geográfica, as bases de dados e os meios de difusão de informação.
- **Sistemas de Modelação:** a plataforma deverá possibilitar de forma expedita a inclusão de modelos hidrológicos, hidrodinâmicos e de qualidade de água
- **Sistemas de Análise:** a plataforma deverá apoiar o decisor na melhor opção de gestão, avaliando os impactos e/ ou alternativas em função das diferentes medidas de gestão preconizadas no sistema.

Os SAD apresentam-se como ferramentas de elevado potencial para a melhoria do desempenho das entidades gestoras. A sua adoção depende do conhecimento que aquelas entidades apresentem no domínio da hidroinformática.

A hidroinformática tem sofrido desenvolvimentos apreciáveis nos últimos anos. O aumento das capacidades computacionais tem permitido a criação de modelos de simulação da hidrodinâmica e da qualidade da água em meios hídricos com elevadas resoluções espaciais e temporais. Desta forma, torna-se possível a implementação de modelos operacionais que constituem ferramentas de enorme potencial para a gestão da água. As tecnologias baseadas em ambiente *Web* constituem uma solução

eficaz para a operação remota de modelos hidrodinâmicos e de qualidade de água e para a consulta e atualização da informação de sistemas SIG (Pinho *et al.*, 2011).

### **2.5.1 Plataforma Delft-FEWS**

A plataforma Delft-FEWS é uma das mais recentes plataformas tecnológicas para implementação de sistemas de previsões, que fornece um conjunto de módulos de importação de dados e operação de modelos passíveis de serem utilizados sequencialmente com o objetivo de criar um sistema funcional de apoio à gestão e controlo de recursos hídricos. Permite a importação de dados de fontes externas, como dados meteorológicos ou hidrológicos, tanto monitorizados como de previsão, bem como a integração e operação de modelos hidrológicos e hidráulicos.

Atualmente existem inúmeros modelos hidrológicos e hidrodinâmicos utilizados na previsão operacional. Devido aos avanços na previsão meteorológica, estes modelos transformam-se em requisitos obrigatórios para sistemas de previsão, onde a sua utilização se altera constantemente devido ao aumento da disponibilidade de dados em tempo real de redes terrestres, de radar e sistemas de medição por satélite. Isto exige uma abordagem flexível na criação de um SAD para operação em tempo real, de forma a adaptarem-se a novas necessidades, tanto em sistemas complexos como rudimentares, tendo flexibilidade para inúmeras aplicações, incluindo a previsão de inundações, previsão qualidade da água, gestão de águas subterrâneas, controlo em tempo real ou simplesmente usado como um repositório de dados.

Os processos hidrológicos têm que ser observados numa escala regional, pelo que deverão ser utilizadas tecnologias de deteção remota. A plataforma Delft-FEWS contém um módulo de importação de dados que torna possível a sua gestão em inúmeros formatos distintos através de uma ferramenta desenvolvida para o efeito. Os principais módulos do sistema incluem: controlo de qualidade dos dados de precipitação importados em tempo real, agregação dos dados em intervalos horários, interpolação dos dados utilizando polígonos de *Thiessen*, obtenção de valores de precipitação através de imagens de radar, obtenção de dados resultantes de simulação numérica, entre outros (Werner *et al.*, 2012).

Os elementos do sistema encontram-se interligados por uma base de dados central que obriga a que, tanto a obtenção como o armazenamento dos dados, sejam efetuados por um módulo de acesso. Toda a gestão e operação dos vários módulos é feita através de uma interface *WEB*, o que permite que

o sistema seja independente de uma implementação física de uma base de dados (Pinho *et al.*, 2011). A plataforma Delft-Fews da Deltares é inequivocamente um bom exemplo de solução eficaz para operação remota e implementação de SAD em recursos hídricos.

Na figura 2-12, apresenta-se um exemplo com uma vista principal da plataforma Delft-FEWS, com apresentação da janela do mapa principal, da janela do gráfico e das listas de locais e parâmetros disponíveis na base de dados.

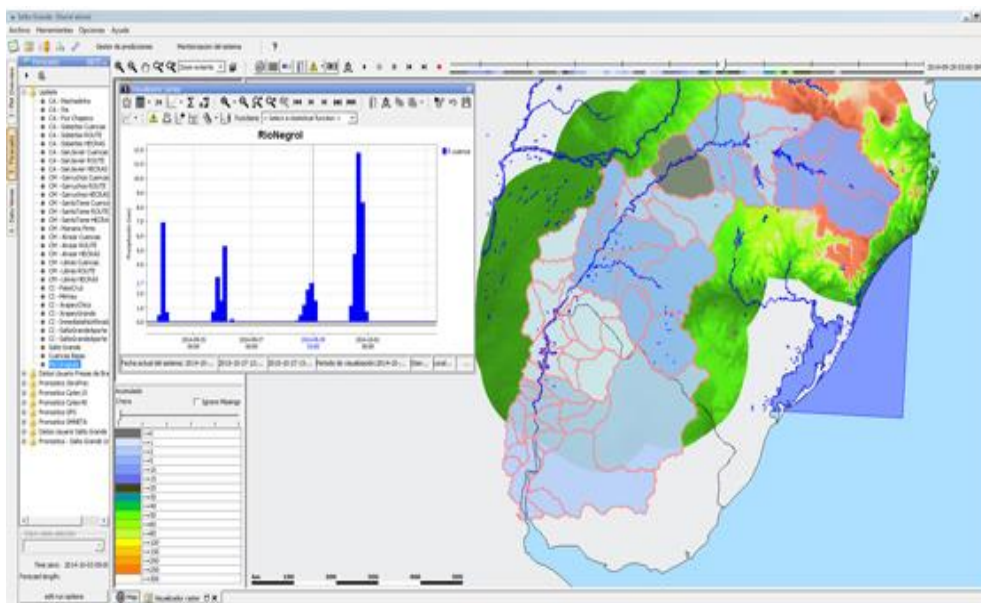


Figura 2-12: Exemplo de vista principal da plataforma Delft-FEWS (RWI, 2017).

É uma ferramenta com enormes potencialidades e flexibilidade na implementação de sistemas de apoio à decisão ambientais, estando bem documentada e sendo disponibilizados exemplos de ficheiros de configuração diversificados. Contudo, exige um elevado grau de especialização e esforço de configuração para se implementar um sistema específico, pois todas as funcionalidades têm que ser configuradas durante a fase de implementação. Tem sido aplicada na integração de inúmeros modelos, a maioria destes usados em centros de previsão operacionais.

A natureza modular e altamente configurável do Delft-FEWS (Deltares, 2018) permite criar um ambiente autónomo para que seja usado efetivamente para armazenamento de dados e tarefas de previsão, ou num ambiente de cliente-servidor totalmente automatizado na criação de sistemas de previsão simples ou em sistemas altamente complexos, utilizando uma ampla gama de técnicas de modelação. Não contém recursos de modelação hidrológica inerentes dentro da sua base de código.

Todavia, incorpora uma ampla biblioteca de manipulação de dados e permite a integração de um conjunto alargado de modelos de previsão externos. A importação de dados externos inclui níveis de água observados, precipitações, conjuntos de previsões meteorológicas normalmente produzidos por agências de previsão meteorológica. Os dados são importados em diversos formatos, tais como *CSV*, *XML*, *NETCDF*, *GRIB* e *ASCII*.

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

---

O presente capítulo sintetiza a metodologia aplicada no desenvolvimento deste estudo. Caracteriza-se o âmbito geográfico previamente aos tópicos metodológicos. Atendendo a que parte representativa da metodologia só é possível com o conhecimento do caso estudo, tornou-se pertinente a sua caracterização prévia. Subsequentemente, abordam-se os trabalhos de levantamento topográfico e a implementação da rede de monitorização. Estabelece-se ainda uma abordagem ao sistema de modelação em rede fluvial e coletores e ainda à modelação da qualidade de água para a bacia do rio Ave. A metodologia utilizada para conversão de dados de refletividade disponibilizados pelo radar meteorológico operado pela Meteogalicia em precipitação, assim como a avaliação à evolução do erro até quatro dias de previsão é também apresentada neste capítulo. Por fim, abordam-se técnicas para controlo em tempo real em estruturas hidráulicas.

### 3.1 Caracterização da Área em Estudo

O SIDVA foi criado e desenvolvido como resposta à degradação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Ave, fenómeno que se acentuou a partir dos meados da década de 80 do século passado e que teve como origem um aumento das descargas de efluentes industriais e domésticos diretamente nas massas de água superficiais. A construção do SIDVA correspondeu a uma solução integrada de drenagem e tratamento conjunto de águas residuais industriais e urbanas da região do médio Ave. Uma solução com estas características apresentou diversas vantagens, das quais se salientam a possibilidade de se verificarem economias de escala e maior facilidade sobre o controlo das descargas das águas residuais tratadas.

O SIDVA contempla 5 ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais), Serzedelo I, Serzedelo II, Lordelo, Rabada e Agra com uma capacidade diária de tratamento de cerca de 140000 m<sup>3</sup> e estão divididas em quatro frentes de drenagem (FD) (figura 3-1): FD4 constituída por uma rede de interceptores que drena para a ETAR de Lordelo, FD5 contempla uma rede de interceptores que afluem às ETAR de

Serzedelo I e Serzedelo II, a FD6 é caracterizada por uma rede que drena para a ETAR de Rabada e por fim a FD9 que culmina com uma rede interceptora a drenar para a ETAR de Agra.

Contempla ainda 320 km de rede interceptora e 8 EE, não obstante a rede explorada (figura 3-2) pela TRATAVE apenas se desenvolve ao longo de 126 km acompanhando o escoamento de diversos rios, nomeadamente os rios Ave, Vizela, Selho, Sanguinhedo, Pele, Pelhe, Trofa, Matadouro, Nespereira e, portanto, abrangendo 5 municípios: Guimarães, Vizela, Trofa, Santo Tirso e Famalicão.

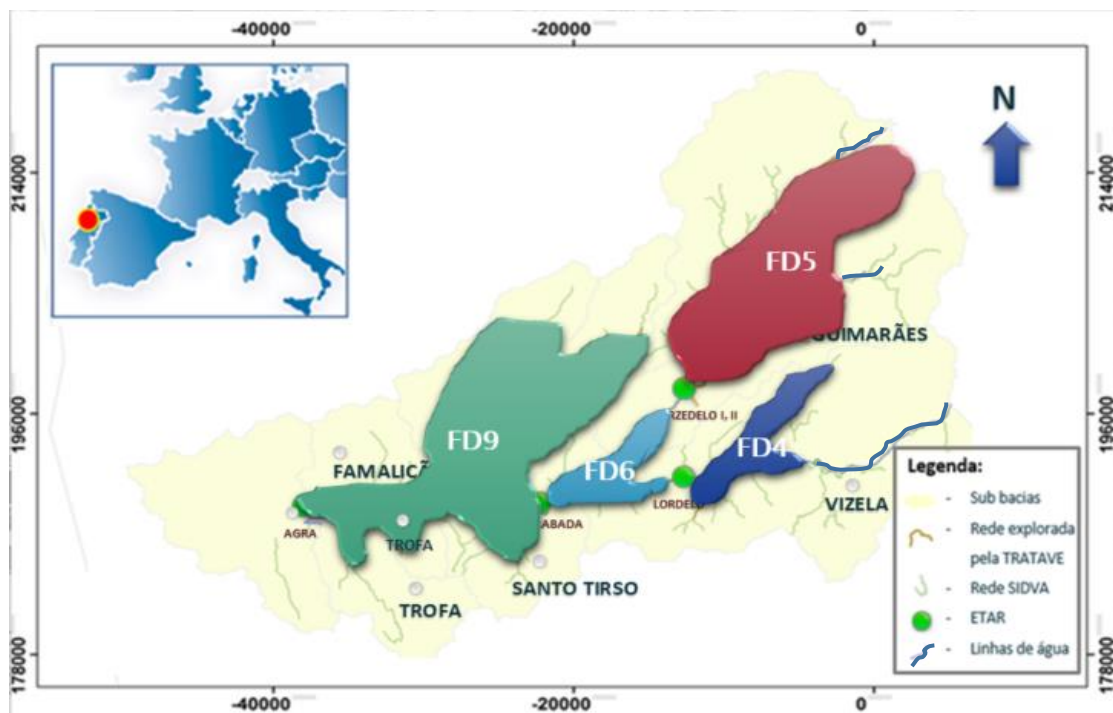


Figura 3-1: Frentes de drenagem do SIDVA geridas pela TRATAVE.



Figura 3-2: Âmbito espacial das infraestruturas do SIDVA.

O trabalho desenvolvido pretendeu melhorar a gestão dos caudais de águas residuais transportados pelos interceptores, detetando pontos sensíveis ao longo da rede interceptora, ou seja, acompanhar de forma efetiva e em tempo-real as condições de escoamento na rede.

Na fase inicial do trabalho analisaram-se diversos indicadores de desempenho, tendo-se concluído que o indicador de desempenho com piores resultados, foi o indicador relativo às AI.

Procedeu-se a uma análise por FD deste indicador e o resultado em 2015 foi crítico, concluindo-se que as frentes de drenagem com necessidade de intervenção prioritária seriam as FD4 e FD6 (figura 3-3). É possível verificar que para as FD4 e FD6 o indicador de desempenho de AI se encontra na ordem dos 30% (rácio entre caudal tratado e faturado). Nestas FD o caudal escoado anualmente é de cerca de 10 milhões de m<sup>3</sup>, tendo sido o ano de 2015 um ano relativamente seco.



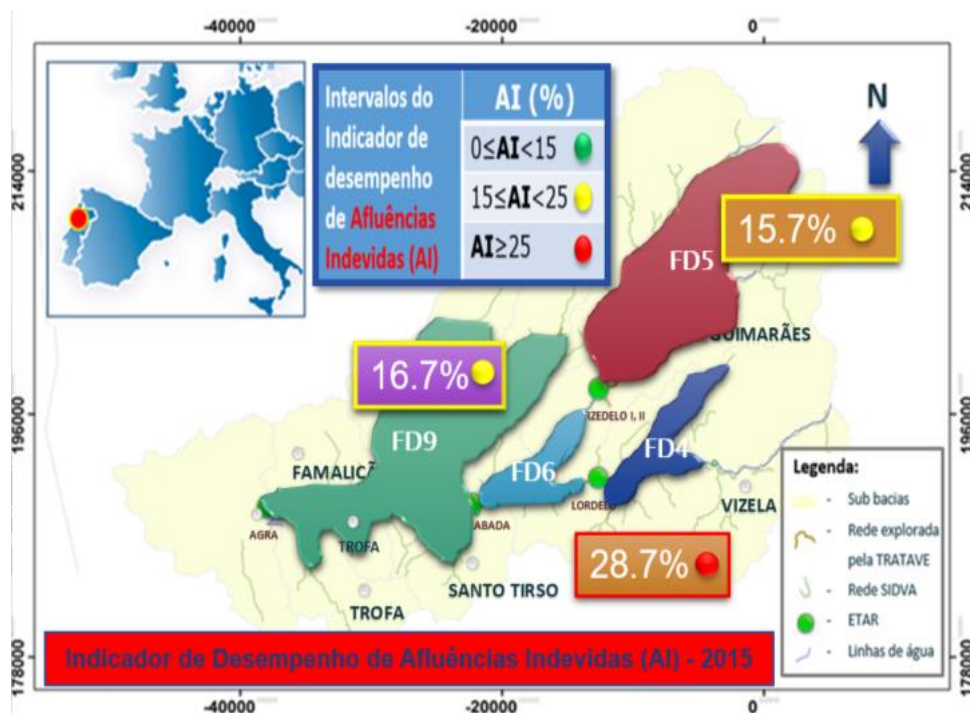


Figura 3-3: Indicador de desempenho das AI por FD na rede explorada pela TRATAVE.

Deste modo o estudo desenvolvido centrou-se nestas duas frentes de drenagem, iniciando-se o trabalho com a definição e instalação de uma rede de monitorização que serviu de base ao trabalho desenvolvido. De facto, a monitorização das condições de escoamento ao longo de grandes extensões de interceptores não era possível numa fase inicial, havendo apenas informação agregada relativa aos utilizadores do sistema (indústrias e municípios).

Definiu-se e instalou-se um sistema de sensores que permite a medição em contínuo de caudais na rede de drenagem e linhas de água, assim como a instalação de quatro estações meteorológicas para registo de diferentes variáveis meteorológicas. Iniciou-se a atualização do cadastro das infraestruturas com toda a informação relevante necessária à sua modelação. Esta atualização envolveu trabalhos de campo sistemáticos com levantamento de toda a informação altimétrica relevante, recorrendo-se a equipamento DGPS.

### 3.1.1 Levantamento Cadastral

O levantamento cadastral é de extrema importância para o desenvolvimento dos trabalhos de implementação dos modelos da rede de drenagem. Uma vez que não existiam levantamentos dos

coletores, foram realizadas campanhas topográficas, que permitiram a caracterização geométrica da rede de drenagem, incluindo cotas de coletores e das respectivas câmaras de visita.

Nos levantamentos topográficos foi utilizado um equipamento GPS com correção diferencial de alta precisão (figura 3-4), o *Mobile Mapper 120* (MM120) adquirido para o efeito. Este equipamento, graças à tecnologia Z-BLADE apresenta uma elevada precisão mesmo em ambientes difíceis, nomeadamente em zonas com árvores e vegetação abundante. É um equipamento robusto, de utilização intuitiva. Utiliza um recetor GPS MM120 e possui câmara fotográfica incorporada, módulo *Glonass*, modem interno para acesso à internet, o sistema operativo *Windows Embedded Handheld*, *bluetooth 2.0*, módulo RTK para a obtenção de correções diferenciais em tempo real, módulo de pós-processamento, entre outros. (Terra Ges, 2017).

Combinado com a recente atualização do Software MM Field 3.0, ou qualquer outro Software SIG - Arcpad 10, ArcGIS Mobile, DigiTerra Explorer, GVSIG Mobile, entre outros - o MM 120 possibilita a flexibilidade, versatilidade e escalabilidade necessária para responder aos mais diversos requisitos da cartografia móvel, destacando-se as seguintes principais funcionalidades:

- Recetor com 45 canais;
- Precisão Submétrica / Decimétrica /Centimétrica;
- RTK + SBAS (EGNOS + WAAS) + GPS + GLONASS + L1/L2;
- Processador Marvell® de 806 MHz e 256 MB de RAM;
- Sistema Operativo Windows Embedded Handheld 6.5;
- Ecrã TFT Táctil de 3.5 polegadas de alta resolução e *Sunlight readable*;
- Câmera fotográfica de 3 MP;
- Modem celular interno GSM/GPRS;
- Robustez Total: IP65 À prova de água, poeiras, impactos e quedas;
- Conetividade Ilimitada: Bluetooth 2.0, USB, RS232 e *Wireless LAN*;
- Bateria com duração superior a 8 horas;
- Software SIG *MobileMapper Field 3.0*;
- Possibilita a instalação de software SIG ArcPAD 10, ArcGIS Mobile, GvSIG Mobile, DigiTerra Explorer 7;
- Peso: 0.62 Kg com bateria;
- Teclado iluminado;

- Bússola Electrónica.



Figura 3-4: Equipamento DGPS Mobile Mapper 120 (Terra GES, 2017).

As infraestruturas localizam-se essencialmente nas margens do rio Ave e seus afluentes, numa extensão considerável ao longo dos leitos fluviais, acessíveis unicamente através do recurso a uma embarcação. Acrescem as dificuldades colocadas ao levantamento baseado em tecnologia DGPS, resultantes da vegetação intensa e a existência de câmaras de visita completamente soterradas, pelo que a sua localização apenas é possível recorrendo a técnicas CCTV.

Para se ultrapassarem as dificuldades descritas o trabalho de levantamento foi baseado em três metodologias complementares (figura 3-5):

- **Inspeção visual** – permitiu o levantamento das condições de instalação das câmaras de visita, localizando extensões de rede com necessidade de atualização do cadastro existente;

- **Levantamentos altimétricos com DGPS e de características geométricas dos coletores** – possibilitou a execução de uma caracterização geométrica rigorosa das infraestruturas de drenagem, através da realização de diferentes campanhas topográficas;
- **Inspeção CCTV** – permitiu localizar câmaras de visita cujas tampas se encontram ocultadas por pavimentos e/ou aterros.



Figura 3-5: Metodologias utilizadas nas campanhas de atualização do cadastro da rede.

Apresentam-se a seguir, registos fotográficos exemplificativos das situações encontradas durante os trabalhos de campo (figuras 3-6 a 3-8).



Figura 3-6: Levantamento topográfico na margem direita do Rio Ave.



Figura 3-7: Levantamento topográfico na margem esquerda do Rio Pelhe.





Figura 3-8: Vegetação sobre câmaras de visita.

Foram frequentes os trabalhos de desmatção para permitir a realização dos levantamentos topográficos necessários à atualização do cadastro da rede (figura 3-9). No início dos trabalhos elaborou-se um plano de atividades com as infraestruturas a inspecionar. Planeou-se o levantamento topográfico de cerca de 1400 câmaras de visita, referentes às FD4 e FD6. Conseguiu-se efetuar o trabalho com uma taxa de sucesso na ordem dos 99%.

Os levantamentos das câmaras de visita localizadas em leito fluvial foram realizados com o apoio dos bombeiros voluntários de Riba d'Ave (figura 3-10). Em alguns casos foi necessário proceder a escavações com profundidades da ordem de 5 metros (figura 3-11), tendo sido estas câmaras previamente localizadas através de inspeções CCTV.



Figura 3-9: Trabalhos de desmatção.



Figura 3-10: Câmaras de visita localizadas em leito fluvial.



Figura 3-11: Escavação para acesso a câmara de visita.

Na atualização do cadastro foram verificadas e registadas as seguintes características: cota da tampa, cota de soleira (da câmara de visita), cota de soleira da tubagem de montante e de jusante, diâmetros internos ( $\varnothing$ ), desnível do coletor de montante ( $\Delta h$ ) conforme apresentado na figura 3-12.

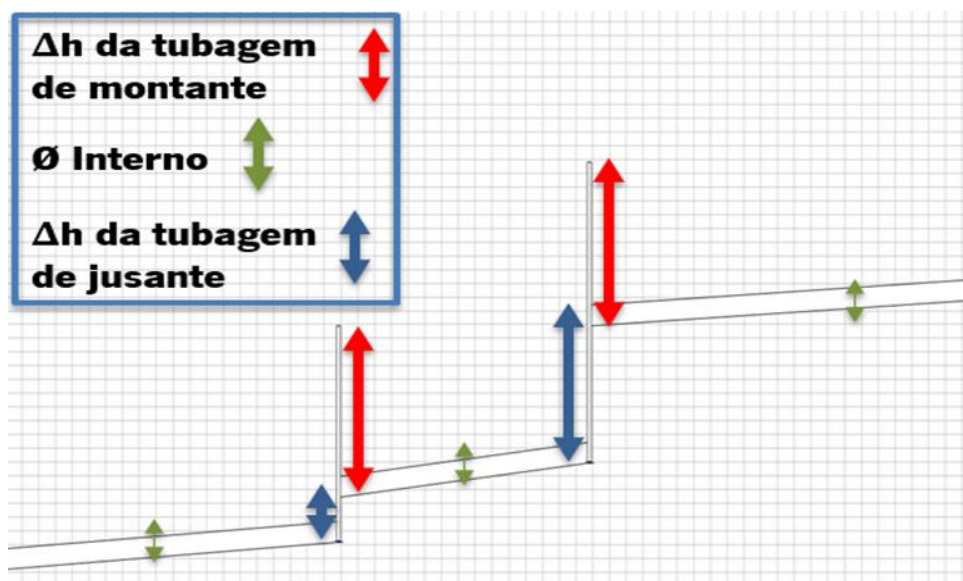


Figura 3-12: Características verificadas e atualizadas no levantamento cadastral.

Na verificação e/ou medição dos diâmetros internos utilizou-se um instrumento especificamente construído para o efeito (Figura 3-13 a)) e varetas extensíveis com nivelamento vertical e horizontal para medição das profundidades nas câmaras de visita (Figura 3-13 b)).





Figura 3-13: a) Instrumento para medição de diâmetro interno de coletores e b) Vareta extensível para medição de profundidades.

Procedeu-se à utilização de equipamento DGPS para a obtenção do cadastro da rede de coletores numa extensão aproximada de 73 km (figura 3-14), contemplando cerca de 1400 câmaras de visita. Não existia conhecimento efetivo da geometria das infraestruturas. Os trabalhos de levantamentos topográficos, simultaneamente com as inspeções visuais e CCTV permitiram a deteção de 283 anomalias em câmaras de visita que foram posteriormente corrigidas (apresentar-se-ão detalhes no capítulo 4.1.1). Estas anomalias, incluem perda de propriedades mecânicas das infraestruturas despoletando a ocorrência de infiltrações, ruturas estruturais, ligações ilícitas e câmaras soterradas.

A restante rede que não foi sujeita a levantamento topográfico através de equipamento DGPS, foi inspecionada visualmente, onde se atualizaram diâmetros internos, material da tubagem e condição infraestrutural. As altimetrias serão atualizadas *a posteriori*.

Na figura 3-14 está representada a rede levantada, evidenciando-se (a vermelho) a extensão da rede em que foi necessário criar o cadastro *ab initio*.

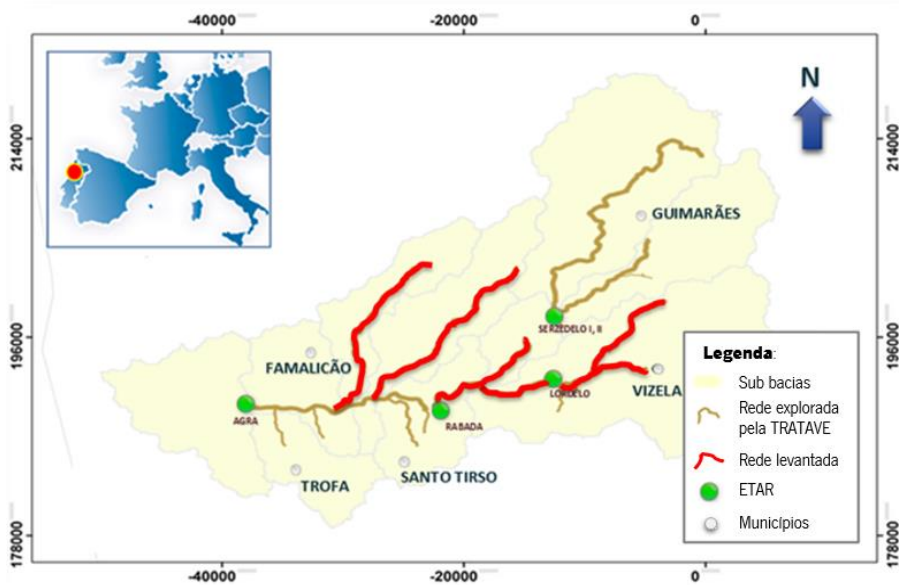


Figura 3-14: Rede de interceptores sujeitos a levantamentos topográficos.

Há uma tendência recorrente para desvio de caudais de forma ilícita, por parte de clientes industriais de grande envergadura. É de conhecimento a localização das infraestruturas, recorrentemente em locais recônditos e com efeito, torna-se aliciante o desvio de caudais das mais variadas formas, nomeadamente com *bypass* ao medidor de caudal ou até descargas diretas em meio hídrico (em períodos noturnos) o que se traduz num impacto económico extremamente representativo por parte destas empresas. O presente trabalho visa eliminar estas ilicitudes, através de técnicas expeditas de controlo visual e hídrico.

Na figura 3-15, apresenta-se um exemplo de uma ligação ilícita, onde na figura 3-15 a) se apresenta a deteção de uma tubagem amovível enterrada, ligada ilegalmente à câmara de visita. Na figura 3-15 b) apresenta-se a mesma tubagem após desaterro, em local inóspito.

Anomalias com esta tipologia são recorrentes, pelo que a utilização de corretas e assertivas monitorizações das condições de escoamento sejam de extrema importância na gestão destes recursos.



Figura 3-15: a) Tubagem amovível enterrada (ligação ilícita); b) Após desaterro de ligação indevida.

Na figura precedente o objetivo da ligação ilícita era desviar caudais que deveriam ser quantificados pelo equipamento de medição de caudal da empresa, de facto esta tubagem servia de *bypass* ao medidor de caudal.

Foram ainda, detetadas inúmeras infiltrações (figura 3-16), que foram posteriormente corrigidas.



Figura 3-16: Detecção de câmara de visita com infiltração.

Após os recorrentes trabalhos de campo foram detetadas várias fragilidades nas infraestruturas que foram imediatamente corrigidas. De forma a acompanhar o bom estado infraestrutural das infraestruturas, surgiu a necessidade de incrementar a monitorização ao longo da rede interceptora. Com

efeito, encetou-se um plano para implementação de equipamentos de monitorização extensível à rede interceptora que se detalhará em 3.1.2.

### 3.1.2 Rede de Monitorização

Neste subcapítulo faz-se uma análise detalhada das opções tecnológicas para monitorizar as infraestruturas. A rede de monitorização é de extrema importância neste trabalho e neste sentido salientam-se as escolhas e respetivas características dos equipamentos de monitorização.

De referir que no início deste estudo existiam dois tipos de monitorização na empresa TRATAVE:

- **Monitorização de clientes industriais**, através de medidores de caudal eletromagnéticos de secção cheia instalados nos principais clientes industriais, que representam mais de 90% do caudal industrial tratado;
- **Monitorização de clientes domésticos**, utilizando medidores de caudal de secção parcialmente cheia, nos pontos de recolha dos efluentes dos municípios, onde a capacidade de medição instalada representava cerca de 60% do caudal doméstico tratado.

Com efeito, a monitorização existente apresentava lacunas no que concerne, ao conhecimento das condições de escoamento (quer nas linhas de água, quer nos interceptores). Existiam medições em clientes industriais e em vários pontos de recolha, contudo devido às grandes extensões dos interceptores e à tendência para ilicitudes, esta monitorização não permitia medir as condições reais de escoamento, onde as AI, conforme se referiu em 3.1, principalmente para as FD4 e FD6 eram extremamente representativas. Neste sentido, implementou-se uma rede de monitorização, visando a medição parcial de diferentes trechos de rede. Consequência da localização dos interceptores se encontrarem predominantemente nas margens do rio Ave e seus afluentes optou-se ainda por colocar adicionalmente três sensores de medição em diferentes trechos de rio. Numa primeira fase, procedeu-se à instalação de 20 equipamentos de monitorização, tendo sido aumentado o número de sensores para 34 ao longo do desenvolvimento do trabalho: 30 medidores de nível SOFREL LT US e 4 estações meteorológicas PCE-FWS.

Nas soluções tecnológicas adotadas, optou-se pela escolha de equipamentos com características de robustez a ambientes agrestes, autonomia energética, forte capacidade de transmissão de dados

(mesmo em locais recônditos), armazenamento de dados, fácil instalação (mesmo em grandes diâmetros) e parametrização, económicos e obviamente com certificado de qualidade das variáveis medidas.

Dada a escassez de estações meteorológicas ativas na rede do SNIRH para a bacia do rio Ave, procedeu-se à instalação de estações meteorológicas PCE-FWS (figura 3-17). Esta estação meteorológica permite medir de forma exata a direção e velocidade do vento, a temperatura, a humidade relativa e a precipitação. Além disso, tem a possibilidade de ativar diferentes funções de alarme, tais como, velocidade do ar, pressão atmosférica, entre outros. As variáveis meteorológicas são enviadas por ondas rádio à base a uma distância máxima de 100 metros. O transmissor é alimentado por um módulo solar e duas pilhas recarregáveis. A entrada USB, que inclui o respetivo cabo, permite transmitir os dados da estação meteorológica para qualquer computador. A transmissão de dados pode ainda ser efetuada em tempo real. Para tal, basta conectar a estação a qualquer base de dados desenvolvida para o efeito. Estes dados são acompanhados por data e hora para se poder analisar através do período de tempo que se entenda necessário.

As principais características, funções, assim como as resoluções da estação meteorológica são:

- Temperatura exterior em graus Celsius ou Fahrenheit (-45°C a 65°C, resolução 0.1°C);
- Temperatura interior em graus Celsius ou Fahrenheit (0°C a 60°C, resolução 0.1°C);
- Humidade relativa interior (1% a 99%, resolução 1%);
- Humidade relativa exterior (1% a 99%, resolução 1%);
- Indicação da pressão atmosférica em inHG ou hPa (919 hPa a 1080 hPa, resolução 0.1/1.5hPa);
- Seleção de pressão atmosférica relativa ou absoluta (919 hPa a 1080 hPa, resolução 0.1/1.5hPa);
- Indicação da precipitação em mm ou polegadas (0mm a 9999mm, resolução 0.1 mm para volumes <1000mm e de 1mm para volumes > 1000mm);

- Indicação da precipitação para 1 hora, 24 horas, 1 semana, 1 mês ou desde a última posição a zero (0mm a 9999mm, resolução 0.1 mm para volumes <1000mm e de 1mm para volumes > 1000mm);
- Seleção da velocidade do vento em mph, km/h, m/s, nós ou Beaufort (0 a 180km/h);
- Indicação da direção do vento;
- Indicador de temperatura Wind Chill (sensação térmica);
- Indicação do ponto de orvalho;
- Previsão do tempo;
- Tendência da previsão do tempo;
- Aviso de tempestade;
- Indicação dos valores meteorológicos;
- Funções de alarme programáveis para diferentes valores meteorológicos.



Figura 3-17: Estação meteorológica (PCE FWS, 2017).

Para medir os caudais na rede de coletores, optou-se pelo equipamento ultrassónico de medição de nível SOFREL LT US da Lacroix (figura 3-18). Esta escolha foi condicionada pelo fator económico. Estes equipamentos foram instalados em locais com lacunas de medição, cujos diâmetros se encontram entre 500mm e 1000mm. Se a opção recaísse por equipamentos eletromagnéticos (os únicos equipamentos com certificado de medidor de caudal) a rede de sensores seria economicamente inviável,



alcançando muito facilmente o valor de aquisição de 500000€. Outra opção seria, por exemplo, equipamentos com sensor para medição de velocidade incorporado. Neste caso os valores seriam, analogamente aos precedentes, economicamente inviáveis, com valores de aquisição da ordem dos 300000€. Outra desvantagem relaciona-se com a complexidade da sua instalação relativamente com as SOFREL LT US.

O rigor dos levantamentos topográficos, conjugado com a precisão do sensor de medição de nível complementado com medições de velocidade de elevada precisão (com o *LaserFlow*) permitiu obter leis de vazão adequadas ao trabalho a desenvolver. Deste modo, os sensores SOFREL revelaram-se bastante versáteis demonstrando ser extremamente efetivos, no que concerne aos requisitos que estavam impostos no plano de monitorização. Revelaram fortes aptidões para:

- Resistir a ambientes agressivos;
- Armazenar dados e realizar a sua transmissão, mesmo em locais recônditos. São efetuadas cerca de 300 comunicações por dia em cada equipamento, tendo o pior cenário uma resolução de sucesso de transmissão de comunicação, sempre acima dos 90%. Esta eficiência resulta da antena GSM/GPRS de alto desempenho;
- Autónomo energeticamente, com baterias de grande capacidade energética, de baixo custo e de fácil substituição;
- Económicos;
- Variáveis (nível e temperatura) com resolução de 0.1% a 1%, portanto bastante preciso para as exigências do trabalho.



Figura 3-18: Sensor SOFREL LT US (LACROIX Sofrel, 2016).

Para além dos sensores de nível instalados, consideraram-se as medições horárias dos medidores de caudal eletromagnéticos de secção parcialmente cheia *Khrono Tidalflex* (figura 3-19) utilizados para efeitos de faturação. Estão localizados nos principais pontos de recolha das bacias municipais (sistemas em baixa). Finalmente, incluíram-se os sensores eletromagnéticos de secção cheia *Khrono Optiflux* que medem o caudal dos clientes industriais.

Nos equipamentos *Khrono Optiflux* o erro de medição é inferior a 1% para velocidades superiores a 1 m/s e inferior a 0,5% para velocidades inferiores a 1 m/s, numa gama de diâmetros nominais entre 25 mm e 1200 mm.





Figura 3-19: Exemplo de medidor de caudal *Khrono Tidalflux*

Foi utilizado o equipamento *LaserFlow* (figura 3-20) para campanhas de medição simultânea de níveis e velocidade do escoamento, tendo em vista a calibração do modelo hidrodinâmico da rede de coletores. Este equipamento mede nível, velocidade e temperatura com elevada precisão. É constituído por um sensor de velocidade *Doppler*, cujo tipo de irradiação é o laser, permitindo aferir velocidades instantâneas em 15 pontos distintos distribuídos na secção do escoamento. O sensor utiliza tecnologia apropriada à medição da velocidade através de um feixe de laser em pontos únicos ou múltiplos na superfície do escoamento a monitorizar. Não obriga ao contacto com o líquido e permite a medição tanto em canais abertos como fechados. Possui ainda um sensor ultrassónico para medição de nível. É altamente resistente a ambientes agressivos, podendo mesmo ficar submerso até um máximo de 100 dias.

Os intervalos de medição das variáveis e respetiva resolução são:

- Nível – de 0 a 3m, com resolução de  $\pm 0.006\text{m}$  para distâncias entre o sensor e a lâmina líquida  $< 0.30\text{m}$  e  $\pm 0.012\text{m}$  para distâncias entre o sensor e a lâmina líquida  $> 0.30\text{m}$
- Velocidade – de 0.1 a 5m/s, com resolução de  $\pm 0.03\text{m/s}$  ( $\pm 0.5\%$ );
- Caudal – resolução  $\pm 4\%$ , dependendo das condições de instalação;
- Temperatura -  $-10^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ .



Figura 3-20: Equipamento de medição *LaserFlow* (TELEDYNEISCO, 2018).

A instalação e infraestruturas de fixação dos sensores e equipamentos de medição foram projetadas no âmbito do trabalho desenvolvido. Um dos objetivos principais foi reduzir os erros de medição. Com efeito uma das soluções consistiu em colocar a sonda diretamente sobre a tubagem, permitindo assim controlar trechos da rede com geometria mais simples e debelando as incertezas geométricas que existem recorrentemente quando são instaladas nas câmaras de visita. Para o efeito, recorreu-se à execução de pequenas obras de alvenaria e serralharia (figura 3-21) para instalação dos equipamentos. A solução passou pela execução de um corte na parte superior da tubagem e pela execução de uma estrutura para fixação do equipamento e respetiva proteção, conforme apresentado na figura 33 e ainda estruturas específicas para colocação em rios (figura 3-22).

Na figura 3-23 a) e b) apresenta-se um canal (*cutthroat*) colocado devidamente numa câmara de visita e ainda em 3-23 c) um exemplo de colocação de uma estação meteorológica.



Figura 3-21: Estruturas criadas para colocação de sensores de monitorização em interceptores.



Figura 3-22: Estrutura para colocação de sensores de monitorização em linhas de água.





Figura 3-23: a) Câmara de visita com instalação de canal *cutthroat*, b) canal *cutthroat* antes da colocação na câmara de visita e c) exemplo de instalação de estação meteorológica.

Uma das tipologias de anomalias identificada durante os trabalhos de campo, foram desvios de efluentes industriais da rede de interceptores para descargas diretas em linhas de água. Estas descargas, ocorriam predominantemente durante a noite. Para a deteção deste tipo de ligações recorreu-se a um equipamento termográfico. Este equipamento permite a criação de termogramas, onde é possível através de uma fotografia a uma determinada distância determinar com exatidão a variabilidade de temperaturas ao longo de uma determinada malha. Os efluentes industriais apresentam elevadas temperaturas pelo que se torna viável a sua deteção.

Foi utilizado o equipamento termográfico Fluke TI 95 (figura 3-24), cujas características são (Fluke, 2019):

- IFOV (resolução espacial) - 5,6 mRad;
- Resolução - 80x80 (6400 píxeis);
- Campo de visão- 26° H x 26° V;
- Conetividade sem fios - Sim;
- Tecnologia *IR-Fusion®* - PIP (46 cm (18 pol.) ou mais);
- Sistema de focagem - Focagem fixa de 46 cm (18 pol.) ou mais;
- *Display* robusto - Diagonal de 8,9 cm (3,5 pol.) (formato vertical);
- *Design* ergonómico e robusto para utilização apenas com uma mão – Sim;
- Sensibilidade térmica (NETD)  $\leq 0,10$  °C à temperatura-alvo de 30 °C (100 mK);
- Gama de medição de temperatura (não calibrada inferior a -10 °C) - -20 °C a +250 °C (-4 °F a +482 °F);
- Alcance mínimo (em modo manual) - 2,5 °C;
- Alcance mínimo (em modo automático) - 5 °C;
- Câmara digital incorporada (luz visível) - Desempenho industrial de 2 megapíxeis.
- Sistema extensivo de memória SD - Cartão de memória SD de 4 GB amovível e cartão SD sem fios de 8 GB (onde disponível);
- Transferência direta por ligação USB ao PC;
- Formatos dos ficheiros de imagem - Não radiométricos (.bmp) ou (.jpeg) ou totalmente radiométricos (.is2);
- Não é necessário software de análise para os ficheiros não radiométricos (.bmp e .jpg);
- Visualização da memória - Navegação com vista de miniaturas e seleção de visualização;
- *Software* - *Software SmartView®*, e aplicação móvel *SmartView®* – *software* completo para análise e criação de relatórios;
- Formatos de ficheiro para exportação com *software SmartView®* - BMP, DIB, GIF, JPE, JFIF, JPEG, JPG, PNG, TIF e TIFF.
- Precisão -  $\pm 2$  °C ou 2% (a 25 °C nominais, o que for superior);
- Correção de emissividade no *display*- Sim (por número e tabela);
- Indicação no *display* da compensação de temperatura de fundo refletida – Sim.
- Paletes padrão 6: tons avermelhados, azul-vermelho, alto contraste, âmbar, metal aquecido, escala de cinzentos.
- Banda espectral de infravermelhos - 9  $\mu$ m a 15  $\mu$ m (onda longa);
- Temperatura de funcionamento - -10 °C a +50 °C (14 °F a 122 °F);
- Temperatura de armazenamento - -20 °C a +50 °C (-4 °F a 122 °F);
- Humidade relativa - 10% a 95%, sem condensação;
- Medição de temperatura de ponto central – Sim;
- Marcadores de ponto - Marcadores de pontos quentes e frios;
- Caixa central (MÍN-MÁX-MÉD) - Caixa de medição de tamanho fixo com temperatura MÍN-MÁX-MÉD;
- Normas de segurança - CSA (US e CAN): C22.2 N.º 61010-1-04, UL: UL STD 61010-1 (2.<sup>a</sup> edição), ISA: 82.02.01;

- Compatibilidade eletromagnética - EN 61326-1:2006 CEI 61326-1:2005;
- Vibração - 2G, CEI 68-2-6;
- Choques - 25G, CEI 68-2-29;
- Quedas Concebidas para aguentar uma queda de 2 metros (6,5 pés);
- Dimensões (A x L x C) - 28,4 cm x 8,6 cm x 13,5 cm (11,2 pol. x 3,4 pol. x 5,3 pol.);
- Peso (bateria incluída) - 0,726 kg (1,6 lb);
- Especificação da caixa - IP54 (proteção contra infiltrações limitadas de poeiras; proteção contra aspersão de água de todas as direções).



Figura 3-24: Equipamento termográfico inserir rede (Fluke, 2019).

O SCADA foi desenvolvido com o suporte do *software* PCWIN2 e funciona através da informação disponibilizada pela base de dados. Esta informação é enviada em tempo real por GPRS/3G, através de uma rede privada de cartões (APN), com tipologia machine to machine (m2m). Cada cartão tem um IP privado (fixo) e apenas comunicam entre si. Na figura 3-25 apresenta-se a arquitetura das comunicações. O SCADA contempla toda a informação relativa aos 34 equipamentos instalados na rede e linhas de água. Foram criados sinóticos para visualização de informação e instaurados algoritmos através de regras de classificação colorida (cores verde, amarela e vermelha) para alturas de lâmina líquida e caudais de forma a potenciar uma mais efetiva tomada de decisão.

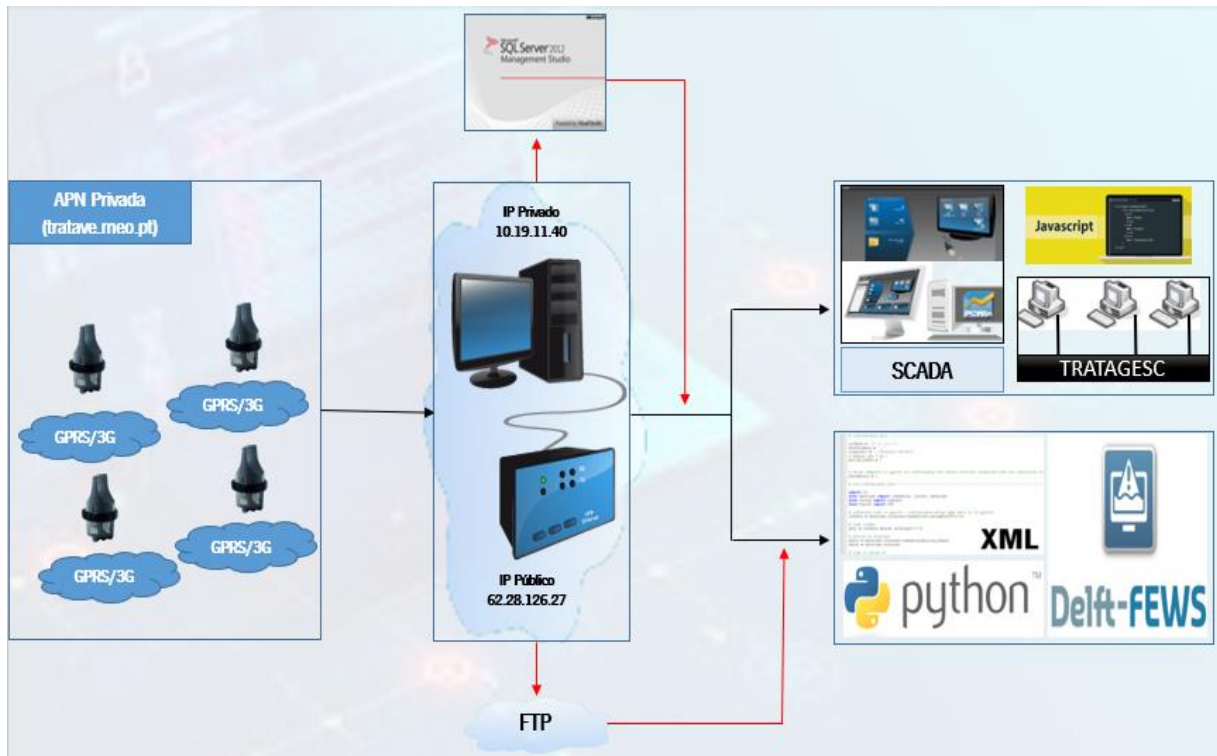


Figura 3-25: Arquitetura de comunicações.

Na figura 3-26 a) apresenta-se o sinótico geral que está implementado no sistema geral da entidade gestora para gestão de caudais e na figura 3-26 b) a seleção de um sinótico individual. Foram ainda configurados procedimentos para aceder a gráficos com a resolução temporal que se pretender.

A geração de relatórios, de forma a estabelecer relações entre os diferentes sensores é também possível através de configurações processadas para o feito.

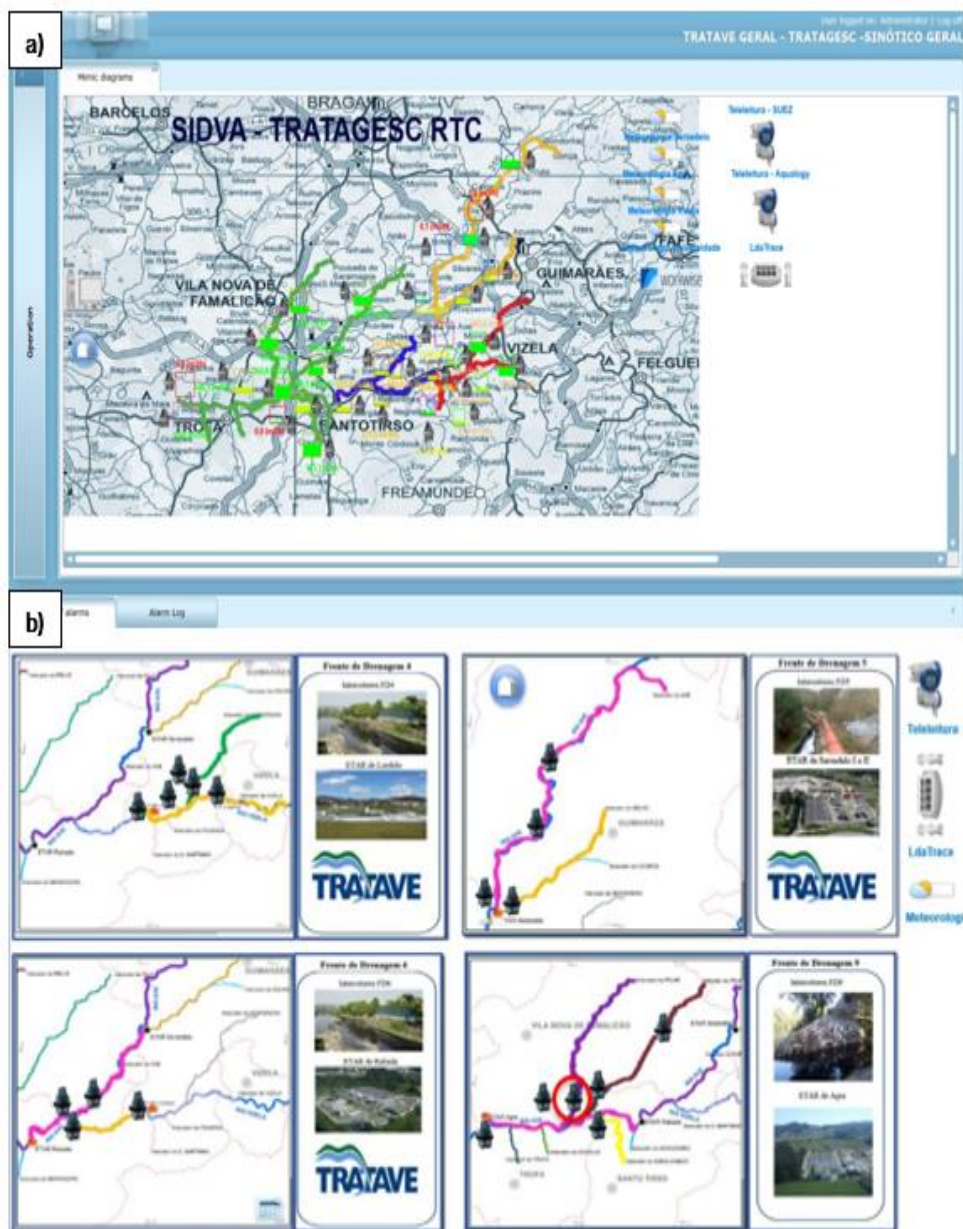


Figura 3-26: a) Sinótico geral da rede de sensores e b) Seleção de sinótico individual (a vermelho).

Na figura 3-27 a) apresenta-se o sinótico para o intercetor do Pelhe representando as componentes inerentes ao mesmo e na figura 3-27 b) demonstra-se um exemplo de gráfico que dá origem aos mais variados relatórios. Toda a informação, nomeadamente, gráficos, sinóticos, relatórios, botões, entre outros são configuráveis e passíveis de mudança quando assim se achar oportuno, o que permite flexibilidade e adaptabilidade de conteúdos.





Figura 3-27: a) Designação de componentes do sinótico e b) Exemplo de relatório.

É inequívoco, o incremento na gestão operacional da entidade gestora, após a implementação deste sistema. Permite um acompanhamento mais efetivo, de forma a mitigar e em muitos casos antever eventuais problemas.

### 3.1.3 Tecnologias utilizadas na implementação do SAD

O SAD, foi implementado num sistema *Windows Server* 2012R2 e está alocado na *cloud*, ou seja, num *datacenter*, sob a gestão da Altice. Através da rede de monitorização implementada adquire-se uma vasta quantidade de informação, que é gerida através do SCADA implementado e que também está integrado com o SAD. Todos os dados são organizados numa base de dados implementada através do *Microsoft SQL Server*.

A figura 3-28 apresenta de uma forma sintética as componentes do sistema, sendo que a componente de informação inclui todos os dados de monitorização, características das infraestruturas e os dados relevantes de gestão operacional. Os dados de monitorização são assim armazenados numa base de dados e então geridas pelo SCADA, conforme se referiu em 3.1.2. Toda a informação é disponibilizada em formato *txt*\* e passível de ser processada em diferentes plataformas através de protocolos de transferência de ficheiros (*file transfer protocol* - FTP). Portanto, na componente de informação é possível gerir a informação das infraestruturas através de ferramentas SIG disponibilizadas, informação de caudais e precipitação.

Nos sistemas de modelação e análise, apresenta-se a integração do modelo hidrológico, hidrodinâmico e de qualidade de água, no que diz respeito a linhas de água e rede de drenagem de águas residuais. Utilizou-se o *software* SOBEK que permite juntamente com os dados de monitorização e previsão avaliar o comportamento hídrico das infraestruturas alertando para pontos suscetíveis a derrames, escoamento fluvial e ainda a avaliação hídrica em função de diferentes eventos meteorológicos. Os processamentos dos dados apoiam na melhor operação do sistema. O modelo é operado recorrendo à plataforma Delft-FEWS. Através de diferentes métricas estatísticas é possível estimar caudais infiltrados tendo em conta padrões de caudais em tempo seco e caudais perante diferentes eventos de precipitação.

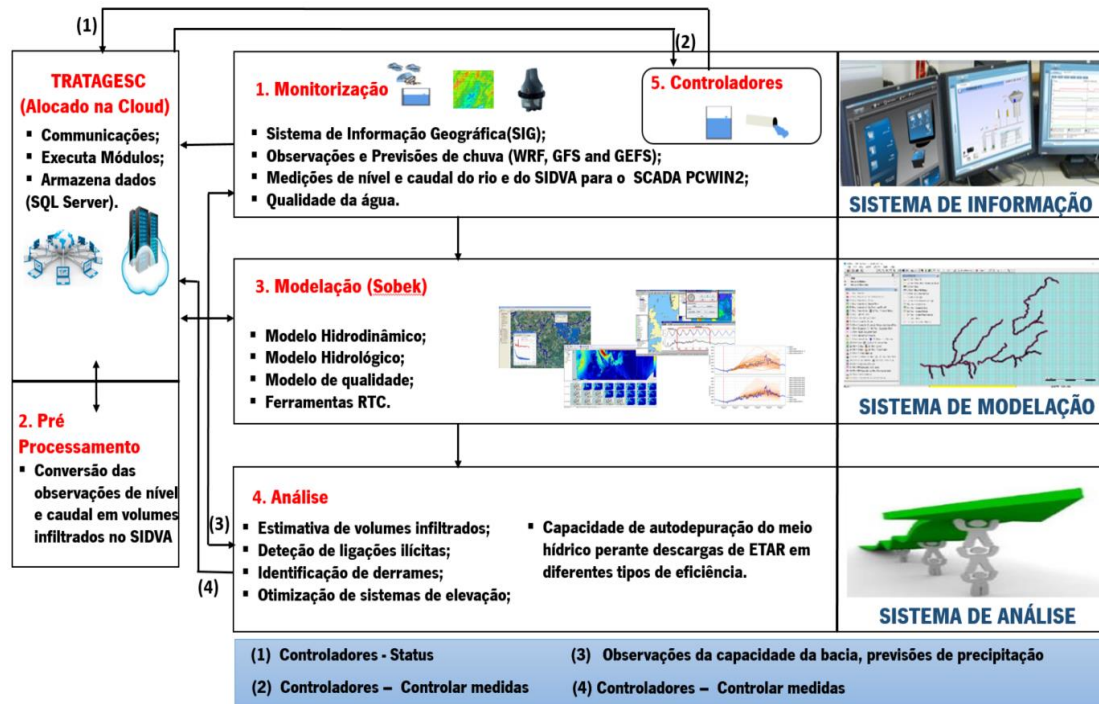


Figura 3-28: Componentes principais do SAD.

### 3.1.4 Plataforma Delft-FEWS

A plataforma Delft-FEWS foi utilizada para acesso à informação meteorológica do SNIRH, às medições do radar meteorológico da Meteogalicia e dos resultados dos modelos de previsão WRF, GFS e GEFS. Na figura 3-29 apresentam-se as principais fontes de informação da plataforma Delft-FEWS, nomeadamente a localização de rede de monitorização do SNIRH e da entidade gestora (Figura 3-29 a)), dados e resultados de modelos da Meteogalicia (Figura 3-29b)).

Os dados de radar e resultados dos modelos de previsão atmosféricos são utilizados para alimentar este sistema. Foram consideradas previsões determinísticas de precipitação: o modelo GFS da NOAA na figura 3-29 c), o modelo WRF da MeteoGalicia na figura 3-29 d)) e os resultados de conjuntos de simulações GEFS da NOAA. O primeiro modelo (GFS) apresenta previsões para um horizonte de 10 dias com uma resolução espacial de  $0.1^\circ$  lon x  $0.1^\circ$  lat em intervalos de 6h. O segundo modelo (WRF), apresenta uma previsão para 4 dias com uma resolução espacial de  $4\text{ km} \times 4\text{ km}$  e resolução temporal horária para uma região que cobre a Galiza e o norte de Portugal. O modelo GEFS apresenta 21 membros com previsão para 16 dias, uma resolução espacial de  $27\text{ km} \times 27\text{ km}$ .

A localização das câmaras de visita relativas ao modelo hidrodinâmico da rede de saneamento apresenta-se na (Figura 3-29 j) e exemplos de resultados do SCADA (Figuras 3-29 e-i).

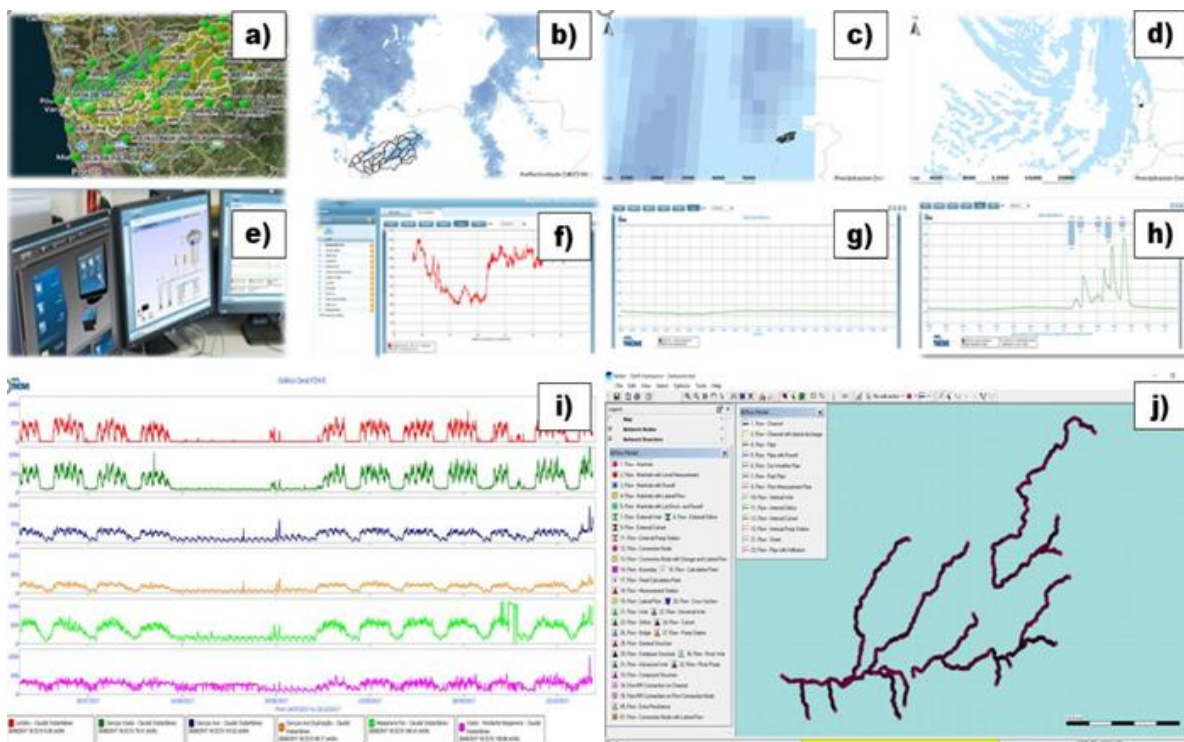


Figura 3-29: Fontes de informação da plataforma Delft-FEWS: a) Rede de monitorização do SNIRH; b) Radar da Meteogalicia; c) Um dos modelos de previsão da NOAA - GFS; d) Modelo de previsão da Metogalicia – WRF; e) SCADA PC WINII; f-i) Geração de dados e g) Câmaras de visita do modelo hidrodinâmico da rede interceptora.

Na plataforma Delft-FEWS os modelos estão definidos de tal modo que é possível simular previsões com base em estados atualizados dos sistemas recorrendo-se a técnicas de assimilação de dados. Para obtenção de dados históricos utilizou-se a plataforma SNIRH através das estações de monitorização instaladas no nosso país e também os dados de quatro estações meteorológicas operadas pela TRATAVE. A fonte de dados externa corresponde a dados de Radar, fornecidos pelo servidor THREDDS (*Thematic Realtime Environmental Distributed Data Service*), operado pela MeteoGalicia. Toda a informação está acessível através de FTP.

A previsão de eventos de precipitação é caracterizada por um elevado grau de incerteza. Para atenuar e avaliar essa incerteza, embora de modo qualitativo, recorre-se aos dados de precipitação de três modelos atmosféricos distintos. Geralmente é considerada uma boa prática considerar um maior número de modelos de modo a permitir a comparação entre os diferentes resultados obtidos. Em qualquer caso, os dados devem estar atualizados para que a previsão seja tão precisa quanto possível.



Para previsões atmosféricas recorreu-se ao modelo atmosférico WRF que tal como os dados de Radar, são acedidos através do servidor THREDDS da MeteoGalicia. Recorre-se ainda aos resultados do modelo GFS fornecidos por um servidor da NOAA e também aos resultados do modelo GEFS, também fornecidos por servidores da NOAA.

A interface inicial da plataforma corresponde a um mapa com as diversas estações de monitorização de cada sub-bacia, nomeadamente estações do SNIRH e da TRATAVE, (figura 3-30).

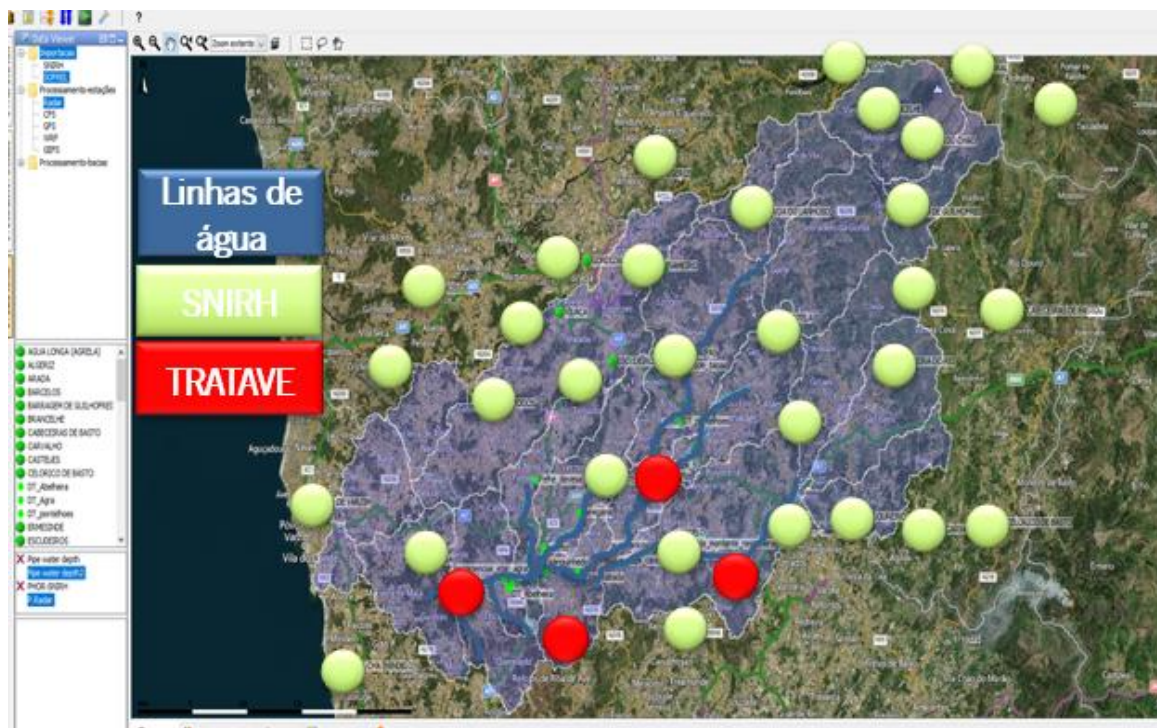


Figura 3-30: Interface gráfica da plataforma FEWS.

O Delft-FEWS permite a visualização de dados espaciais e de séries temporais. Para os dados de observação e previsão, os resultados são apresentados no visualizador de dados espaciais de imagens de satélite, designado como *spatial display*. Para visualização dos resultados em localizações predefinidas, utiliza um visualizador de dados temporais sob a forma de gráfico, identificado no programa como *time series display*.

No *spatial display* podemos observar todo o tipo de dados recebidos de fontes externas. É apresentada a bacia em questão com os resultados devidamente legendados para sua interpretação. É possível ainda criar vídeos dos dados recebidos para visualizar a evolução da precipitação ao longo do tempo ou de outras variáveis georreferenciadas.

Nas figuras 3-31 a-d) apresentam-se imagens com registo da refletividade registada por Radar que inclui a bacia do rio Ave, processada na plataforma Delft-FEWS.

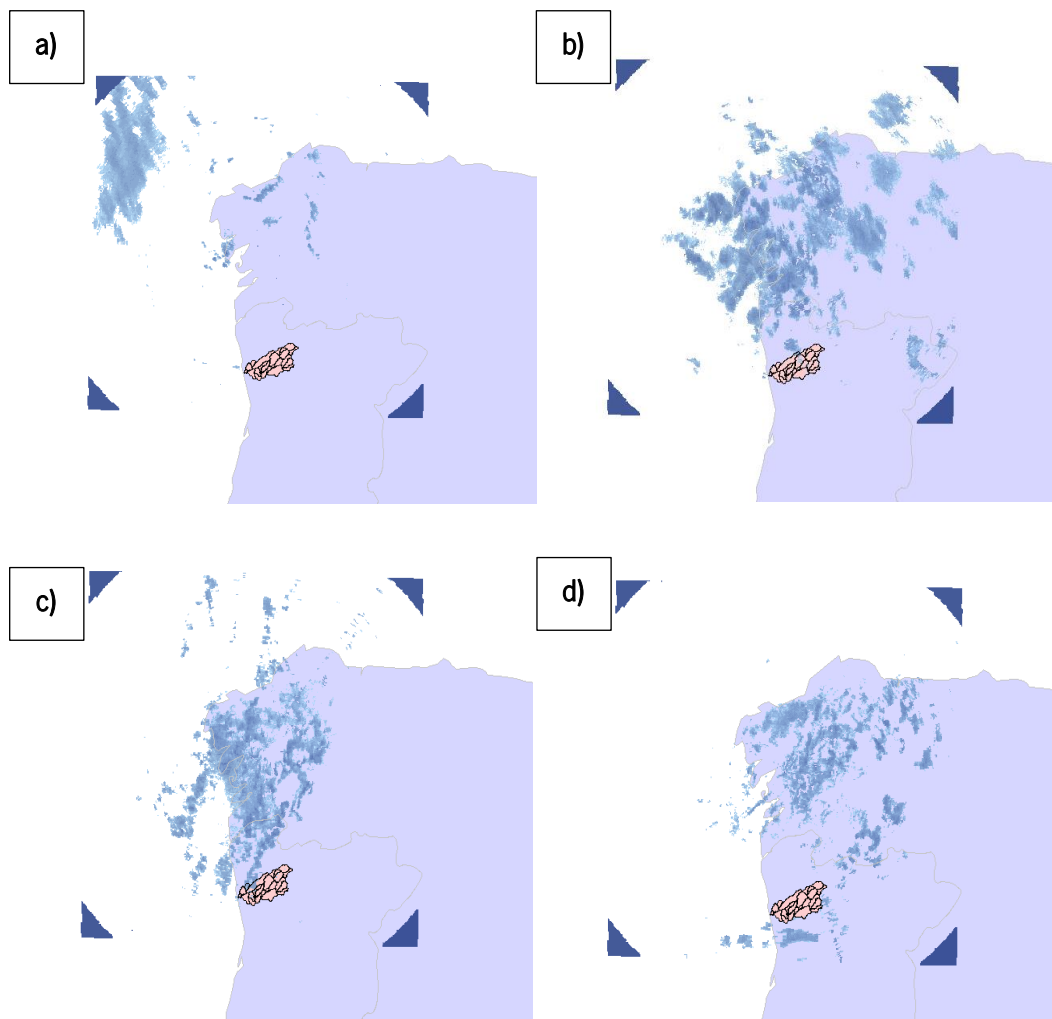


Figura 3-31: Dados de Radar Meteogalicia, Delft-FEWS.

Os resultados de previsão são obtidos na forma de gráficos e tabelas e serão apresentados no capítulo seguinte. Eventualmente, podem ser configurados alertas em função dos valores de previsão.

Todos os procedimentos de acesso a bases de dados externas foram configurados através de rotinas python (figura 3-32). Foram ainda configurados procedimentos de processamento destes dados, nomeadamente de interpolação espacial e que permitem obter em diferentes locais (estações e subbacias) os resultados de observações (radar), previsões (CFS, WRF, GFS e GEFS) e ainda informação da rede de monitorização da TRATAVE, como se pode verificar na figura 3-33.

Estes dados permitem definir e configurar procedimentos adequados para alimentar os modelos hidrológicos e hidráulicos integrados na plataforma.

```

%C:\FEWS-AVE_UM00\regionhome\Import\TRATAVE_get_AP.py - Notepad++
Ficheiro Editar Procurar Visualização Codificação Linguagem Configuração Tools Macro Executar Plugins Janela ?
TRATAVE_get_AP.py
9 dataDirBase = './'
10 outputDir = './TRATAVE/CINCOMIN'
11 # Devera ser 0 ou 1
12 period_nDays = 1
13
14
15 # delay compared to utc+00 for downloading the latest forecast (required time for simulation etc.)
16 delayHours = 1
17
18 # non-configurable part -----
19
20 import os
21 from datetime import timedelta, tzinfo, datetime
22 from string import replace
23 from ftplib import FTP
24
25 # reference time is utc+00 - configurable delay (ifs data is in utc+00)
26 refDate = datetime.utcnow()-timedelta(0,delayHours*3600)
27
28 # time stamps
29 yStr = refDate.date().strftime("%Y")
30
31 # period to download
32 date1 = datetime.utcnow()-timedelta(period_nDays)
33 date2 = datetime.utcnow()
34
35 # time to delay on
36

```

Figura 3-32: Procedimento para transferência de informação.

```

C:\Python27\python.exe
Last-Modified: Tue, 15 Oct 2019 04:33:53 GMT
ETag: "4563cad-405bfc-594eb7de45a2c"
Accept-Ranges: bytes
Content-Length: 32687
Cache-Control: max-age=14400
Expires: Tue, 15 Oct 2019 12:06:04 GMT
Content-Range: bytes 3553638-3586324/4217852
Content-Type: text/plain; charset=UTF-8
Strict-Transport-Security: max-age=31536000; includeSubdomains; preload

[7412 bytes data]
Connection #0 to host www.ftp.ncep.noaa.gov left intact
ownloading file gec00.t00z.pgrb2af120.idx
===== par= APCP, lev= surface =====
Expire in 0 ms for 6 (transfer 0x1ce807230b0)
Expire in 1 ms for 1 (transfer 0x1ce807230b0)
Expire in 0 ms for 1 (transfer 0x1ce807230b0)
Expire in 2 ms for 1 (transfer 0x1ce807230b0)
Expire in 4 ms for 1 (transfer 0x1ce807230b0)
Expire in 5 ms for 1 (transfer 0x1ce807230b0)
Expire in 6 ms for 1 (transfer 0x1ce807230b0)
Trying 140.172.138.66...
TCP_NODELAY set
Expire in 200 ms for 4 (transfer 0x1ce807230b0)

```

Figura 3-33: Transferência de informação por FTP.

### 3.1.5 Modelação das redes fluvial e de coletores

O modelo fluvial utilizado e desenvolvido neste trabalho foi implementado na Universidade do Minho, inclui o rio Ave (figura 3-34 a)) e seus afluentes (Pinho *et al.*, 2011). O modelo da rede fluvial da bacia hidrográfica do rio Ave foi discretizado através de uma rede unidimensional com 1902 nós de cálculo, 18 fronteiras abertas e 34 descargas controladas. Foram ainda consideradas 255 estruturas hidráulicas não controladas. A geometria foi introduzida considerando-se 1936 secções transversais. Foram consideradas 128 localizações com possibilidade de introdução de descargas com origem em fontes tóxicas de poluição. Consideraram-se as principais estruturas hidráulicas com influência nos regimes fluviais dos rios: açudes e aproveitamentos hidroelétricos.

O modelo hidrodinâmico da rede interceptora, implementado no âmbito deste estudo, corre em simultâneo com o da rede fluvial e contempla 2296 nós de cálculo, 14 fronteiras abertas e 25 nós com medição de nível (Figura 3-34 b)).

Para calibração do modelo da rede interceptora, foram realizadas medições, visando estimar os coeficientes de rugosidade dos interceptores. Estes dados incluíram medições simultâneas de velocidades e os respetivos níveis de água, tendo sido utilizado um equipamento de alta precisão com designação de *LaserFlow*, que se referiu em 3.1.2.

Os resultados das medições de campo foram ainda utilizados para a definição de leis de vazão, que permitem estimar os caudais com base nas alturas de água na secção. Foram efetuadas campanhas em 25 trechos de rede com medição em contínuo de nível e caudal (com apoio de equipamento *LaserFlow*). Devido às flutuações de caudais ao longo dos diferentes dias da semana, foi possível uma amostra extremamente representativa de caudais para diferentes níveis de lâmina líquida. Com a análise dessa informação, criaram-se funções polinomiais de grau 2 ( $Q = ax^2 + bx$ ). Estas funções permitem estimar caudais ( $Q$ ) em função dos níveis ( $x$ ). Os parâmetros  $a$  e  $b$  foram obtidos de forma ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ser o mais próximo de 1. Todos os resultados obtidos serão apresentados no capítulo 4.



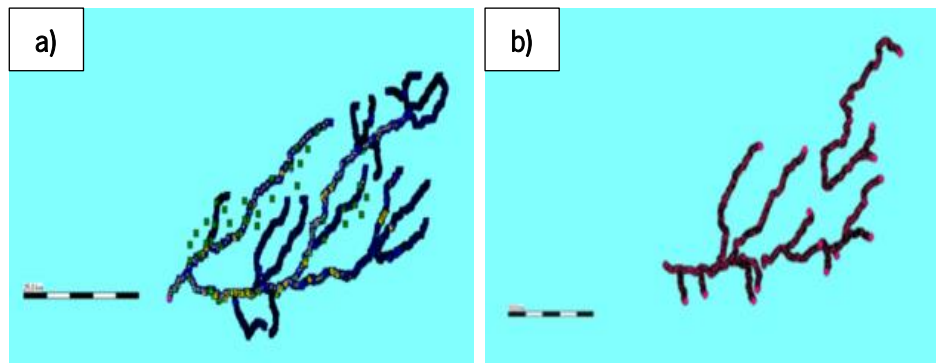


Figura 3-34: Discretização espacial do modelo integrado de linhas de água e rede.

A forma de utilização do SOBEK é relativamente simples. O modelo pode ser construído com base nos elementos geométricos de uma forma bastante eficiente, desde que os elementos cadastrais estejam organizados de forma adequada. A construção do modelo fica completa com a importação dos valores de precipitação e evaporação e com a completa definição das condições de fronteira.

Na figura 3-35 a) apresenta-se o perfil hidráulico de um dos rios estudados, o rio Vizela e em 3-35 b) um dos trechos de rede.

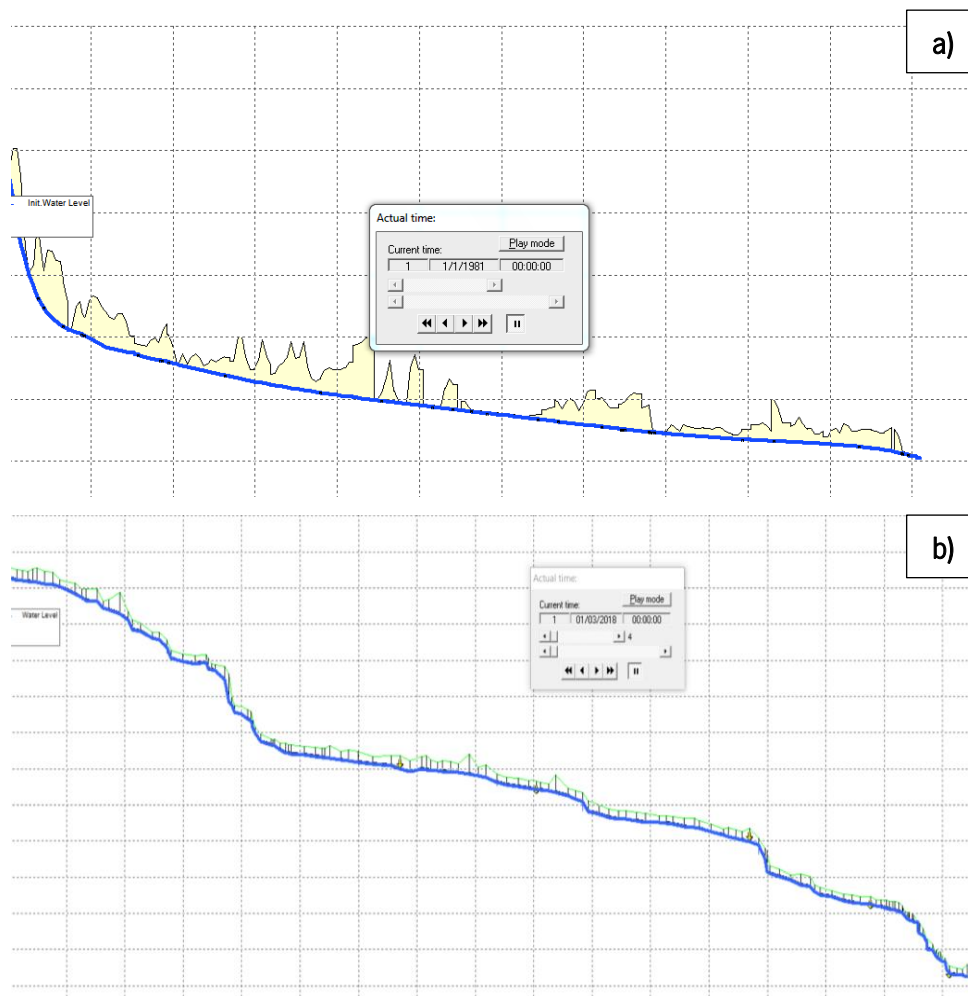


Figura 3-35: Perfis hidráulicos: a) um trecho do rio Vizela e b) interceptor de Nespereira.

A Universidade do Minho desenvolveu um modelo da rede fluvial da bacia do rio Ave através da inclusão do módulo de hidrologia. A bacia foi discretizada em 53 subbacias (figura 3-36) que foram simuladas por nós de Sacramento. Os valores dos parâmetros do modelo de Sacramento foram obtidos por um procedimento de calibração baseado em algoritmos de otimização, recorrentes em várias fontes de dados. Os dados históricos incluem séries de dados hidrometeorológicos do SNIRH, dados de radar da MeteoGalicia e das estações meteorológicas da TRATAVE instaladas em 4 pontos da bacia. Os primeiros foram utilizados para a calibração de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos de três conjuntos de subbacias. Neste trabalho foi calibrado o modelo hidrológico do rio Vizela, foram consideradas séries de dados dos dois últimos anos, correspondente ao período de janeiro de 2018 a maio de 2019.



Figura 3-36: Discretização espacial do modelo hidrológico.

Um dos rios mais importantes afluentes a esta bacia é o rio Vizela (3-37). Este nasce no Alto de Morgair, antiga freguesia de Gontim, concelho de Fafe e é um afluente do rio Ave. No seu percurso, na direção nordeste-sudoeste, percorre sucessivamente os concelhos de Fafe, Felgueiras, Guimarães, Vizela e Santo Tirso. Contempla 55 açudes e 7 aproveitamentos, sendo que a barragem da Queimadela (quase na cabeceira do rio) e o aproveitamento hidroelétrico de Vila Boa em Moreira de Cónegos (secção intermédia do rio) são os mais importantes. A sua foz, com margens entre as freguesias de Vila das Aves e Rebordões, converge na margem esquerda do rio Ave no concelho de Santo Tirso. Tem uma extensão de 41216 metros e a sub bacia hidrográfica do rio Vizela que está integrada na bacia hidrográfica do Ave contempla uma área de aproximadamente 380 km<sup>2</sup>, sendo a do Ave 1469 km<sup>2</sup>

A monitorização deste rio era inexistente no início do estudo, pelo que se tornou necessário a implementação de um equipamento de monitorização para conhecimento das condições de escoamento. Foi colocado a cerca de 5km da sua foz, em janeiro de 2018, sendo assim a sua calibração do modelo hidrológico para a bacia do rio Vizela avaliada através de uma série temporal de aproximadamente 18 meses.

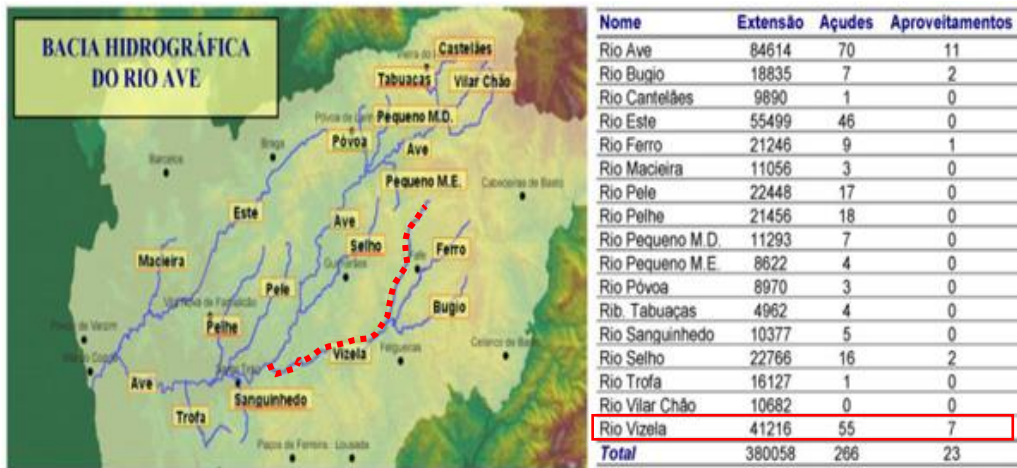


Figura 3-37: Caracterização da bacia hidrográfica do Ave com a referência (a Vermelho) da localização do rio Vizela.

Numa primeira fase, para obter a série de precipitação e evaporação para a calibração do modelo recorreu-se ao método de *Thiessen/Voronoi* que foi aplicado a todas as sub-bacias, que contêm as estações meteorológicas, com dados associados entre si, pertencentes à bacia do correspondente rio. Para além destas, utilizaram-se estações localizadas fora da sub-bacia, pois estas apesar de não estarem diretamente ligadas ao escoamento da precipitação na bacia, apresentam-se mais próximas da estação hidrométrica em análise do que algumas estações meteorológicas da própria bacia.

Foi então elaborado para a bacia do rio Vizela o respetivo polígono de *Thiessen/Voronoi* (figura 3-38), onde se obteve o cálculo da contribuição, em percentagem, de cada estação meteorológica.

No entanto, após avaliação dos resultados da calibração de uma forma discretizada (referentes às 8 sub bacias) em comparação com a bacia total do rio Vizela verificaram-se resultados bastante semelhantes. Neste contexto, utilizou-se a bacia total do rio Vizela para implementação do nó de sacramento.

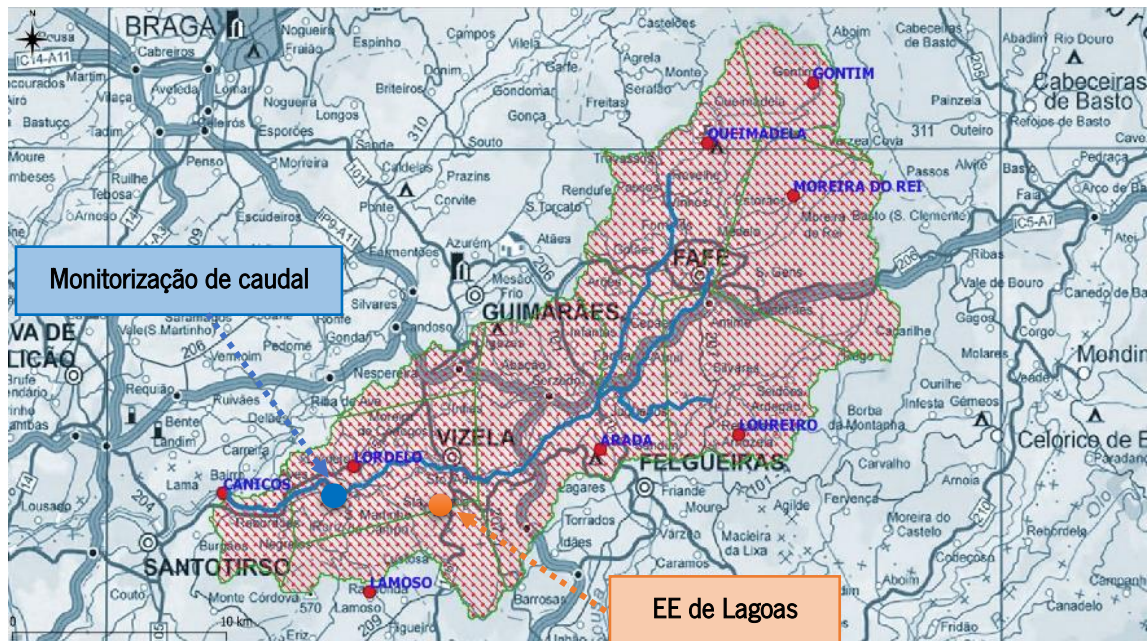


Figura 3-38: Caracterização da bacia hidrográfica do Vizela em 8 sub bacias com referência para a localização da estação meteorológica instalada na EE de Lagoa e do equipamento de monitorização em Lordelo.

Recorreu-se à biblioteca RRL para calibração do modelo hidrológico (figura 3-39), a abordagem de otimização para a calibração do modelo, os valores iniciais dos parâmetros do modelo foram definidos de forma recorrente aos intervalos habituais obtidos a partir da literatura (Anderson *et al.*, 2006) e também das características do solo (Koren *et al.*, 2000). Estes valores iniciais são muito dependentes dos eventos selecionados na bacia analisada. O desempenho do modelo de Sacramento foi avaliado de acordo com diferentes métricas: *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), um parâmetro referente ao erro sistemático computacional com base na diferença entre a soma de descargas simuladas e a soma das observadas (BIAS) e erro absoluto médio (MAE). Os algoritmos de otimização global que apresentaram resultados mais satisfatórios foram o *Rosenbrock Single Start* e o *Pattern Search Single Start* (Lewis *et al.*, 2000) usando como objetivo primário o modelo NSE e o secundário o RMSE como funções de erro a serem minimizadas. As métricas obtidas são apresentadas no capítulo 4.



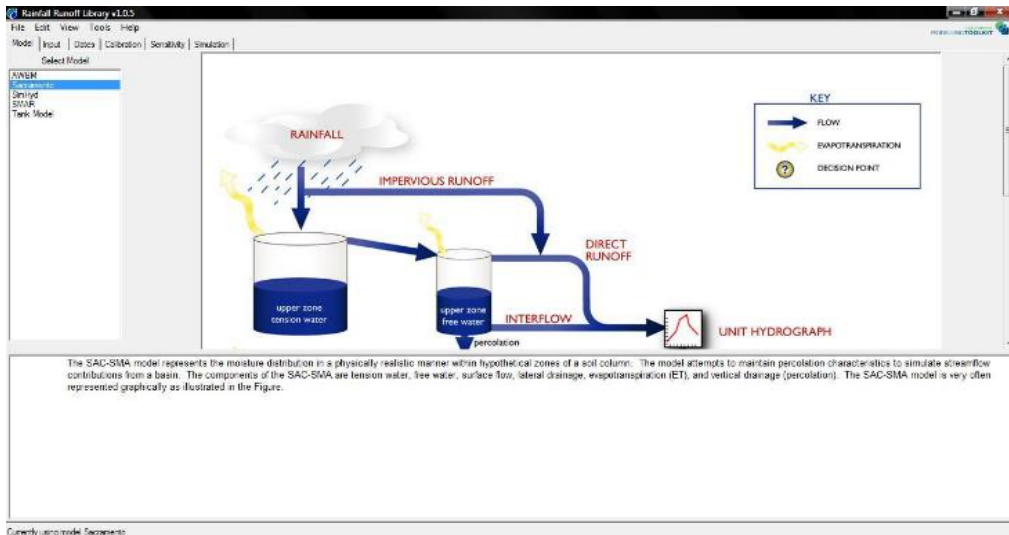


Figura 3-39: Software RRL: formulário de seleção do modelo hidrológico.

A inserção no RRL das séries de precipitação, caudais e evaporação é realizada através de uma interface específica do programa, após o necessário processamento dos dados retirados das estações meteorológicas e do SNIRH (figura 3-40). Todas as séries devem estar num formato reconhecido pelo *software*.

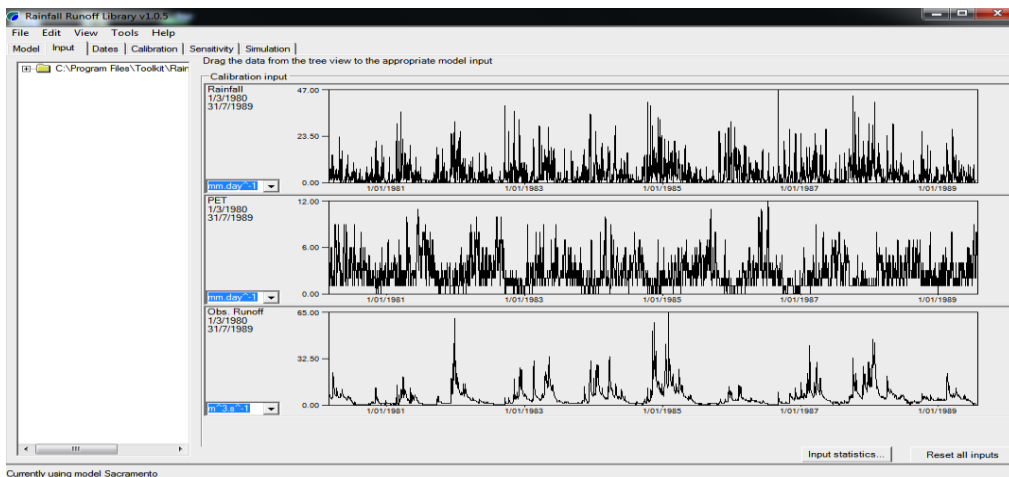


Figura 3-40: Séries temporais inseridas no RRL.

Finalizado o processo de calibração com a ferramenta RRL retiram-se os valores dos parâmetros da calibração, para sua utilização no modelo hidrológico construído com o programa SOBEK (figura 3-41). O modelo de Sacramento utiliza um total de 17 parâmetros para simular os processos hidrológicos considerados (Tabela 3-1).

Tabela 3-1: Parâmetros Sacramento (CRC, 2004).

Parâmetro	Unidade	Descrição
UZTWM	Mm	Capacidade máxima de armazenamento superior de água de tensão superficial
UZFWM	Mm	Capacidade máxima do armazenamento superior de água livre
UZK	Dia-1	Coefficiente de depleção lateral na zona superior de água livre
ZPERC		Taxa de percolação mínima e máxima
REXP		Parâmetro de forma da curva de percolação
LZTWM	Mm	Capacidade máxima do armazenamento inferior de água de tensão superficial
LZFSM	Mm	Capacidade máxima do armazenamento inferior suplementar de água livre
LZFPM	Mm	Capacidade máxima do armazenamento inferior primário de água livre
LZSK	Dia-1	Coefficiente de depleção lateral da zona inferior suplementar de água livre
LZPK	Dia-1	Coefficiente de depleção lateral da zona inferior primária de água livre
PFREE		Fração da água percolada da zona superior que vai direta para a zona de água livre inferior
PCTIM		Fração de área constantemente impermeável na bacia
ADIMP		Fração máxima de uma área impermeável adicional devido a saturação
SARVA		Fração de área coberta por mata ciliar na bacia
SIDE		Taxa de percolação das camadas inferiores de água livre
RSERV		Fração da água livre da zona inferior que não é transferível para a zona de água de tensão superficial
SSOUT	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	O volume do fluxo que pode ser transportado por um material poroso no leito do rio.

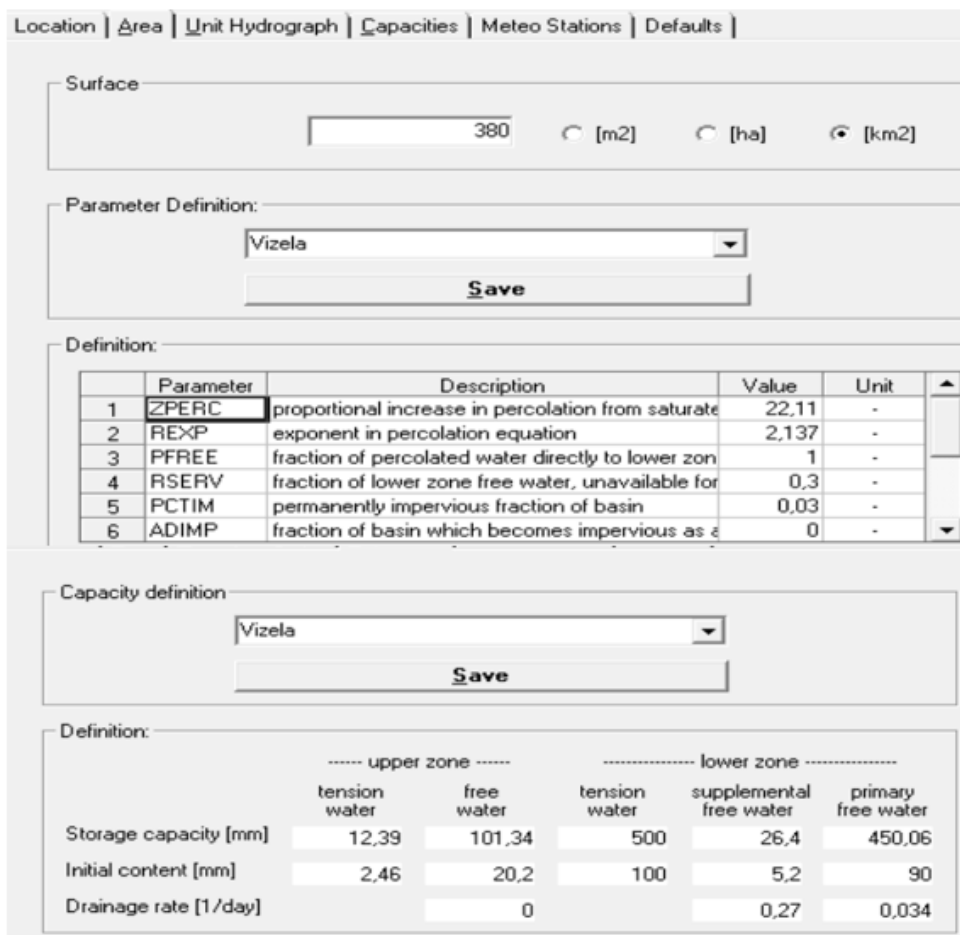


Figura 3-41: Resultados de entrada no SOBEK obtidos através do RRL, segundo o conceito Sacramento

### 3.1.6 Modelação da qualidade da água

O impacto de descargas poluentes em meios hídricos, como os efluentes de ETAR parcialmente tratados, podem ser avaliados com base em ferramentas de modelação da qualidade da água (Thomann & Mueller, 1987; Chapra, 1997; Delft3D, 2017 e Deltares, 2017).

No presente trabalho, foram aplicados modelos matemáticos para simular os aspetos mais relevantes dos processos de decaimento de microrganismos e de matéria orgânica no rio Ave (na zona de influência das descargas das ETAR de Lordelo e de Serzedelo). Simulou-se a carência bioquímica de oxigénio aos 5 dias (CBO<sub>5</sub>), oxigénio dissolvido (OD) e coliformes fecais (CF), tendo como suporte o *software* SOBEK que inclui uma biblioteca de processos de qualidade da água.

Os dados sobre a hidrodinâmica do rio, assim como as características das potenciais fontes poluidoras foram recolhidos através de uma vasta rede de monitorização instalada pela empresa TRATAVE e ainda com dados históricos disponibilizados no portal do SNIRH. De referir que se analisaram



dados dos últimos 10 anos de cargas afluentes às ETAR. Relativamente aos caudais fluviais, estes apresentam-se com uma grande variabilidade. A título de exemplo, apresenta-se na figura 45 duas situações de escoamento completamente distintas, embora referidas a períodos homólogos do ano. Na figura 3-42 a) apresenta-se uma situação de escoamento no mês de janeiro de 2016 (mantendo-se esta situação durante todo o mês) e na figura 3-42 b) apresenta-se uma situação de escoamento ocorrida em janeiro do ano 2017.



Figura 3-42: a) Escoamento fluvial em janeiro de 2016 e b) Escoamento fluvial em janeiro 2017.

O escoamento em linhas de água é modelado recorrendo-se a modelos baseados em formulações unidimensionais do escoamento com superfície livre.

A modelação do escoamento unidimensional é baseada nas equações de continuidade (eq. 2.1) e de conservação da quantidade de movimento (eq. 2.2), conforme referidas no capítulo 2.

Para além das equações 2.1 e 2.2 são ainda utilizadas na construção de modelos unidimensionais, expressões adequadas ao cálculo das características de escoamento em estruturas como: pontes, passagens hidráulicas, sifões invertidos, orifícios, bombas, sifões e descarregadores, conforme se referiu no capítulo 2.4.1. Nestas estruturas o escoamento depende dos níveis a montante e jusante da estrutura, das suas dimensões e de um conjunto de parâmetros específicos de cada uma delas.

O modelo de qualidade de água é baseado na equação de transporte unidimensional (eq. 3.1):

$$\frac{\partial(A_f C)}{\partial t} = -\frac{\partial(QC)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(DA_f \frac{\partial C}{\partial x}\right) + SA_f \quad (3.1)$$

onde,

C = é a concentração de constituinte  $[kg/m^3]$

D = é o coeficiente de dispersão turbulenta  $[m^2/s]$

S = é a fonte ou sumidouro devido a entradas ou saídas no sistema e a produção ou decaimento por reações  $[kg \cdot s/m^3]$

O último termo da eq. 3.1 refere-se às fontes de poluentes e à dependência em relação aos processos que ocorrem na coluna de água. São considerados tantas equações quantas as variáveis envolvidas no processo de qualidade de água a simular. De referir que o SOBEK contempla uma biblioteca com múltiplas opções matemáticas, não obstante neste estudo utilizaram-se as equações de 1ª ordem, referenciadas subsequentemente.

Nos processos simulados a desoxigenação por degradação da matéria orgânica é traduzida por um coeficiente de desoxigenação,  $K_1$ , que depende das características da matéria orgânica e é função da temperatura e da presença de substâncias inibidoras dos processos bioquímicos. Na bibliografia podem encontrar-se valores típicos de  $K_1$  para diversos tipos de águas (Tabela 3-2). No caso do presente trabalho foi adotado o valor de  $0,24 \text{ dia}^{-1}$ .

Tabela 3-2: Valores típicos de K<sub>1</sub> (20°C).

Origem	K <sub>1</sub> (dia <sup>-1</sup> )
Esgoto bruto concentrado	0,35 – 0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30 – 0,40
Efluente primário	0,30 – 0,40
Efluente secundário	0,12 – 0,24
Rio com águas limpas	0,08 – 0,20
Fonte: Adaptado de Fair <i>et al.</i> (2010)	

A temperatura tem uma grande influência no metabolismo microbiano afetando a velocidade de estabilização da matéria orgânica. A relação empírica entre a temperatura e o coeficiente de desoxigenação é geralmente expressa pela equação 3.2.

$$K_{1T} = K_{120} \theta^{(T-20)} \quad (3.2)$$

onde:

$K_{1T}$  = K<sub>1</sub> à temperatura T (dia<sup>-1</sup>);

$K_{120}$  = K<sub>1</sub> à temperatura T=20°C (dia<sup>-1</sup>);

T = Temperatura da água (°C);

$\theta$  = Coeficiente de temperatura (-).

Geralmente adota-se um valor de 1,047 para o coeficiente de temperatura.

A transferência de oxigénio da atmosfera para a água pode ser descrita através do equilíbrio dinâmico molecular que se estabelece entre a fase gasosa e a fase líquida e vice-versa. Quando os fluxos interfases têm a mesma magnitude, estabelece-se a concentração de saturação do gás na fase líquida (C<sub>s</sub>). Havendo estabilização de matéria orgânica com consumo de oxigénio dissolvido na massa líquida, proporciona-se um desequilíbrio relativamente à concentração de saturação que implica a tendência de restabelecimento do equilíbrio perdido através do fluxo de oxigénio da atmosfera para a água. A

concentração de saturação depende da temperatura como ressalta da equação 3.3 (Pöppel, 1979). No caso do presente trabalho foi adotado o valor de 9,02 mg/L, considerando a temperatura de 20°C.

$$C_s = 14,652 - 0,41022 T + 0,007991 T^2 - 0,000077774 T^3 \quad (3.3)$$

No rearejamento, simulado com uma lei de primeira ordem, considera-se o coeficiente  $K_2$  que pode ser determinado através de estudos experimentais realizados para um fim específico ou adotando valores da bibliografia. Os valores encontrados para este coeficiente dependem da morfologia dos meios hídricos e das respectivas condições hidrodinâmicas (profundidade, velocidade da água). Na tabela 3-3 apresentam-se valores médios de  $K_2$  retirados da bibliografia para diversos tipos de meios hídricos.

Tabela 3-3: Valores médios típicos de  $K_2$  (20°C).

Meio hídrico	$K_2$ (dia <sup>-1</sup> )	
	Profundo	Baixa profundidade
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios lânticos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Rápidos e quedas de água	>1,15	>1,61
Fonte: Adaptado de Fair <i>et al.</i> (2010)		

Na literatura é possível, ainda, encontrar equações empíricas resultantes de trabalhos experimentais sendo as mais conhecidas e mais frequentemente utilizadas as equações propostas por O'Connor & Dobbins (1958), Churchill *et al.* (1962) e (Owens *et al.* 1964). Na tabela 3-4 apresentam-se valores do coeficiente  $K_2$  retirados dos estudos destes autores. No caso do presente trabalho foi adotado o valor de 0,37 dia<sup>-1</sup>.

Tabela 3-4: Valores de K<sub>2</sub> (de O'Connor & Dobbins, 1958; Churchill *et al.*, 1962 e Owens *et al.*, 1964).

Autor	Fórmula	Intervalo de aplicação
O'Connor & Dobbins (1958)	$3,73U^{0,5}H^{1,5}$	0,6 m ≤ H < 4,0 m 0,05 m/s ≤ U < 0,8 m/s
Churchill <i>et al.</i> (1962)	$5U^{0,97}H^{1,67}$	0,6 m ≤ H < 4,0 m 0,8 m/s ≤ U < 1,5 m/s
Owens <i>et al.</i> (1964)	$5,3U^{0,67}H^{1,85}$	0,1 m ≤ H < 0,6 m 0,05 m/s ≤ U < 1,5 m/s

A temperatura afeta o valor do coeficiente de rearejamento, fazendo-se sentir em dois aspetos contraditórios: (i) O aumento de temperatura reduz a solubilidade do oxigénio no meio líquido; (ii) O aumento de temperatura acelera os processos de absorção de oxigénio. A relação empírica entre a temperatura e o coeficiente de rearejamento pode ser expressa através da equação 3.4.

$$K_{2T} = K_{220} \theta^{(T-20)} \quad (3.4)$$

onde:

$K_{2T}$  = K<sub>2</sub> à temperatura T (dia<sup>-1</sup>);

$K_{220}$  = K<sub>2</sub> à temperatura T=20°C (dia<sup>-1</sup>);

T = Temperatura da água (°C);

$\theta$  = Coeficiente de temperatura (-).

Geralmente adota-se um valor de 1,024 para o coeficiente de temperatura.

A mortalidade de microrganismos na água após a descarga de um efluente, pode ser descrita através de uma equação de reação de primeira ordem. O coeficiente de mortalidade,  $K$ , depende das características dos microrganismos e é função da insolação, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras dos processos bioquímicos. Na bibliografia podem encontrar-se valores típicos de  $K$  para diversos tipos de águas e ecossistemas (Von Sperling M. e Von Sperling E., 2013 e Feitosa, *et al.*, 2013). Neste trabalho utilizou-se um valor de  $0.4 \text{ dia}^{-1}$ .

A modelação da qualidade da água realizada neste trabalho, teve como objetivo a avaliação do impacto provocado pela descarga de efluentes tratados das ETAR de Serzedelo e Lordelo na qualidade da água do rio Ave. Procura-se, assim, apresentar um contributo para medidas recomendadas no Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos rios Cávado, Ave e Leça 2016-2021 (ARHN, 2015): (i) estudo integrado de qualidade da água da bacia do Ave; (ii) controlo e redução da poluição tóxica urbana; (iii) garantir o bom estado das massas de água de superfície ou subterrâneas até 2020.

Nas condições hidrodinâmicas do rio foram considerados cenários de caudais diários mínimos, médios e máximos. Para avaliação da qualidade da água foram considerados os parâmetros  $\text{CBO}_5$ , OD e CF em dois cenários operacionais das ETAR de Serzedelo e Lordelo (em situação de rotura (0%) e funcionamento precário (50%).

Analisaram-se dados dos últimos 10 anos de cargas afluentes às ETAR, nomeadamente dados de  $\text{CBO}_5$  e estimaram-se para contaminantes bacteriológicas cargas por habitante, recorrendo à bibliografia (Metcalf & Eddy, 2004) onde para CF a carga por habitante é de  $5 \times 10^7 \text{ NMP}/100\text{ml}/\text{dia}$ , sendo que para a ETAR de Serzedelo teve-se em consideração a população equivalente de 273313 e um caudal médio  $0.384 \text{ m}^3/\text{s}$  e para Lordelo 187087 e um caudal médio  $0.193 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Na figura 3-43 apresenta-se a localização das ETAR avaliadas e identificam-se os trechos a jusante das descargas. Trecho 1 (T1), entre a ETAR de Vizela e imediatamente a montante da foz do rio Vizela e trecho 2 (T2) entre a ETAR de Serzedelo e imediatamente após a confluência do rio Vizela com o rio Ave.

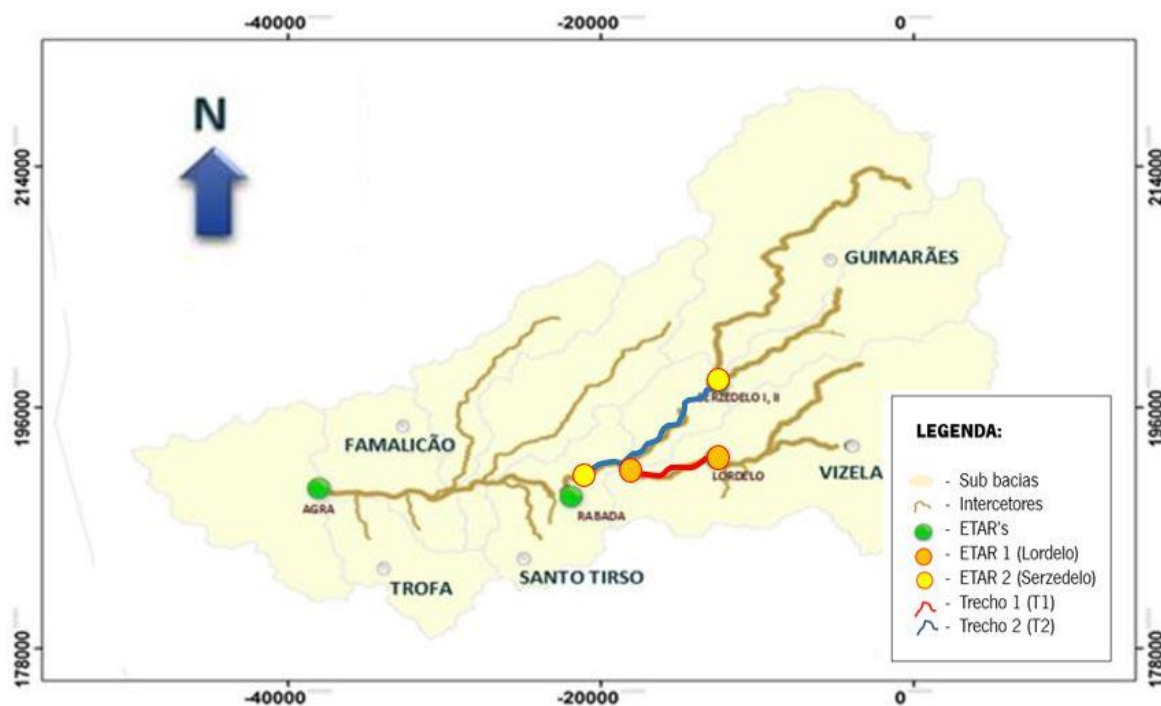


Figura 3-43: Enquadramento geográfico referenciando trechos em estudo.

### 3.1.7 Conversão de dados do radar meteorológico da Meteogalicia em dados de precipitação

Na bacia do rio Ave existe um conjunto de estações de monitorização, nomeadamente uma rede meteorológica que visa a monitorização do ciclo hidrológico (precipitação, temperatura, humidade do ar, direção e velocidade do vento, radiação solar e evapotranspiração) e é composta por 35 estações, das quais cinco são climatológicas e as demais são udómetros, pertencentes à rede de monitorização do SNIRH.

Contudo, durante o desenvolvimento do trabalho não existiam estações ativas pelo que foram instaladas quatro estações meteorológicas em quatro pontos distintos da bacia, efetuando registos com uma resolução temporal de 5 minutos. Estes registos foram complementados com dados observados pelo radar meteorológico operado pela Meteogalicia.

Todos os dados meteorológicos e hidrológicos das estações do SNIRH e do radar da Meteogalicia foram incorporados na plataforma FEWS para posterior processamento. Foram ainda configurados procedimentos para incluir resultados de previsão de modelos atmosféricos desenvolvidos pela NOAA

(GFS e GEFS) e Meteogalicia (WRF). Os modelos GFS e GEFS fazem previsões com uma resolução temporal de 6 horas, o primeiro para um horizonte de 10 dias e o segundo para cerca de 16 dias. O modelo WRF tem resolução horária, com uma previsão de cerca de 4 dias

Os dados obtidos pelo radar são expressos em décibéis de refletividade (dBz) e como o objetivo final é o conhecimento da precipitação, é necessário converter o fator de refletividade ( $Z$ ), em intensidade de precipitação ( $R$ ). É importante salientar que  $Z$  e  $R$  são quantidades diferentes, embora estejam relacionadas com o mesmo fenómeno físico. O fator de refletividade ( $Z$ ) corresponde à quantidade e tamanho das gotas de água presentes no volume iluminado pelo radar e  $R$  representa a precipitação que atinge uma determinada área num determinado intervalo de tempo. Marshall e Palmer (1948) propuseram uma equação, derivada de muitas observações experimentais, relacionando as informações obtidas por radar e medidas em udómetros. Vários cientistas têm ajustado equações para diferentes regiões e tipos de precipitação (Kaiser, 2006). A relação clássica entre precipitação de radar e refletividade é apresentada na Eq.3.5 e pode ser ajustada de acordo com a Eq.3.6. Na Tabela 3-5 são apresentados os valores dos parâmetros usualmente utilizados.

$$Z = AR^B \quad (3.5)$$

$$R = \frac{(10^{Z/10})^B}{A} \quad (3.6)$$

onde:

A e B: parâmetros configuráveis;

Z: Fator de refletividade (dBZ);

R: Intensidade de precipitação (mm/h).



Tabela 3-5: Equações de conversão da refletividade para intensidade de precipitação.

$R = \frac{(10^{Z/10})^B}{A}$	A	B	Tipo de precipitação
Marshall & Palmer (1948)	200	1.6	Precipitações homogêneas e estratiformes
Blanchard (1953)	31	1.37	Precipitação orográfica
Jones (1956)	483	1.37	Precipitação convetiva
Joss & Waldvogel (1967)	230	1.4	Precipitações médias
Joss & Waldvogel (1967)	400	1.3	Processos convetivos intensos
Joss & Waldvogel (1967)	100	1.4	Processos frontais – gotas muito pequenas
Smith et al. (1975)	155	1.88	Processos convetivos – presença de granizo
Sekhon & Srivastava (1970)	1780	2.21	Neve
Fonte: Adaptado PESSOA (1993), TROVATI (1988), AUSTIN (1987) e SMITH <i>et al.</i> (1975)			

Foram analisados 2867 registos de precipitações entre 0.3mm e 7.0mm, com resolução temporal de 5 minutos no período de janeiro de 2017 a maio de 2018. Os resultados serão apresentados no capítulo 4.

A metodologia passou pela análise de dados históricos de precipitação, obtidos pelas estações meteorológicas instaladas pela TRATAVE comparando estes com a informação disponibilizada pelo radar operado pela Meteogalicia (onde se converteu refletividade em precipitação através da equação de Marshall e Palmer). O objetivo foi ajustar os parâmetros (A e B) da equação, de forma aos valores de precipitação estimados se aproximarem dos valores de precipitação medidos. Este ajuste teve em conta a minimização da soma dos erros entre precipitação medida e estimada, onde se recorreu à ferramenta *solver* disponível no Excel.

O mesmo procedimento foi utilizado para avaliar a evolução do erro de diferentes modelos de previsão para um horizonte de quatro dias.

### 3.1.8 Controlo em Tempo Real (RTC) de estruturas hidráulicas

Os sistemas de águas residuais podem ser controlados em tempo real se as variáveis de processo do sistema forem monitorizadas e continuamente utilizadas para operar os atuadores. Os algoritmos RTC consistem em conjuntos de regras que determinam as ações de controlo, que são tomadas em resposta aos estados atuais da rede de SAR (Joseph-Duran *et al.*, 2014).

Neste trabalho, foi utilizado o módulo Sobek RTC (Deltares, 2011), que visa a simulação de várias técnicas de controlo e apoio à decisão em tempo real aplicadas a sistemas relacionados com recursos hídricos. Inclui estratégias de controlo de *feedback*, regras operacionais e controladores.

A automação das estações de bombagem, já é possível, recorrendo ao SAD. Foi implementado um controlador PID que permite operar o sistema de bombagem localizado a montante da ETAR de Lordelo. O controlador PID é um controlador de '*feedback*' genérico, incluindo um termo de perturbação opcional comumente usado em sistemas de controlo industrial. É formulado pelas seguintes equações (3.7 e 3.8):

$$e(t) = x_{sp}(t) - x(t) \quad (3.7)$$

$$y(t) = y(t - 1) + k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d(\tau) + k_d \frac{d}{dt} e(t) + k_f d(t) \quad (3.8)$$

onde  $e(t)$  é a diferença entre a variável de processo  $x(t)$  e a variável de controlo  $x_{sp}(t)$ ,  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ , são os fatores de ganho proporcional, integral e derivativo, respetivamente. O termo opcional '*feed forward*' consiste num fator  $k_f$ , e uma perturbação externa  $d(t)$ .  $y(t)$  é a variável dependente do controlador. Neste estudo, programou-se o controlador tendo em conta os fatores de ganho proporcional e integral.

O fator de ganho proporcional  $k_p$  controla de acordo com o desvio da variável de processo  $x$  para o valor alvo (o ponto ótimo)  $x_{sp}$ . O ganho integral leva em consideração os desvios históricos acumulados entre o ponto ótimo e a variável do processo. O fator de ganho diferencial controla de acordo com a taxa atual a mudança de respetivo desvio, entre o ponto ótimo e a variável do processo.

Para avaliar as capacidades do SAD na implementação de técnicas de operação automática, foi projetado um controlador PI com base nos dados medidos disponíveis na estação de elevação da ETAR de Lordelo (figura 3-44). Nesse local, as bombas podem ser operadas de forma que apenas uma fração de águas residuais transportadas pelo sistema interceptor de Vizela seja tratada na ETAR. A outra parte dos volumes pode ser tratada, a custos mais baixos, na ETAR a jusante de Rabada.

O modelo hidráulico foi utilizado como base experimental para a implementação do controlador. Numa primeira fase, os dados históricos medidos foram utilizados para ajustar os parâmetros do controlador de forma que os caudais bombeados simulados com o PI se aproximassem dos valores efetivamente elevados num período representativo da operação deste sistema. O ajuste foi conseguido minimizando a soma dos erros entre os caudais bombeados medidos e os simulados pelo controlador. O problema de minimização foi realizado na ferramenta solver disponível no Excel. Numa segunda fase, o PI foi implementado usando o módulo RTC do SOBEK. Durante alguns períodos de precipitação mais intensa, as capacidades das bombas de elevação a jusante são excedidas e as águas residuais são transportadas diretamente para o meio hídrico. O modelo implementado também permite estimar essas descargas. De referir, que este cenário, apenas acontece perante um evento meteorológico extremo.



Figura 3-44: Implementação de um controlador PID para o sistema de elevação de entrada da ETAR de Lordelo.

# CAPÍTULO 4

## 4 RESULTADOS

---

No presente capítulo são apresentados e analisados os principais resultados obtidos. Optou-se por fazer uma divisão em dois grupos de resultados principais:

No **primeiro grupo** apresentam-se resultados dos **trabalhos de campo, nomeadamente:**

- Levantamento cadastral;
- Implementação do sistema de monitorização.

O **segundo grupo** foca-se no **SAD**, apresentando-se resultados relativos às suas três componentes:

- **o sistema de informação**, salientando-se a implementação do SIG, do SCADA e de resultados processados na plataforma Delft FEWS;
- **o sistema de modelação**, em que se apresentam resultados de modelação hidrodinâmica e de qualidade da água bem como do modelo hidrológico, destacando-se:
  1. Resultados do modelo hidrológico da bacia do rio Vizela;
  2. Resultados do modelo hidrodinâmico da rede e do rio Vizela;
  3. Resultados de modelação da qualidade da água no rio Ave, relativos à avaliação do impacto das descargas das ETAR no meio recetor para diferentes eficiências utilizando como indicadores poluentes bacteriológicos;
- **o sistema de análise**, em que se apresentam os principais resultados conseguidos a partir do sistema criado, realçando-se:

1. Conversão de dados do radar meteorológico da Meteogalicia em estimativas de precipitação e avaliação da incerteza associada a três modelos atmosféricos de previsão da precipitação para horizontes até quatro dias;
2. Estimativas de caudais infiltrados/ilícitos, com base nos perfis de afluências diárias e horárias ao longo da semana quer para período seco quer durante períodos húmidos em vários locais distintos da rede;
3. Identificação e localização de pontos sensíveis a derrames e deteção de ligações indevidas;
4. Definição de um controlador adequado à operação em tempo real, de modo automático num sistema de elevação a uma ETAR;

#### **4.1 Resultados dos trabalhos de campo**

Nesta secção são apresentados resultados relativos ao levantamento cadastral e à implementação do sistema de monitorização, que correspondeu à primeira fase deste trabalho, desenvolvido ao longo dos dois primeiros anos e que serviram de base ao desenvolvimento do SAD.

##### **4.1.1 Levantamento Cadastral**

O levantamento cadastral, conforme já se tem vindo a referir, foi de crucial importância para a aquisição de informação fidedigna a utilizar no desenvolvimento do SAD. Os trabalhos do levantamento cadastral permitiram obter as características geométricas da rede interceptora e detetar inúmeras anomalias estruturais. Apresentam-se os resultados dos trabalhos realizados, nomeadamente:

- Levantamento topográfico da rede;
- Identificação de anomalias;
- Soluções propostas para correção das anomalias.

Através do **levantamento topográfico da rede** obteve-se, a informação relativa às características geométricas do sistema interceptor explorado pela TRATAVE (com extensão de cerca de 126 km). A informação disponibilizada inicialmente não se encontrava atualizada. Foi necessário verificar, corrigir e atualizar o cadastro. Foi adquirido e utilizado um equipamento DGPS de alta precisão (com um valor

aproximado de 8000€), procedendo-se à realização das campanhas topográficas necessárias para verificar e efetuar os levantamentos que permitiram caracterizar exaustivamente a geometria da rede explorada. Na tabela 4-1 apresenta-se uma síntese dos levantamentos realizados.

Tabela 4-1: Síntese relativa ao levantamento e atualização do cadastro

Frente de Drenagem	Extensão de rede levantada		Nº câmaras	Intercetores		Idade
	(m)	Relativa (%)		Diâmetros	Materiais	
4	16736	87.8	384	250-710	PEAD,FFD	20
5	8544	25.3	150	250-560	PVC,PEAD	20/26
6	15049	100	275	400-900	PEAD,FFD	26
9	32154	55.3	588	315-560	PVC, Ultrarib	20
<b>Total</b>	<b>72483</b>	<b>57.5</b>	<b>1397</b>	<b>(-)</b>		

As FD 4 e FD 6 foram sujeitas a levantamentos topográficos praticamente em toda a sua extensão, sendo a FD 5 aquela que menos necessitou de atualizações, tendo sido realizados levantamentos em pouco mais de 25% de extensão nesta frente de drenagem. Na FD 9, a mais extensa, foi necessário criar o cadastro em mais de 55% da sua extensão. Salienta-se que o trabalho realizado foi efetuado com o rigor e pormenor adequados à obtenção de todas as características necessárias à sua utilização na implementação de modelos hidráulicos detalhados.

Na figura 4-1, identificam-se e localizam-se as extensões de rede sujeitas a levantamentos topográficos através de equipamento DGPS. Na figura 4-2 apresenta-se um exemplo de um trecho levantado com indicação de todos os elementos geométricos necessários à criação dos respetivos modelos hidráulicos.

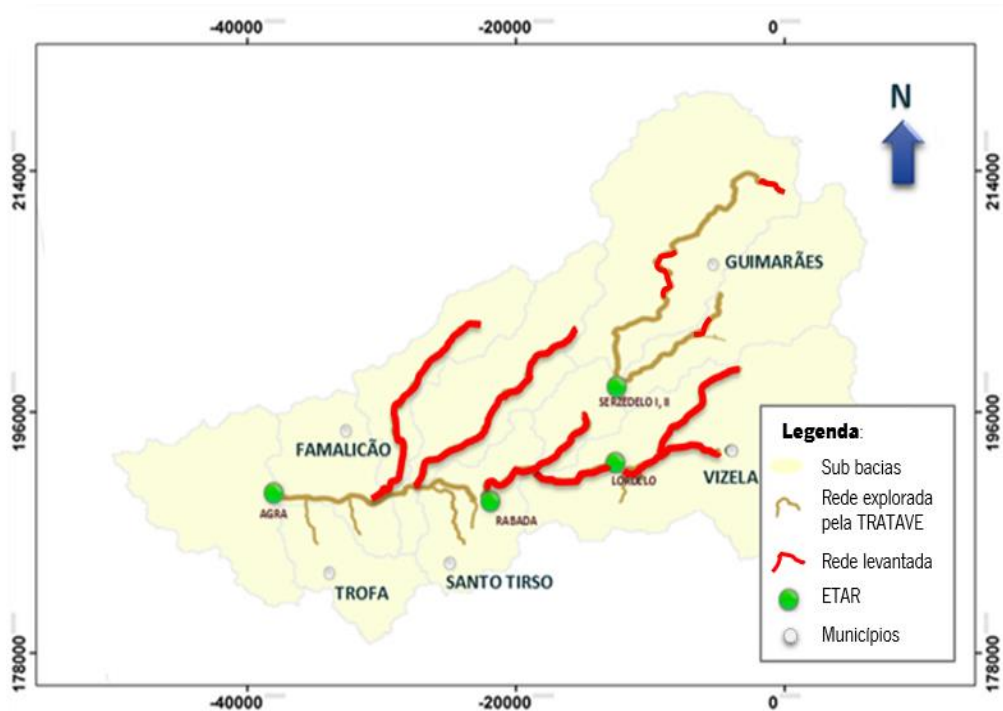


Figura 4-1: Extensões de rede em que foram realizados levantamentos topográficos e das características da rede de coletores.

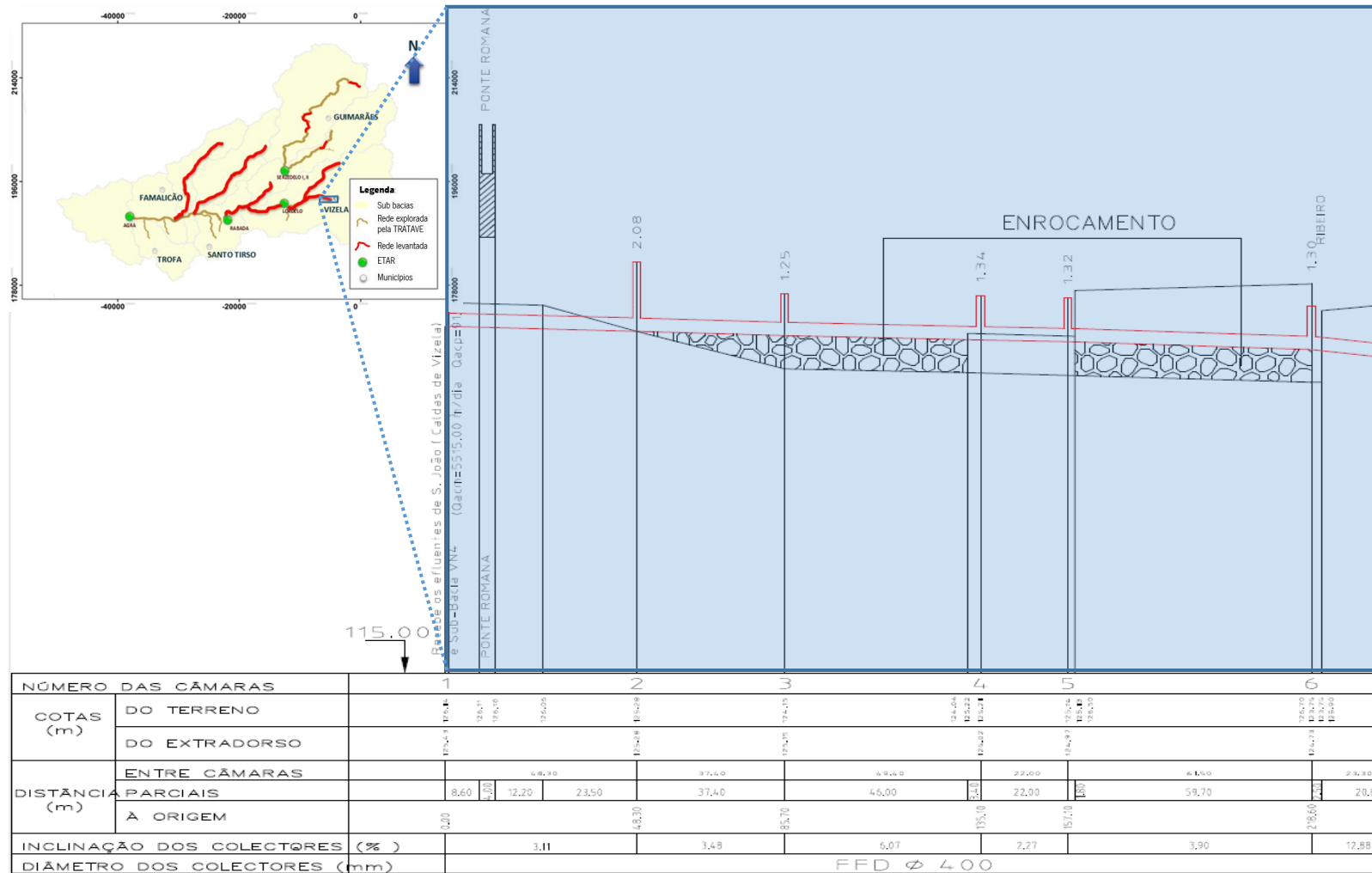


Figura 4-2: Exemplo de perfil longitudinal de coletor caracterizado no âmbito do trabalho de levantamento de cadastro da rede.



A **identificação de anomalias**, no decorrer dos trabalhos de campo, totalizou um valor de 283. As anomalias foram agrupadas nas seguintes tipologias: **danos estruturais em intercetores (DEI)** (figura 4-4), **danos estruturais em câmaras (DEC)** (figura 4-4), **ligações ilícitas (LI)** (figura 4-5) e **descargas em meio hídrico (DMH)** (figura 4-6). A tabela 4-2 apresenta uma síntese quantitativa relativa às anomalias detetadas.

Tabela 4-2: Síntese com resultados de número de anomalias identificadas por frente de drenagem e tipologia

Frente de Drenagem	Nº de anomalias	Tipologia				Método de deteção		
		DEI	DEC	LI	DMH	Inspeção visual	CCTV	Termografia
4	82	4	74	3	1	69	12	1
5	17	2	12	3	0	17	0	0
6	65	1	57	5	2	63	0	2
9	119	3	111	5	0	119	0	0
<b>Total</b>	<b>283</b>	<b>10</b>	<b>254</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>268</b>	<b>12</b>	<b>1</b>

O equipamento CCTV foi utilizado para localização de câmaras de visita na FD 4, nomeadamente em 12 trechos de rede, correspondendo a 6.1% da extensão desta frente de drenagem.

A maioria das anomalias consistem em danos estruturais, sendo estas detetadas preponderantemente por inspeção visual. Realça-se, contudo, que a análise hídrica efetuada diariamente, suportada pelo incremento de monitorização que se detalhará na secção 4.1.2, permite também a deteção de anomalias e respetiva localização, facilitando os trabalhos de equipas de avaliação e eventual reparação, direcionando-as para os respetivos locais de ocorrência.

Na figura 4-3, apresenta-se a localização (e respetiva extensão) das anomalias identificadas. Em termos de extensão de rede, representaram para a FD 4 cerca de 17%, na FD 5 aproximadamente 18%, na FD 6 11% e, por fim, representando na FD 9 um valor da ordem dos 10% da extensão da rede.

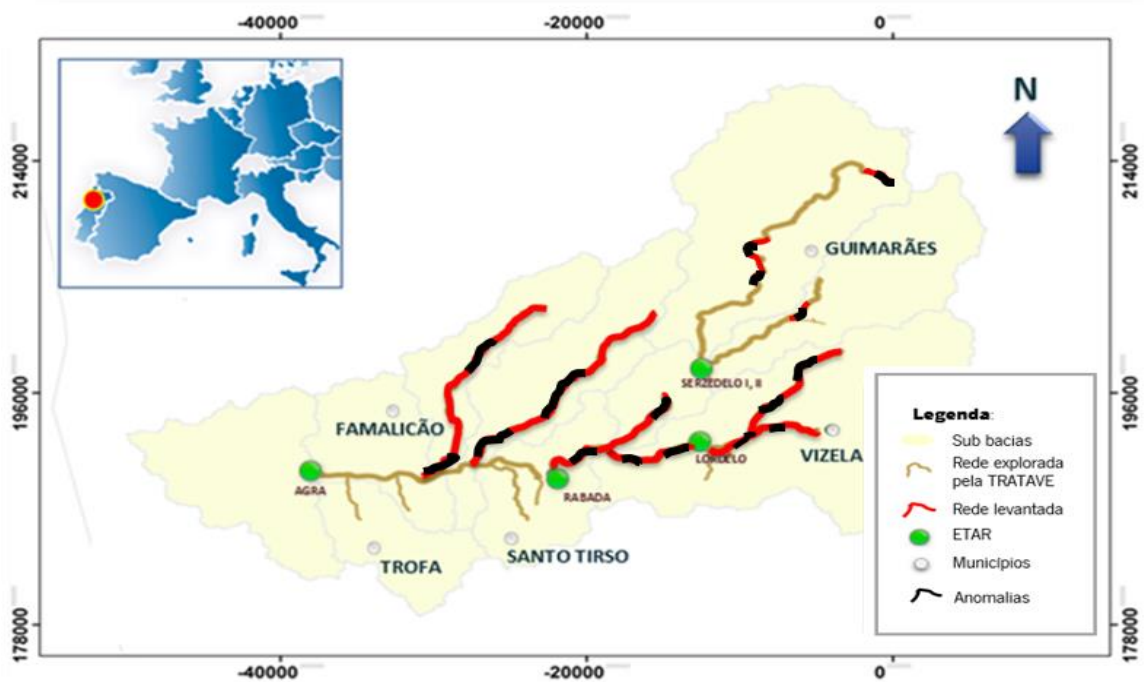


Figura 4-3: Extensões de rede em que foram detetadas anomalias.

Dos resultados apresentados salienta-se o elevado número de anomalias detetadas o que realça a necessidade de se manter um programa de inspeção preventivo para deteção e posterior reparação nas infraestruturas de drenagem. Todas as anomalias detetadas nos trabalhos de campo foram corrigidas, mantendo-se ativo um programa de inspeção.

Na figura 4-4 apresenta-se um exemplo de um DEI, com ocorrência de derrame em meio hídrico, resultando num impacto ambiental indesejável.



Figura 4-4: Exemplo de anomalia DEI identificada através dos resultados de monitorização contínua e posteriormente reparada.

Neste exemplo o interceptor de diâmetro 630 mm, drena em média 500 m<sup>3</sup>/h, estando localizado numa zona de difícil acessibilidade e enterrado. A deteção célere deste tipo de anomalia torna-se possível a partir do acompanhamento dos dados obtidos com sistemas de monitorização contínua.

Identificaram-se recorrentemente câmaras de visita completamente soterradas conforme se apresenta na figura 4-5, (tipo de anomalia incluída nos DEC).



Figura 4-5: Exemplo de câmara de visita soterrada.

No exemplo apresentado a câmara de visita encontrava-se com um aterro de cerca de 6m sobre a tampa, com infiltrações e danos estruturais consideráveis. Não estavam assim garantidas as características de estanquicidade necessárias e as condições de escoamento.

Detetaram-se, conforme se apresentou na tabela 4-2, 283 anomalias, nomeadamente danos infraestruturais em intercetores e câmaras de visita, muitas vezes com localização desconhecida, responsáveis por inúmeras infiltrações na rede. Juntamente com estas anomalias, foram ainda detetadas ligações indevidas, que passam por desvios de caudais ao respetivo medidor instalado para efeitos de faturação (fig 4-6) e descargas em meio hídrico sem qualquer tipo de tratamento (fig. 4-7). Estas últimas, ocorriam preponderantemente em período noturno.



Figura 4-6: Desvio ao medidor de caudal com descarga em câmara a jusante.

Identificaram-se 16 desvios aos medidores de caudal instalados para medição e faturação por parte de clientes industriais responsáveis pela rejeição de elevados volumes de efluentes. Nesta fase do trabalho detetaram-se várias ligações com origem fraudulenta e em 4.2.3 apresentar-se-á alguns exemplos mensuráveis de caudais desviados de forma ilícita. Na figura precedente apresentam-se algumas tubagens amovíveis ligadas às câmaras de visita, permitindo estabelecer, assim, um *bypass* ao equipamento utilizado para medição e conseqüente faturação.

Detetaram-se ainda, conforme se ilustra na figura 4-7, descargas em meio hídrico ocorridas em períodos noturnos. Para identificação destas descargas procedeu-se a avaliações termográficas onde foi possível detetar a origem do efluente. Os efluentes resultantes de processos de tingimento executados em determinadas indústrias apresentam temperaturas a rondarem os 50°C. No exemplo que se apresenta a seguir, a deteção da descarga é possível realizar-se através de uma simples inspeção visual pelo facto do efluente descarregado ser bastante concentrado. Em vários outros casos, a simples inspeção visual não permite identificar a descarga, sendo a avaliação termográfica uma solução bastante apelativa para este tipo de deteção. É possível a deteção até distâncias da ordem de 25 m relativamente à origem da descarga.



Na figura 4-7 a) apresenta-se uma imagem obtida a uma distância de 6 m da descarga e onde é impossível detetar a descarga ilícita de efluente para meio hídrico. A campanha foi realizada em janeiro de 2017 entre as 22:30 e as 23:45. A temperatura média ambiente era inferior a 0°C. Após análise dos termogramas (figura 4-7 b-f) é possível visualizar a mancha da descarga, sendo a variação da temperatura bastante elucidativa.

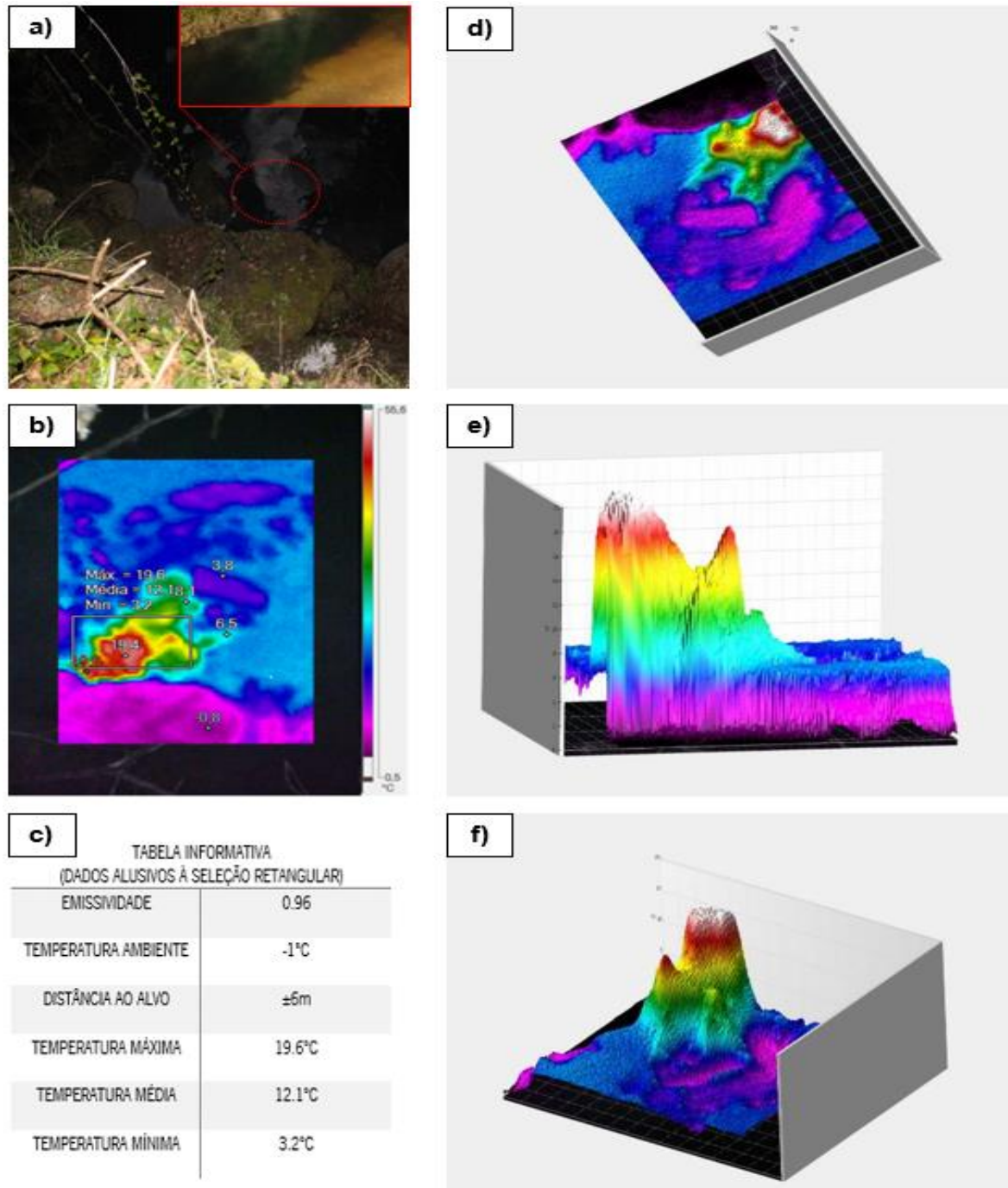


Figura 4-7: a) Fotografia do local de descarga, b) Termograma de local de descarga com seleção de malha retangular, c) Dados referentes à malha selecionada, d) Termograma tridimensional - vista superior, e) Termograma tridimensional - vista lateral e f) Termograma.

Os exemplos precedentes permitiram afirmar de forma inequívoca que no trecho fluvial inspecionado existe um ponto de descarga de efluente industrial para o meio hídrico em local contíguo à empresa fiscalizada. Registou-se uma temperatura máxima de 20.1°C e mínima de 2.4°C. Na visualização 3D observa-se um aumento acentuado da temperatura no local de descarga.

Na sequência dos resultados obtidos efetuaram-se fiscalizações pelas entidades competentes que deram origem à eliminação das descargas ilícitas.

As **soluções propostas para correções de anomalias**, decorreram na sequência do trabalho desenvolvido de identificação das mesmas, onde se procedeu à definição e implementação de soluções para correção das mesmas. As ações corretivas preponderantes foram a **remoção de vegetação e aterros sobre câmaras de visita (RVAC)**, **obras de reparação de danos estruturais (ORDE)** e **alterações de ramais industriais (ARI)**. Na tabela 4-3 apresenta-se uma síntese das ações corretivas por FD e os respetivos custos associados. Salienta-se que as ações corretivas de anomalias relativas a desvios ilícitos de caudal por parte de clientes são-lhes imputadas na totalidade. A TRATAVE após deteção do ilícito, estuda a melhor solução para correção da anomalia, elaborando um projeto de execução e acompanhando todos os trabalhos.

Tabela 4-3: Correções de anomalias.

FD	Tipo de solução			Custos associados (€)
	RVAC	ORDE	ARI	
4	12	74	3	33380
5	0	17	3	13400
6	17	58	5	18600
9	5	111	5	31200
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>260</b>	<b>16</b>	<b>96580</b>

O custo total das ações corretivas rondou os 100 000€, incluindo a aquisição dos equipamentos DGPS e termográfico. O valor deste investimento foi naturalmente recuperado com a mitigação representativa de AI e permitiu o aumento da eficiência ambiental através da eliminação de descargas sem tratamento.

Apresentam-se exemplos de várias das soluções corretivas implementadas. Com a localização das infraestruturas em terrenos agrícolas e florestais com vegetação abundante, foi necessário proceder à sua desmatação (figura 4-8). Utilizaram-se equipamentos específicos para este processo, nomeadamente manuais e mecânicos, tais como, máquinas de corte e retroscavadoras.



Figura 4-8: Exemplo de trabalhos de desmatação.

Na figura 4-9 a) apresenta-se um exemplo de uma solução de RVAC, muito frequente, que causa infiltrações, tendo sido adotada em cerca de 120 câmaras de visita. Todas as anomalias deste tipo identificadas foram reparadas. Na figura 4-9 b) apresenta-se um exemplo de correção. Estima-se que com os trabalhos de mitigação de infiltrações se tenha evitado um caudal infiltrado de cerca de 150 m<sup>3</sup>/h correspondente a 1 300 000 m<sup>3</sup>/ano, tendo em conta a totalidade dos interceptores sujeitos a levantamento topográfico. Algo extremamente representativo na melhoria das condições de transporte dos efluentes para as ETAR.

Outro exemplo de anomalia é relativo a câmaras soterradas e é apresentado nas figuras 4-9 c) a f). Na figura 4-10 apresenta-se um exemplo de elevação de câmaras de visita.

Com a eliminação da generalidade das anomalias identificadas, foi possível identificar, outros pontos críticos adicionais resultantes de condições hidráulicas específicas do escoamento na rede.



Através da monitorização contínua tornou-se possível uma gestão preventiva daquelas situações críticas, procurando-se minimizar sempre os impactos de eventuais derrames que lhes estão associados.



Figura 4-9: a) Câmara de visita com infiltração, b) Infiltração reparada e de c) a f) Elevação de câmara de visita enterrada.



Figura 4-10: a) e b) Câmara enterrada e c) a h) Elevação de câmara de visita.

Finalmente, apresenta-se um exemplo de ARI, que constituíram as AI mais representativas em termos de caudal. Esta tipologia de correcção teve que ser definida caso a caso em função dos cenários encontrados. Foram identificados desvios para o meio hídrico, conforme se apresentou na figura 4-7, com enormes impactos ambientais e desvios ao medidor de caudal. Estes são executados de várias formas tais como: picagens subterrâneas ao interceptor, tubagens amovíveis, conforme figura 4-11 a) a d), manipulação de equipamento de medição, entre outras.

De forma a eliminar estas situações irregulares, foi necessário criar um plano de monitorização que se apresentará em 4.1.2. Os resultados da monitorização contínua permitiram acompanhar em tempo real as flutuações das condições de escoamento ao longo dos interceptores. Foram corrigidos ramais de ligação de 16 clientes industriais, que representam cerca de 20% do caudal industrial faturado. Na figura 4-11 e) a h) apresenta-se uma solução, que passa essencialmente por colocação do ramal de ligação à vista, tubagem em inox e medidor junto à ligação ramal-interceptor.

Após execução destas correções, são feitas inspeções periódicas visuais para avaliar a ligação, assim como, se necessário, inspeções CCTV, para deteção de eventuais picagens ao interceptor. Adicionalmente a estas inspeções, são efetuados balanços hídricos diários, de forma a acompanhar a evolução dos caudais em tempo real. Estima-se que após as correções estruturais e alterações em ramais industriais ao longo do período de desenvolvimento do trabalho (quatro anos) se tenha recuperado para efeitos de faturação, um volume que supera o valor de 3 000 000m<sup>3</sup>, representando numa diminuição de aflúncias indevidas de aproximadamente 8%. Este incremento substancial contribuiu para o aumento de desempenho da TRATAVE na gestão operacional das infraestruturas de SAR. Em termos ambientais o impacto é preponderantemente imensurável, no sentido que o impacto ambiental que resulta de descargas em diferentes pontos da rede é difícil de quantificar por falta de conhecimento da duração da descarga e/ou até da origem da mesma. Com a rede de monitorização implementada é possível a deteção célere deste tipo de anomalias, onde inequivocamente resulta numa melhoria Ambiental representativa.

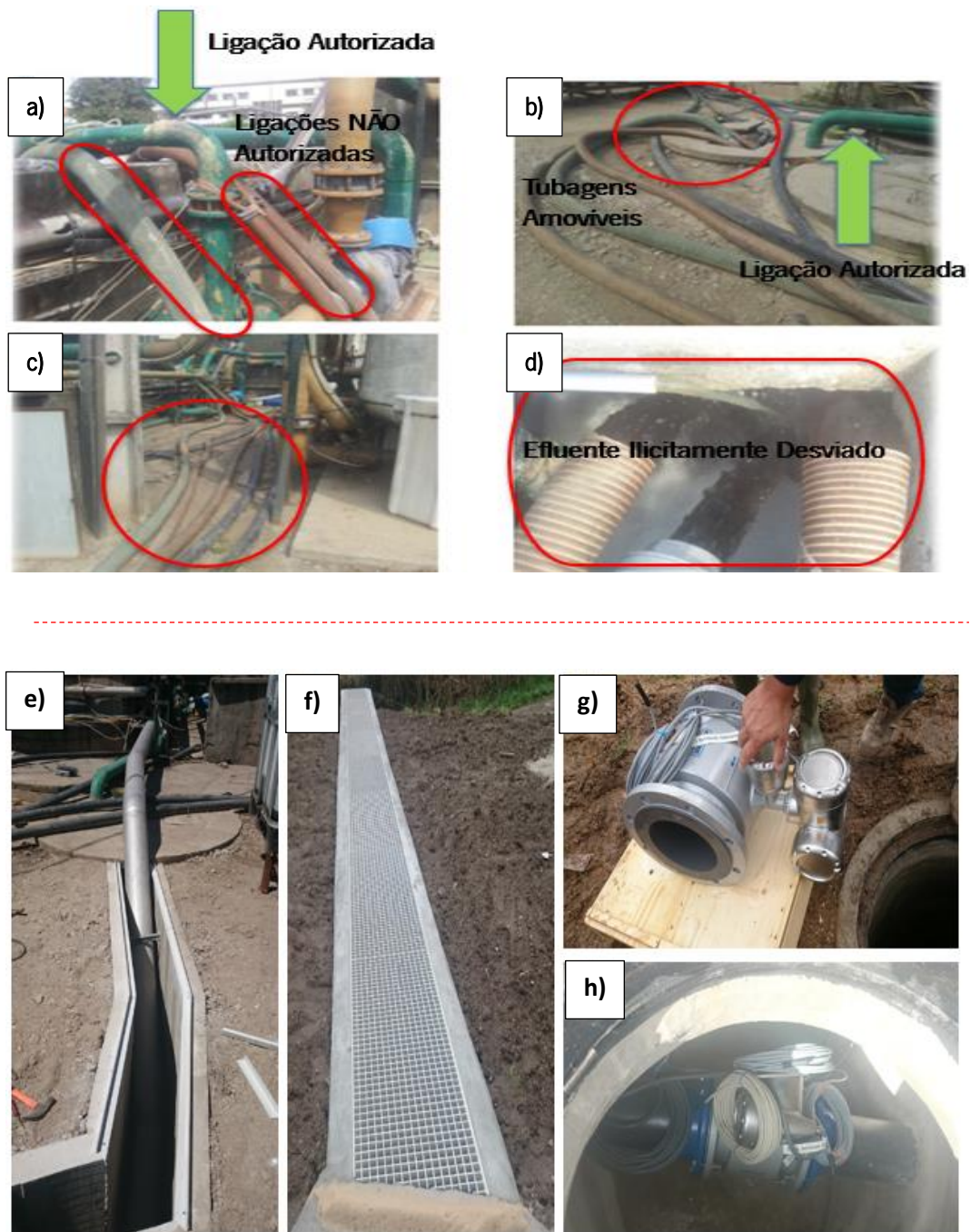


Figura 4-11: a) a d) Levantamento de características da ligação irregular, e) a f) correção de ligação com canal à vista e g) a h) Colocação de medidor de caudal.

#### 4.1.2 Implementação do Sistema de Monitorização

A implementação do sistema de monitorização constituiu, inequivocamente, uma fase do trabalho exigente em termos de rigor apesar da elevada complexidade. Na sequência do levantamento

cadastral, foi possível detetar pontos sensíveis na rede, nomeadamente locais identificados com propensão à ocorrência de derrames. De forma a conhecer e acompanhar as condições reais de escoamento procedeu-se à melhoria do sistema de monitorização existente através da inclusão de sensores de medição adicionais e, em alguns casos, redundantes. Apresenta-se o sistema de monitorização, considerando:

- Caracterização do sistema existente no início do projeto;
- Desenvolvimentos ao sistema de monitorização;
- Instalação de novos sensores para monitorização (Fixos);
- Medições com equipamento móvel;
- Automatização de leituras de medições de campo.

**A caracterização do sistema de monitorização existente no início do projeto**, onde a operação e gestão do sistema de recolha e transporte de águas residuais era baseado essencialmente na medição dos caudais integrais mensais para efeito de faturação será seguidamente abordada. Esta medição é realizada através de medidores de caudal instalados nos clientes que se dividem em dois grupos: clientes municipais e clientes industriais. Existiam 66 medidores de caudal em pontos de recolha municipais, cujas características são detalhadas na tabela 4-4 e cuja localização se apresenta na figura 4-12, representando cerca de 61% do caudal doméstico medido, sendo o restante estimado. Relativamente à monitorização dos efluentes industriais, existiam 112 medidores de caudal (tabela 4-5), representando cerca de 85% do caudal industrial medido. Na figura 4-13 apresentam-se as respetivas localizações.

Cerca de 70% do caudal (industrial e doméstico) era medido, o que representava um indicador de desempenho de medição de caudal bastante satisfatório, tratando-se de sistemas de SAR. Contudo, este indicador de desempenho não contempla as AI, nomeadamente infiltrações ao longo da rede e ainda os caudais oriundos de ligações clandestinas. Portanto, estas medições concentravam-se nos pontos de recolha, ficando grandes extensões de rede sem qualquer monitorização, existindo apenas medição nas extremidades de jusante da rede interceptora, ou seja, nas ETAR.



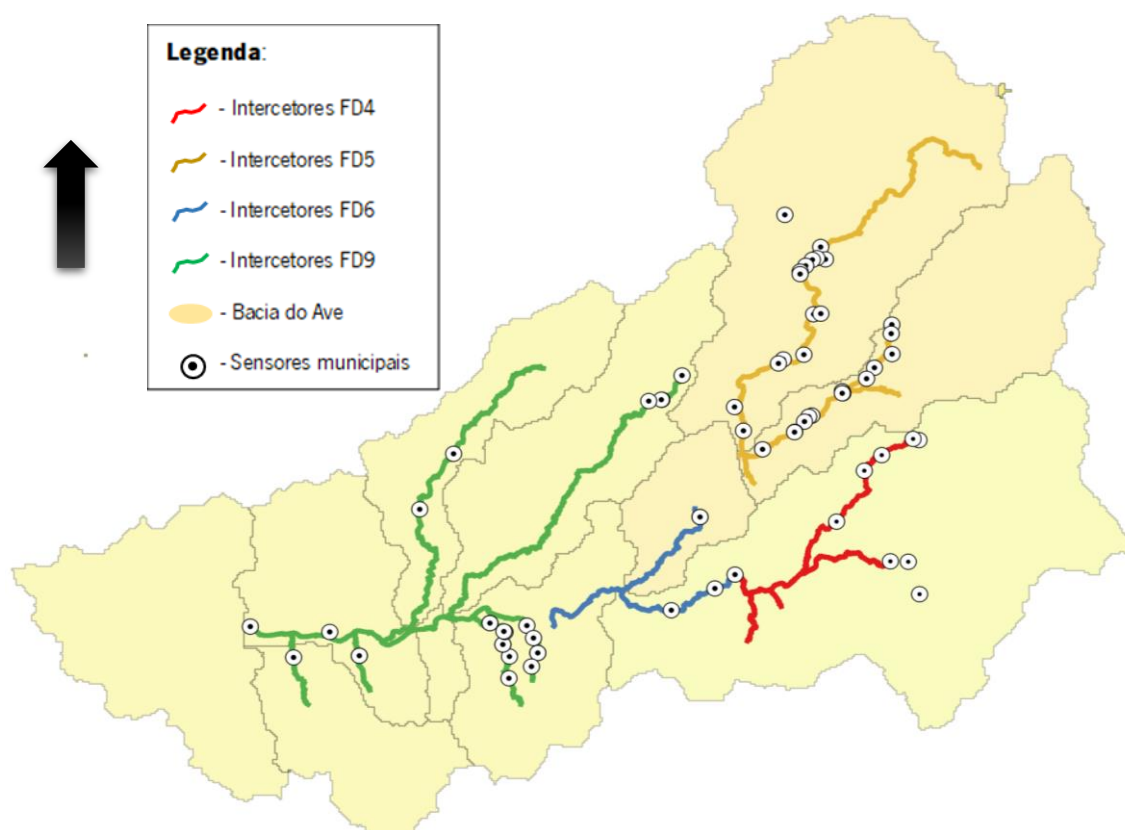


Figura 4-12: Localização dos 66 medidores de caudal relativos a pontos de recolha municipais na fase inicial do projeto.

Tabela 4-4: Equipamentos de medição instalados em pontos de recolha municipais.

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal
		Este	Norte			
TRATMCDOM032	4	-13769.661	194231.589	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM033	4	-13992.649	194279.582	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM034	4	-15175.855	193633.575	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM035	4	-15833.829	193015.167	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM036	4	-16881.117	190990.443	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM037	4	-13747.730	188103.075	Radar	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM038	4	-14849.280	189410.505	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM039	4	-14174.819	189393.134	Radar	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM001	5	-17482.370	201911.179	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM002	5	-17300.446	201420.967	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM003	5	-17622.430	201469.807	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM004	5	-17794.017	201402.878	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM005	5	-18046.230	201165.137	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM006	5	-18833.779	203189.716	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal

Tabela 4-4: Equipamentos de medição instalados em pontos de recolha municipais (continuação).

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal
		Este	Norte			
TRATMCDOM007	5	-18257.548	200933.727	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM008	5	-18257.935	200834.496	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM009	5	-17748.213	199236.720	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM010	5	-17476.878	199259.977	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM011	5	-18115.872	197630.417	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM012	5	-18894.022	197440.870	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM013	5	-19076.592	197279.619	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM014	5	-20734.449	195548.308	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM015	5	-20397.315	194603.578	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM016	5	-14795.143	198824.606	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM017	5	-14818.691	198464.845	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM018	5	-14786.422	197652.875	Ultrassónico	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM019	5	-15452.125	197109.962	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM020	5	-15749.383	196673.888	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM021	5	-16664.848	196171.531	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM022	5	-16642.462	196093.328	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM023	5	-16667.173	196093.619	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM024	5	-17814.339	195206.426	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM025	5	-17931.861	195163.109	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM026	5	-18092.918	194968.475	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM027	5	-18459.511	194563.653	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM028	5	-18468.668	194546.937	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM029	5	-19674.631	193865.498	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM030	6	-20715.116	188883.157	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM031	6	-21475.478	188330.894	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM050	6	-22035.558	191173.611	Ultrassónico	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM042	9	-22716.684	196802.312	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM043	9	-23477.514	195837.093	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM044	9	-23496.544	195838.923	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM045	9	-23973.755	195784.029	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM046	9	-31340.979	193686.898	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM047	9	-32618.841	191478.515	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM048	9	-36015.404	186602.424	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM049	9	-39014.259	186815.138	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM050	9	-22035.558	191173.611	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM051	9	-29251.922	184759.909	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM052	9	-29231.337	185624.076	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM053	9	-29479.869	186101.448	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM054	9	-29480.006	186103.095	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal

Tabela 4-4: Equipamentos de medição instalados em pontos de recolha municipais (continuação).

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal
TRATMCDOM055	9	-29398.351	186598.924	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM056	9	-29441.855	186621.293	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM057	9	-29969.180	186955.666	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM058	9	-29968.699	186952.441	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM059	9	-28572.747	186854.026	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM060	9	-28324.489	186359.827	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM061	9	-28160.064	185766.895	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM062	9	-28161.917	185767.204	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM063	9	-28398.904	185226.842	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM064	9	-23119.796	187465.675	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM065	9	-34899.526	185655.458	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM066	9	-34899.526	185655.458	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCDOM067	9	-37381.885	185588.215	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal

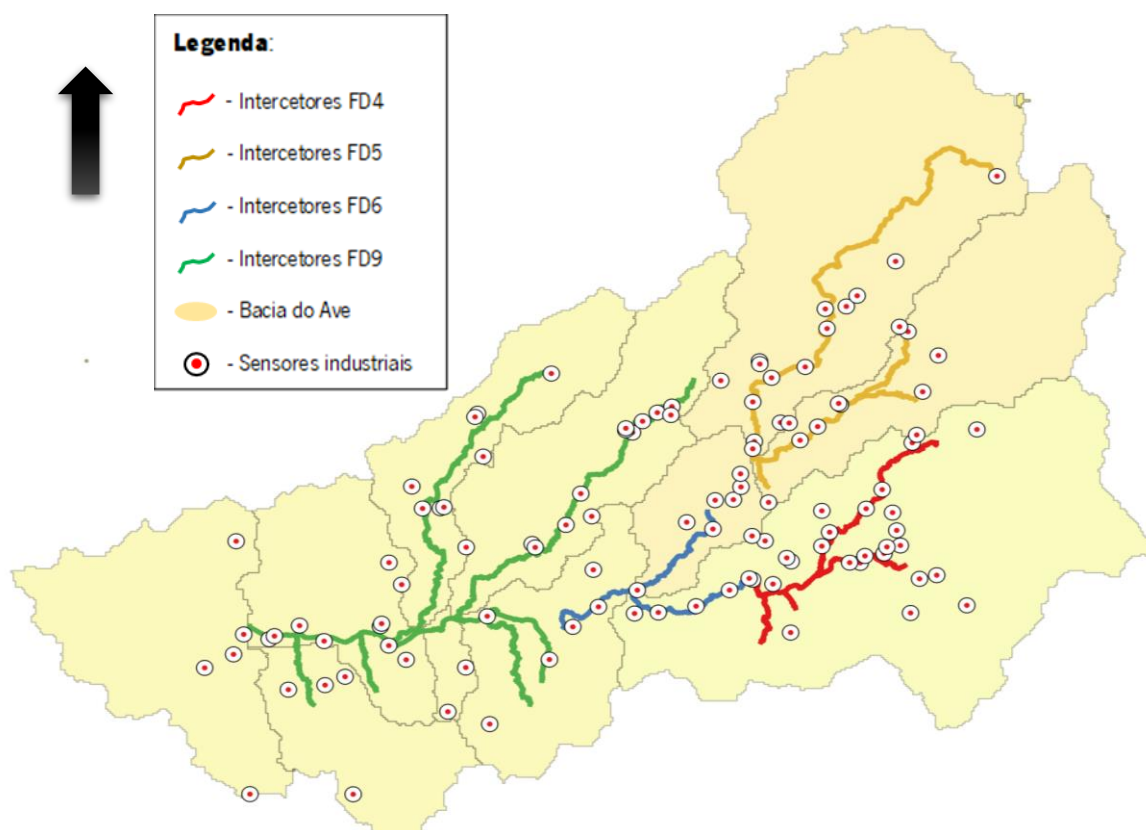


Figura 4-13: Localização dos 112 medidores de caudal em ramais de ligações industriais na fase inicial do projeto.

Como foi referido anteriormente a frequência de registo de caudais, quer nos medidores de caudal industriais, quer nos municipais era realizada mensalmente. A medição era registada por técnicos da

TRATAVE que procediam a leituras mensais. Tendo por base os caudais acumulados mensais, assumiam-se valores médios sempre que era necessário estimar valores diários.

Tabela 4-5: Equipamentos de medição instalados em clientes industriais.

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal
		Este	Norte			
TRATMCIND028	4	-17994.642	190117.315	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND029	4	-16571.280	189442.406	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND030	4	-19803.684	188585.950	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND031	4	-15691.251	189820.747	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND038	4	-17707.810	190680.786	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND039	4	-17994.605	191545.619	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND043	4	-20096.797	190329.181	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND044	4	-16965.576	189451.453	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND045	4	-19130.726	189500.142	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND046	4	-15221.641	190755.309	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND048	4	-19295.744	189643.842	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND050	4	-15759.584	192405.596	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND051	4	-16397.478	189720.998	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND052	4	-19151.125	186624.369	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND054	4	-12624.520	187724.701	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND055	4	-13739.973	188944.450	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND056	4	-14376.744	188797.309	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND057	4	-14643.796	194296.597	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND059	4	-15584.682	190086.219	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND060	4	-20578.057	190530.236	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND061	4	-15375.927	191474.180	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND062	4	-16354.225	191631.161	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND063	4	-14481.126	194615.637	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND064	4	-15086.528	190145.322	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND065	4	-14709.917	187416.632	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND001	5	-19968.053	191887.566	Ultrassónico	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND002	5	-18610.618	197361.772	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND003	5	-19525.700	195114.232	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND004	5	-12250.423	194834.456	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND005	5	-14805.096	198788.191	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND006	5	-13679.770	197825.580	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND007	5	-18149.509	194950.510	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND008	5	-18801.008	194396.905	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND009	5	-17087.403	199807.130	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal



Tabela 4-5: Equipamentos de medição instalados em clientes industriais (continuação).

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal
		Este	Norte			
TRATMCIND010	5	-21738.139	196808.396	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND011	5	-17305.677	195836.610	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND012	5	-15116.914	198988.173	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND013	5	-19856.497	196923.836	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND014	5	-20304.878	197593.420	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND015	5	-11508.308	205074.447	Ultrassónico	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND016	5	-15263.162	201629.168	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND016B	5	-17865.866	199705.413	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND017	5	-20291.501	197477.23	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND018	5	-16686.772	200238.648	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND019	5	-14261.246	196356.549	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND020	5	-20493.944	194347.946	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND021	5	-19204.574	195092.118	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND022	5	-20552.281	195947.650	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND023	5	-17373.230	195885.459	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND024	5	-17802.135	198912.351	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND025	5	-20553.663	194051.215	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND026	6	-20554.633	188759.258	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND027	6	-21946.331	191974.465	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND032	6	-22999.222	191084.878	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND033	6	-21270.435	191998.224	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND034	6	-24828.867	188338.669	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND035	6	-27217.434	186855.816	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND036	6	-22652.488	187690.294	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND037	6	-20990.083	192509.771	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND040	6	-20685.371	188816.383	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND041	6	-24050.916	187436.056	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND042	6	-21413.784	188338.830	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND047	6	-21007.443	193040.337	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND049	6	-22028.345	190810.267	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND053	6	-24932.417	187394.823	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND058	6	-26267.388	187665.379	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND066	6	-26458.199	189161.859	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND067	9	-26922.715	192241.607	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND068	9	-34033.197	186098.399	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND069	9	-40852.460	185197.609	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND070	9	-32123.936	191651.894	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND071	9	-38462.277	186355.697	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND072	9	-34342.300	186880.531	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND073	9	-34299.623	186984.141	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND074	9	-31181.702	185212.410	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal

Tabela 4-5: Equipamentos de medição instalados em clientes industriais (continuação).

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal
		Este	Norte			
TRATMCIND075	9	-39783.736	185743.412	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND076	9	-33390.075	185523.980	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND077	9	-30295.590	182925.343	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND078	9	-31166.597	190071.874	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND079	9	-28723.005	190205.456	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND080	9	-37752.682	184316.869	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND081	9	-32781.945	191639.354	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND082	9	-37338.416	186904.569	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND083	9	-38268.594	186480.788	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND084	9	-28084.305	185534.233	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND085	9	-33555.675	188562.915	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND086	9	-25008.079	194708.779	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND087	9	-35652.349	184839.459	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND088	9	-24088.911	195514.439	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND089	9	-23547.169	195760.730	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND090	9	-34025.933	189452.380	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND091	9	-30387.929	187284.252	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND092	9	-36429.190	186278.961	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND093	9	-39175.350	180093.695	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND094	9	-27471.109	190975.015	Ultrassónico	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND095	9	-36393.417	184500.763	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND096	9	-39686.276	190316.456	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND097	9	-31844.951	183424.659	Ultrassónico	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND098	9	-25256.993	194803.501	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND099	9	-24634.800	195166.167	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND100	9	-25254.248	194882.244	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND101	9	-35352.354	180088.023	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND102	9	-30537.515	193737.949	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND103	9	-23584.740	195417.338	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND104	9	-26517.052	191321.945	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND105	9	-39406.728	186550.229	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND106	9	-33180.109	192527.812	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND107	9	-28013.675	197094.256	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND108	9	-28610.390	190067.556	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND109	9	-30744.831	195471.408	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND110	9	-30839.981	195340.212	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal
TRATMCIND111	9	-31990.710	191692.967	Eletromagnético	Mensal	Sem sinal

Embora o número de equipamentos de medição de caudais afluentes ao sistema de drenagem fosse extenso, era, todavia, insuficiente para se realizarem balanços hídricos parcelares ao longo da rede. A frequência mensal de registo de caudais não permitia identificar de forma célere e eficaz as causas de

diferentes anomalias. Deste modo, a deteção de anomalias além de incipiente, ocorria de forma tardia o que resultava em problemas de escoamento, derrames prolongados ou aflúncias indevidas com grande impacto quer financeiro quer ambiental. No sentido de incrementar a gestão operacional de todo o sistema, iniciou-se um processo de melhoria do sistema de monitorização existente.

O **desenvolvimento do sistema de monitorização existente** foi o principal objetivo deste trabalho, para suporte à implementação de um sistema de suporte à decisão. Este requer uma base de informação fiável e obtida em tempo real (ou com atrasos de curta duração – minutos a horas). A informação deverá ter uma resolução temporal que se adequa aos fenómenos que se pretendem analisar, nomeadamente das aflúncias indevidas, incluindo as que estão relacionadas com eventos de precipitação. Só assim se poderão diagnosticar corretamente as causas das anomalias detetadas e tomar as medidas corretivas necessárias em tempo útil. Decidiu-se, assim, dotar parte dos medidores de caudal utilizados para efeitos de faturação de *dataloggers* com capacidade de transmissão de dados em tempo real. Tornou-se deste modo possível caracterizar as aflúncias à rede com elevada resolução temporal, permitindo registar as variações ao longo do dia. Na tabela 4-6 apresenta-se uma síntese com o número de *dataloggers* instalados, assim como a percentagem de *dataloggers* instalados relativamente ao número de medidores de caudal existentes (PDICE). Os custos associados à sua aquisição são também apresentados. Apesar da transmissão dos registos com resolução horária mantêm-se as inspeções mensais aos equipamentos.

Tabela 4-6: Dataloggers instalados em medidores de caudal industriais e municipais.

FD	Dataloggers indústria		Dataloggers municipais		Custo (€)
	Nº	PDCIE (%)	Nº	PDCIE (%)	
4	15	60.0	5	55.5	3600
5	14	53.8	11	37.9	4500
6	13	86.6	1	33.3	2520
9	21	46.6	14	53.8	6300
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>56.8</b>	<b>31</b>	<b>46.3</b>	<b>16920</b>

Os medidores de caudal instalados nas indústrias, permitem medir cerca de 85% de volume industrial faturado. Cerca de 60% dos equipamentos de medição das indústrias foram dotados de *dataloggers*, representando 68% do volume faturado às indústrias.

Relativamente a efluentes domésticos, cerca de 50% dos medidores de caudal foram dotados de *dataloggers*, permitindo aceder a informação em tempo real de mais de 50% dos volumes domésticos faturados.

Com a instalação de *dataloggers* em clientes industriais e domésticos, tornou-se possível medir em tempo real cerca de 60% dos volumes faturados.

A **instalação de novos sensores para monitorização (fixos)**, foi de crucial importância para o desenvolvimento do SAD. No sistema de drenagem objeto de estudo não existiam medidores de caudal que permitissem acompanhar a evolução do escoamento ao longo dos interceptores. Estes estendem-se ao longo de vários quilómetros, pelo que a monitorização restrita a pontos de recolha em clientes industriais e municipais não permitia avaliar as condições reais de escoamento ao longo destes emissários. Eventuais entradas ilícitas ao longo da rede, dificilmente são detetadas sem medições intermédias em diferentes trechos de rede.

Outras anomalias facilmente detetáveis com medição e transmissão em tempo real, nomeadamente focos de infiltração, obstruções na rede, paragens de EE, entre outras, justificaram também a instalação de sensores adicionais para avaliação das condições de escoamento através duma abordagem holística do sistema.

Instalaram-se na rede 27 equipamentos de medição intermédia, 3 equipamentos em linhas de água para estimativas de caudal e 4 estações meteorológicas. Instalaram-se sensores nas extremidades de jusante dos interceptores e em secções intermédias dos mesmos, permitindo efetuar balanços de volumes escoados com uma maior resolução espacial.

Na figura 4-14, apresentam-se as localizações dos equipamentos de monitorização intermédios (entre os clientes e as ETAR) instalados.

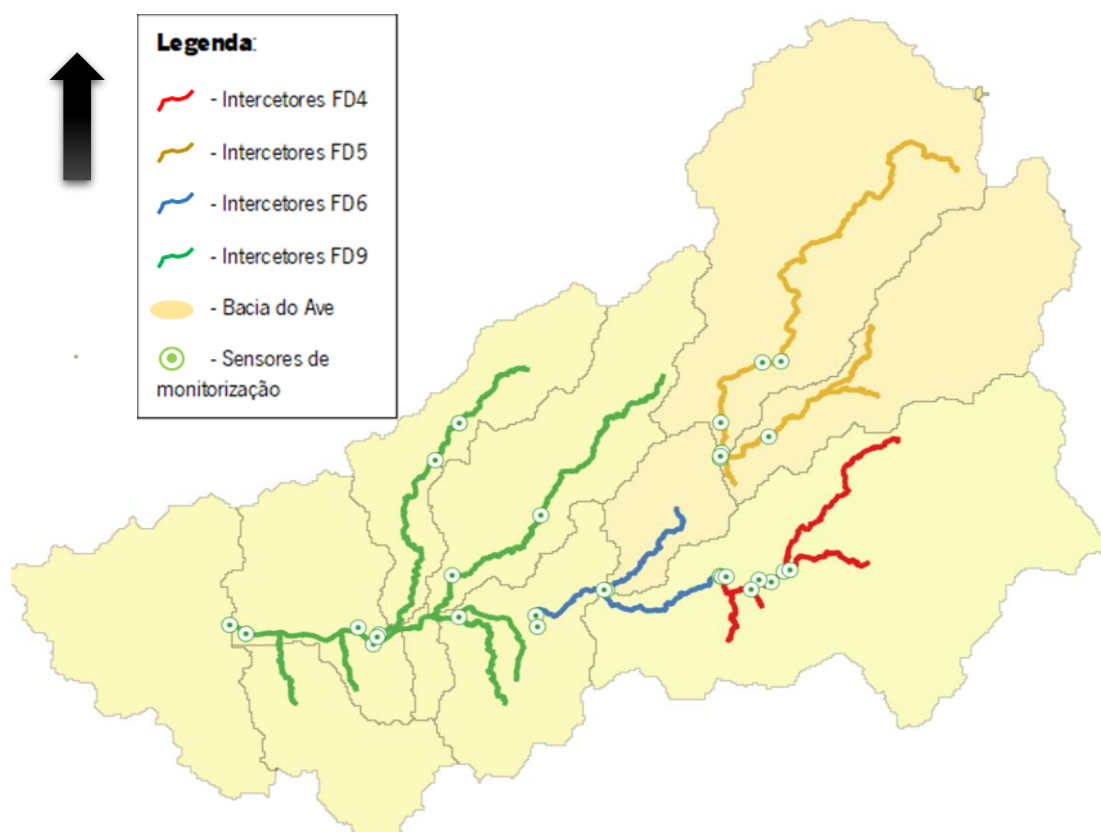


Figura 4-14: Localização de equipamentos de medição de caudais instalados ao longo dos interceptores.

Na tabela 4-7, apresenta-se, uma síntese com as características dos equipamentos de monitorização, assim como os custos associados à sua instalação.

Tabela 4-7: Equipamentos de monitorização instalados em diferentes trechos de rede.

ID	FD	Coordenadas		Tipologia	Frequência de registo	Tipo de sinal	Custo (€)
		Este	Norte				
TRATMCMON002	4	-18110.539	188992.706	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON018	4	-18602.664	188574.634	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON019	4	-17886.973	189057.938	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON022	4	-19076.405	188664.030	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON027	4	-19376.006	188275.979	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON015	5	-18231.884	197415.022	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON016	5	-18941.273	197371.400	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON017	5	-20539.284	194962.299	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON028	5	-20506.882	193757.198	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON029	5	-18702.374	194399.898	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON030	5	-30552.550	194941.834	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCETAR005	5	-20555.124	193541.902	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON001	6	-20565.456	188813.302	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON006	6	-24961.224	188249.738	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON007	6	-24910.855	188251.906	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON008	6	-25008.257	188261.746	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON009	6	-20486.289	188780.835	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON026	6	-27620.433	187230.018	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON010	9	-34425.195	186750.866	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON011	9	-30825.800	188843.331	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON012	9	-27429.237	191249.698	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON013	9	-33629.050	186467.522	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON014	9	-30568.073	187167.785	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON020	9	-38718.450	186500.733	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON021	9	-33842.953	186075.213	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON023	9	-33695.838	186373.653	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON024	9	-31473.822	193455.70	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON030	9	-30552.550	194941.834	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON031	9	-38718.267	186498.354	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMON032	9	-39757.012	185340.035	Ultrassónico	Horária	GPRS	2000
TRATMCMONP001	4	-14174.819	189393.134	Radiofrequência	Tempo real	GPRS	110
TRATMCMONP002	5	-20535.542	193488.484	Radiofrequência	Tempo real	GPRS	110
TRATMCMONP003	5	-13313.803	198084.634	Radiofrequência	Tempo real	GPRS	110
TRATMCMONP004	9	-39274.083	186898.724	Radiofrequência	Tempo real	GPRS	110
<b>Custo (€)</b>				<b>(-)</b>			<b>60 440</b>

De referir que para instalação da rede de sensores foram necessárias estruturas de fixação específicas, conforme apresentadas no capítulo 3. O custo associado a este tipo de estruturas já é contemplado no custo indicado na tabela precedente, ou seja, os valores apresentados representam valor de equipamento e de estrutura de fixação.

No início deste projeto (2015), os balanços hídricos eram efetuados para cada ETAR, sendo que os balanços hídricos nas FD4 e FD6 eram realizados de modo agregado. Os balanços eram realizados com uma resolução temporal mensal em três ZMC (figura 4-15), o que representava um conhecimento limitado das reais condições de escoamento.

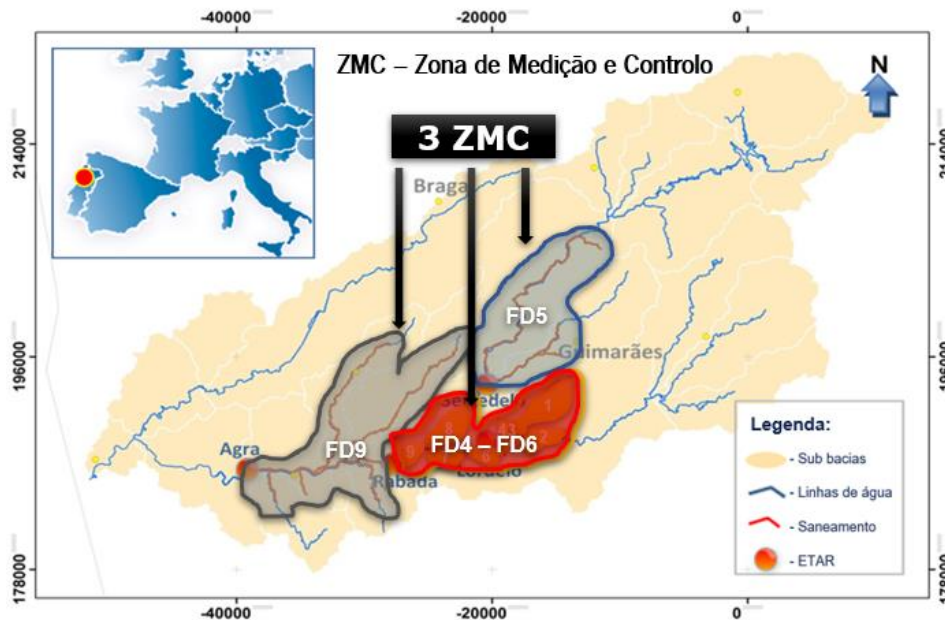


Figura 4-15: ZMC consideradas para efeitos de balanços de volumes escoados na rede em 2015.

Após a instalação da rede de monitorização passou a ser possível a realização de balanços hídricos com maior resolução espacial, passando-se de 3 ZMC para 23 ZMC (figura 4-16) efetuados com resolução temporal horária. A possibilidade de analisar as condições de escoamento com elevada resolução espacial permitiu a deteção de variadas AI e obstruções na rede. É agora possível obter um conhecimento das condições de escoamento em tempo real.

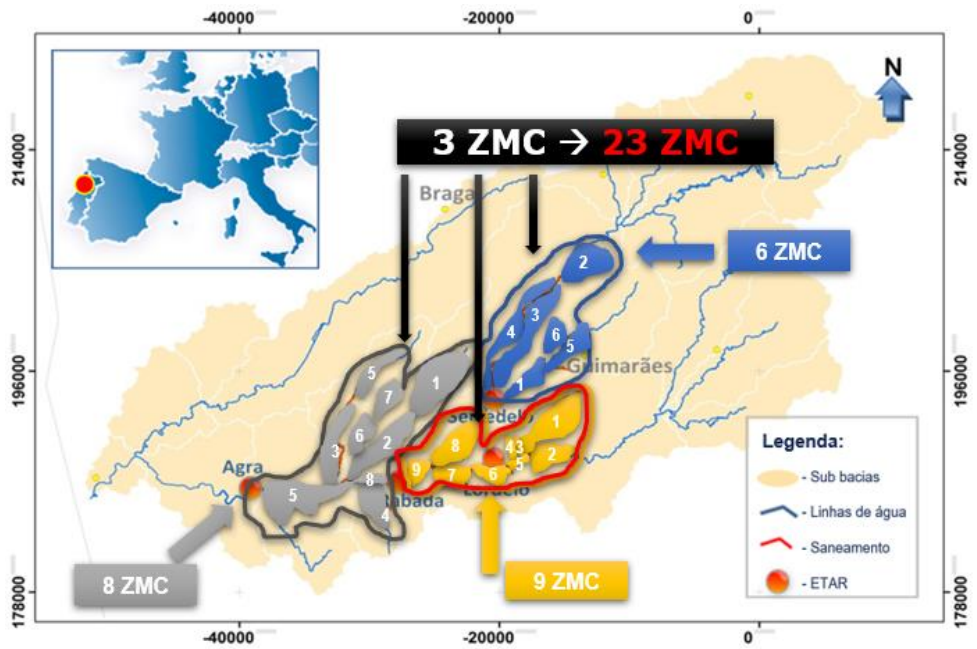


Figura 4-16: ZMC consideradas para efeitos de balanços de volumes escoados na rede em 2018.

As medições com equipamento móvel foram recorrentes no decurso deste projeto. A medição de caudais em condutas de grande diâmetro implica o recurso a medidores de caudal cujo custo é avultado. Para este trabalho optou-se por uma solução de baixo custo baseada na medição do nível de escoamento na conduta, mas que implica estimar uma lei de vazão adequada à transformação da leitura da altura de escoamento no caudal escoado.

Neste processo recorreu-se ao equipamento móvel descrito em 3.1.2. Foram realizadas campanhas de medição em cada um dos locais de instalação dos sensores de nível com exceção dos locais onde a medição é efetuada em descarregadores. Foi realizada medição de alta precisão e contínua (em períodos de 7 a 15 dias) de velocidades de escoamento. Com base nos resultados de medição da velocidade foram aproximadas leis de vazão para os diferentes locais de instalação dos sensores ultrassónicos.

Na tabela 4-8 apresenta-se uma síntese com as leis de vazão obtidas a partir dos resultados de medições com o equipamento móvel nas diferentes campanhas e na figura 4-17 a localização das mesmas.



Tabela 4-8: Leis de vazão estimados a partir dos resultados de campanhas realizadas com equipamento de medição móvel

Data	FD	ID Mapa	Equipamento	Duração (dias)	Lei de vazão $Q = aA^2 + bA$		R <sup>2</sup> (-)
					a	b	
27-05-18	9	1	Laser Flow	8	7422.50	-303.08	0.8585
06-06-18	5	2	Laser Flow	7	7492.60	-375.86	0.9916
13-06-18	6	3	Laser Flow	7	23040.00	150.12	0.9971
20-06-18	4	4	Laser Flow	8	-958.22	2129.70	0.9109
28-06-18	4	5	Laser Flow	8	5659.60	710.19	0.9868
06-07-18	6	6	Laser Flow	10	9239.80	596.94	0.9987
16-07-18	9	7	Laser Flow	7	4289.60	394.01	0.9966
23-07-18	4	8	Laser Flow	7	20167.00	-737.24	0.9705
30-07-18	6	9	Laser Flow	7	7058.10	698.10	0.9246
06-08-18	6	10	Laser Flow	7	15806.00	-356.05	0.9902
13-08-18	5	11	Laser Flow	7	16400.00	156.42	0.9737
20-08-18	5	12	Laser Flow	10	3111.30	-545.39	0.9839
30-08-18	9	13	Laser Flow	8	4133.90	525.56	0.9799
07-09-18	6	14	Laser Flow	7	4448.20	-66.12	0.9027
14-09-18	4	15	Laser Flow	7	5891.40	631.52	0.9186
21-09-18	4	16	Laser Flow	7	6131.20	398.34	0.9061
18-01-19	5	17	Laser Flow	10	15022.00	30.03	0.9748
11-03-19	5	18	Laser Flow	12	5785.21	211.32	0.8879
01-04-19	9	19	Laser Flow	14	4825.31	109.32	0.9982
01-05-19	9	20	Laser Flow	15	1541.21	920.71	0.9755
03-07-19	9	21	Laser Flow	15	8213.51	251.31	0.9745
22-07-19	5	22	Laser Flow	10	11253.84	111.23	0.9841
08-08-19	9	23	Laser Flow	10	4521.65	12.35	0.9125
03-10-19	9	24	Laser Flow	10	5234.21	85.65	0.9425

Tabela 4-9: Leis de vazão estimados a partir dos resultados de campanhas realizadas com equipamento de medição móvel (continuação).

Data	FD	ID Mapa	Equipamento	Duração (dias)	Lei de vazão $Q = aA^2 + bA$		R <sup>2</sup> (-)
					a	b	
15-10-19	9	25	Laser Flow	15	8128.35	112.31	0.9632

Foram realizadas 25 campanhas, tendo-se estimado leis de vazão para cada um dos locais monitorizados, com coeficiente de determinação médio de 0.95. Correspondem a 23 ZMC, sendo que 2 dos equipamentos são utilizados para efeitos de fiscalização, portanto com localização itinerante,

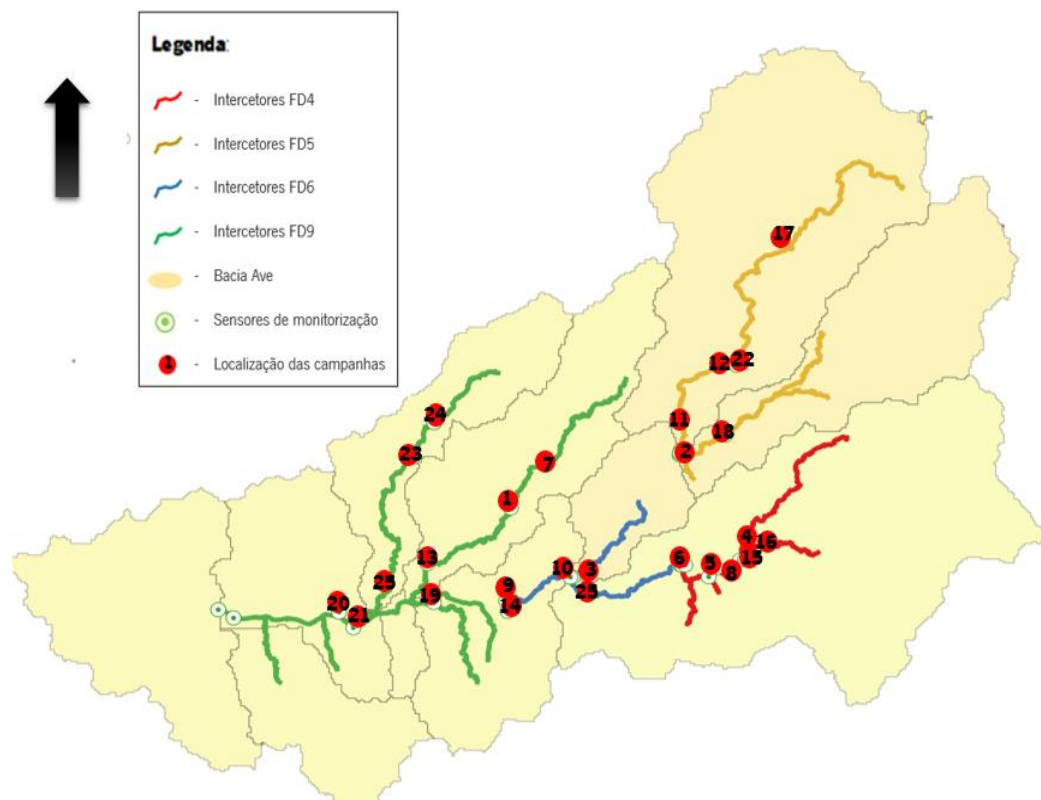


Figura 4-17: Locais das campanhas para obtenção de leis de vazão e estimação de coeficientes de rugosidade.

Na figura 4-18, apresentam-se os resultados de caudal estimado a partir das medições de velocidade em função do nível (medido em simultâneo) durante o período da campanha 20. Tendo por

base estas medições foi ajustada uma lei de vazão. Estão representados 4318 valores que correspondem a uma frequência de registo de 5 minutos. A campanha foi realizada entre os dias 1 e 15 de maio de 2018 no intercetor de Ferreiros, na FD9 (Campanha 20 – figura 4-17).

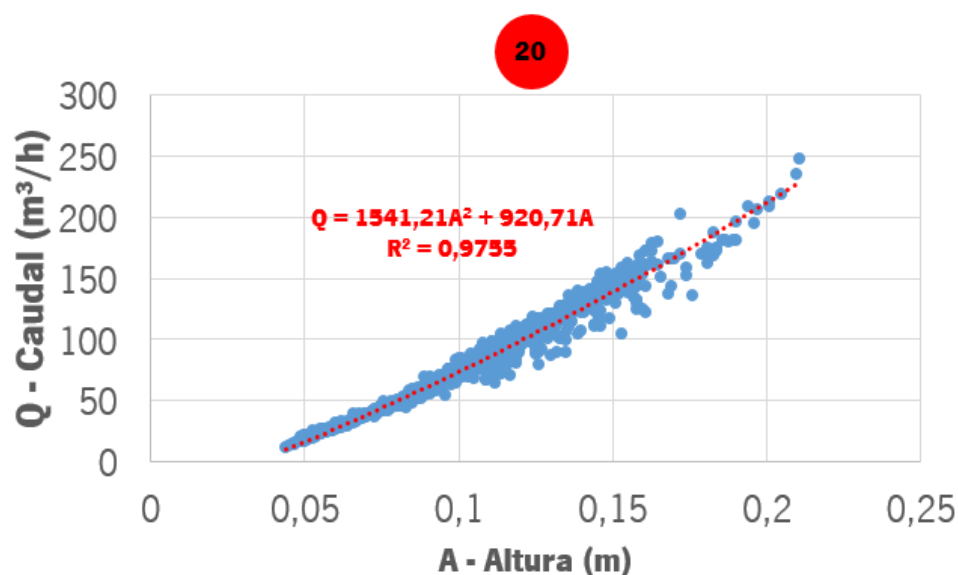


Figura 4-18: Lei de vazão obtida a partir dos resultados de medição da campanha 20.

A **automatização de leituras de medições** permitem uma gestão mais eficaz de sistemas de SAR. A instalação de sensores foi acompanhada da configuração e instalação de tecnologias apropriadas à transmissão e inserção dos dados de medição em bases de dados. Foram configurados os serviços necessários para comunicação de dados dos sensores para o sistema SCADA. Adicionalmente, foi instalado um serviço FTP que permite a partilha de todos os dados em tempo real por diferentes aplicações do sistema de suporte à decisão. Este serviço é utilizado para disponibilização dos dados de sensores na plataforma FEWS.

Os dados de medição podem ser processados com frequência de registo de 5 minutos, podendo analisar-se em tempo real diferentes séries de dados como de precipitação e caudais.

Na figura 4-19, apresenta-se um exemplo de um registo de caudais correspondente a uma série temporal de dois anos obtida pelo sensor instalado no intercetor de Nespereira e precipitações na estação meteorológica instalada na EE de Lagoas. Identificam-se períodos de entrada em pressão, durante a ocorrência de eventos de precipitação intensa.

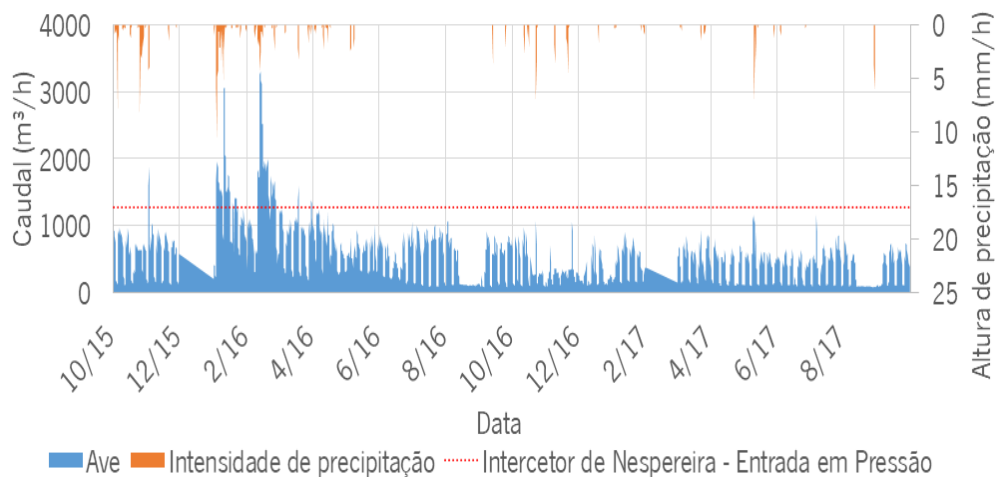


Figura 4-19: Exemplo com séries de registos de caudais e de precipitações – sensor instalado no intercetor de Nespereira e estação meteorológica da EE de Lagoas.

## 4.2 Resultados obtidos com o SAD implementado

Nesta secção são apresentados resultados obtidos a partir do sistema de apoio à decisão implementado. Salientam-se grupos de resultados que ilustram as capacidades das três componentes principais do sistema, nomeadamente:

- Sistema de Informação;
- Sistema de Modelação;
- Sistema de Análise.

#### 4.2.1 Sistema de Informação

No sistema de informação detalhar-se-á a implementação do SIG, do SCADA e da plataforma FEWS para recolha de informação das diferentes fontes utilizadas.

A **informação geográfica** foi verificada, complementada com a aquisição da informação georreferenciada de todas as infraestruturas, permitiu a organização e digitalização da informação relevante de todas as infraestruturas. Todas as singularidades do sistema estão agora georreferenciadas e digitalizadas, tais como, intercetores, câmaras de visita, pontos críticos, trechos com necessidades de manutenções preventiva, linhas de água, ETAR e EE. Este sistema digital, para além de contemplar toda a informação referente às infraestruturas, apresenta ainda informação complementar relativa às cartas militares (escalas 1:500000, 1:200000, 1:100000 e 1:50000), assim como ortofotomapas disponibilizados através de serviços WMS/WCS. Foi configurado através do *software open source QGIS* e alocado a num servidor *GIScloud*, um serviço de disponibilização e visualização da informação em ambiente *WEB*. As características das infraestruturas podem ser consultadas no endereço [https://qgiscloud.com/antonio\\_pereira/TRATAVE](https://qgiscloud.com/antonio_pereira/TRATAVE).

Na figura 4-20 apresenta-se um exemplo de um mapa com temas de informação e na tabela 4-9 detalha-se o número de registos por tema em cada frente de drenagem.

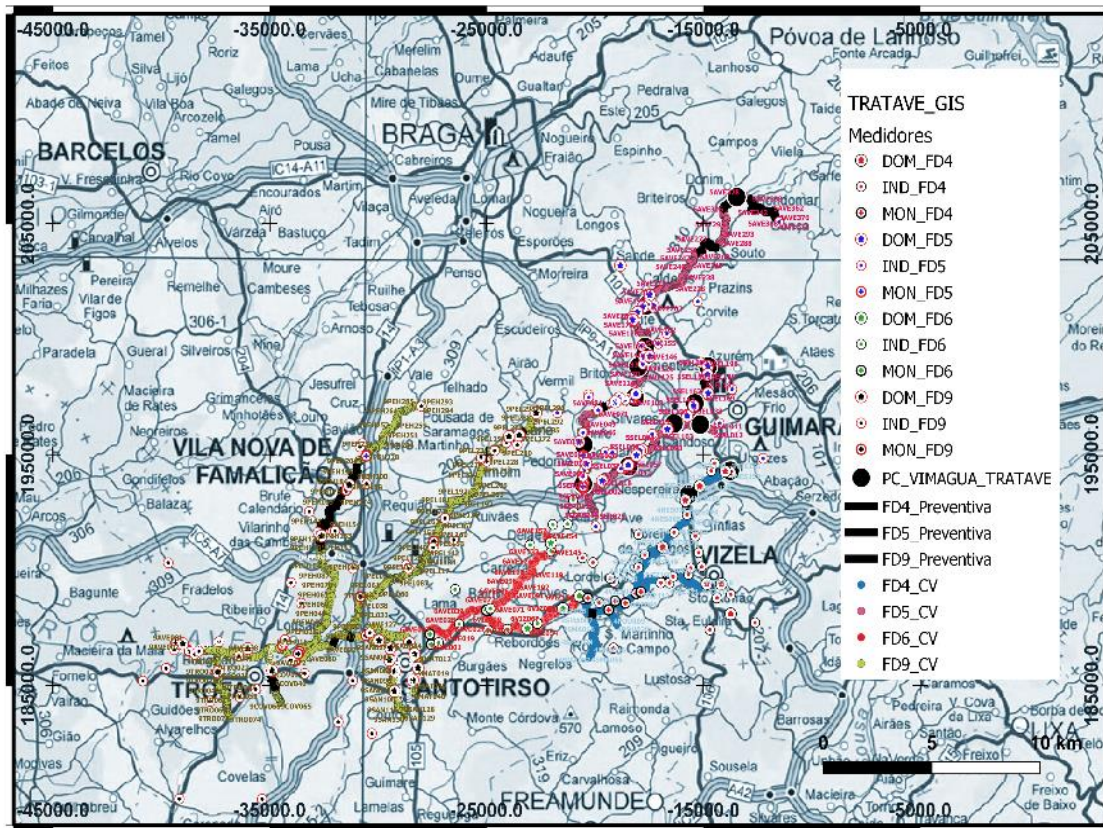


Figura 4-20: Exemplo de mapa relativo a infraestruturas operadas pela TRATAVE.

Na tabela 4-9 apresentam-se os temas utilizados para representar as infraestruturas de drenagem, sendo DOM, IND, MON, PC, CV elementos do tipo ponto e INT e Preventiva do tipo linha, representando:

- DOM – localização de medidores domésticos/municipais;
- IND – localização de medidores industriais;
- MON – localização de sensores de monitorização;
- PC – Pontos críticos na rede;
- CV – Câmara de visita;
- INT – Intercetores;
- Preventiva – Trechos de rede sujeitos a manutenção preventiva periódica.

A informação é disponibilizada por frente de drenagem, contemplando cada um dos temas diferentes atributos que permitem uma caracterização completa da respetiva infraestrutura.



Tabela 4-10: Número de elementos por entidades e FD existentes no SIG.

FD	DOM	IND	MON	PC	CV	INT	Preventiva
4	8	25	6	3	445	444	15
5	29	26	9	13	649	648	151
6	3	16	3	(-)	275	274	(-)
9	26	45	13	(-)	1061	1060	94
<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>112</b>	<b>34</b>	<b>16</b>	<b>2427</b>	<b>2423</b>	<b>260</b>

Conforme apresentado, o sistema foi desenvolvido organizando as infraestruturas por FD (figura 4-21) e por tipologia (câmara de visita, interceptor, EE, ETAR, sensores de monitorização industrial, doméstico e da rede), possibilitando a seleção das camadas que se pretendem visualizar de forma individual ou agregada.

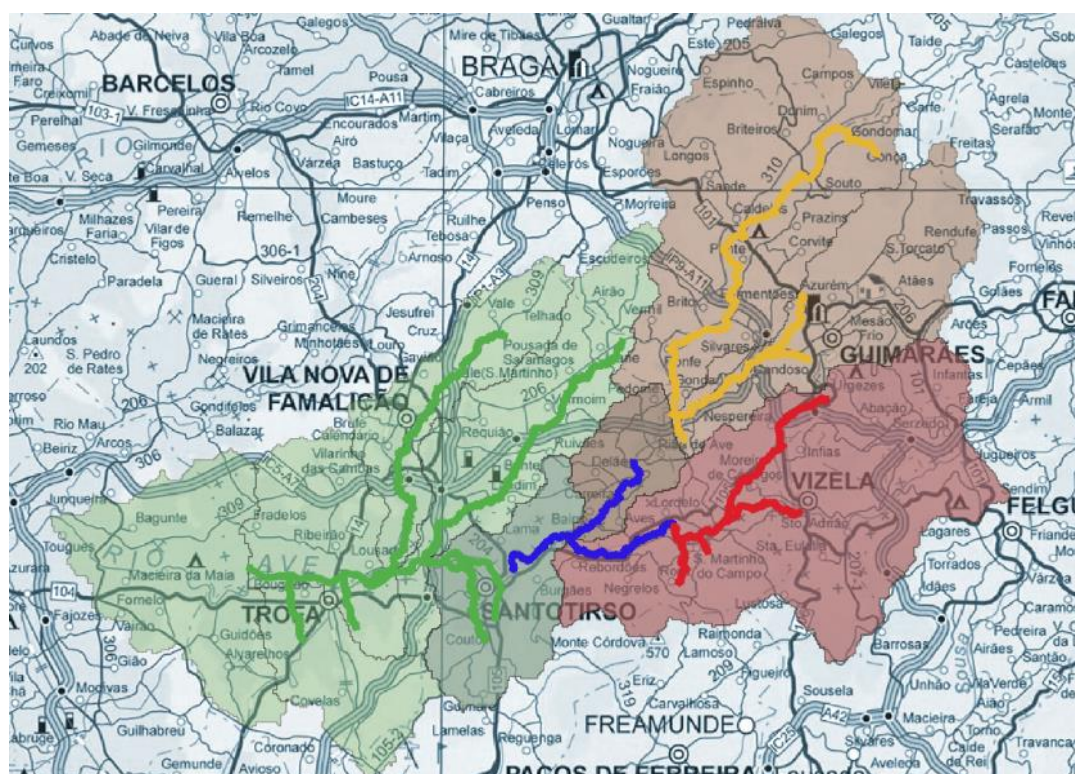


Figura 4-21: Rede interceutora da FD5 (amarelo), FD4 (vermelho), FD6 (azul) e FD9 (verde).

Os sistemas de informação são atualmente de extrema importância para uma gestão eficaz das mais variadas infraestruturas. Em sistemas de SAR, constitui também uma mais-valia, se estiverem ao alcance dos diferentes intervenientes na operação das infraestruturas, nomeadamente dos colaboradores, cujas tarefas se desempenham predominantemente no terreno. Nem sempre é fácil conhecer a localização de determinadas infraestruturas, atualizar os respetivos atributos “*in situ*”. Acresce que nem sempre existe possibilidade de ligação à internet em determinados locais (os sistemas de informação funcionam preponderantemente em ambiente *WEB*), sendo por isso imperioso adaptar a tecnologia de forma a permitir o acesso à informação em situações mais complexas, nomeadamente em locais recônditos.

Assim, através da aplicação *Qfield* (QField, 2019), foram configurados procedimentos que permitem aos colaboradores, através de aplicativos android ou ios (figura 4-22 a), com ou sem internet (é portanto possível trabalhar *offline*), aceder ao mapa da rede (figura 4-22 b), com todas as componentes inerentes ao sistema, bem como selecionar a infraestrutura que se pretenda verificar (figura 4-22 c)). Ao selecionar o elemento pretendido é possível estabelecer uma aproximação com a resolução adequada (figura 4-22 d-e). Na figura 4-22, apresenta-se um exemplo de consulta do sistema de informação, sem recurso a dados móveis, isto é, em ambiente *offline*, tendo a informação sido previamente descarregada para o equipamento móvel.



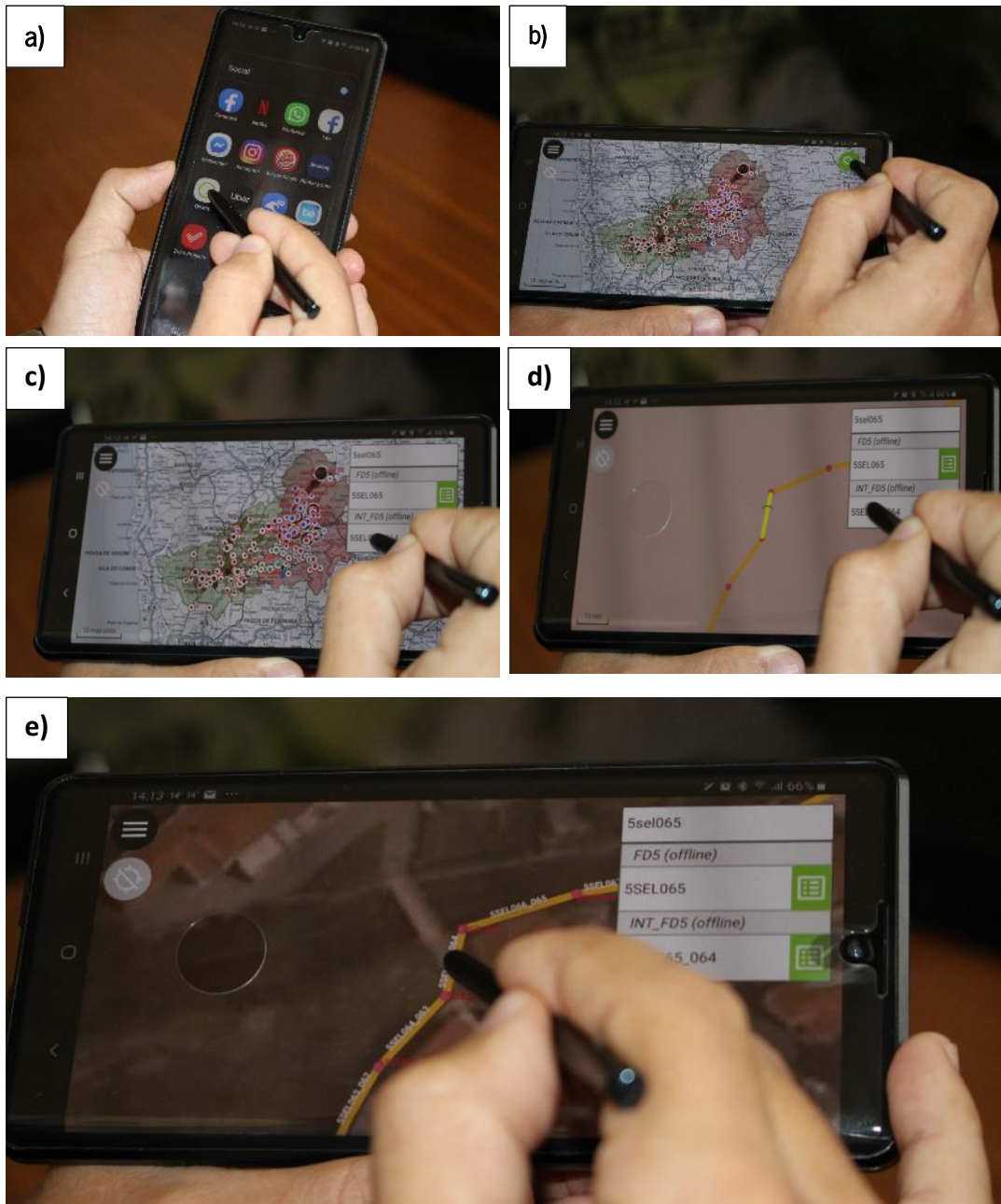


Figura 4-22: a) Aplicativo QField , b) mapa da rede no aplicativo, c) seleção de ativo específico, d) aproximação ao ativo e e) visualização do ativo com recurso a ortofotomapa.

Após seleção do elemento torna-se possível a visualização de diferentes atributos, permitindo mesmo a atualização destes “*in loco*” figura 4-23 a- b). Ativando a ferramenta de atualização, surge uma linha verde sob o atributo a alterar (figura 4-23 c) podendo corrigir-se a informação sempre que necessário. Quando se procede à atualização dos atributos (em ambiente *offline*), a base de dados só atualiza quando se ativa uma ligação à *internet*, ou seja, até se efetuar a ligação a atualização fica em

estado pendente. Efetivando-se a alteração, o gestor do sistema recebe a informação da alteração do atributo e qual o utilizador que procedeu à mesma, obtendo-se assim uma melhor gestão do sistema.

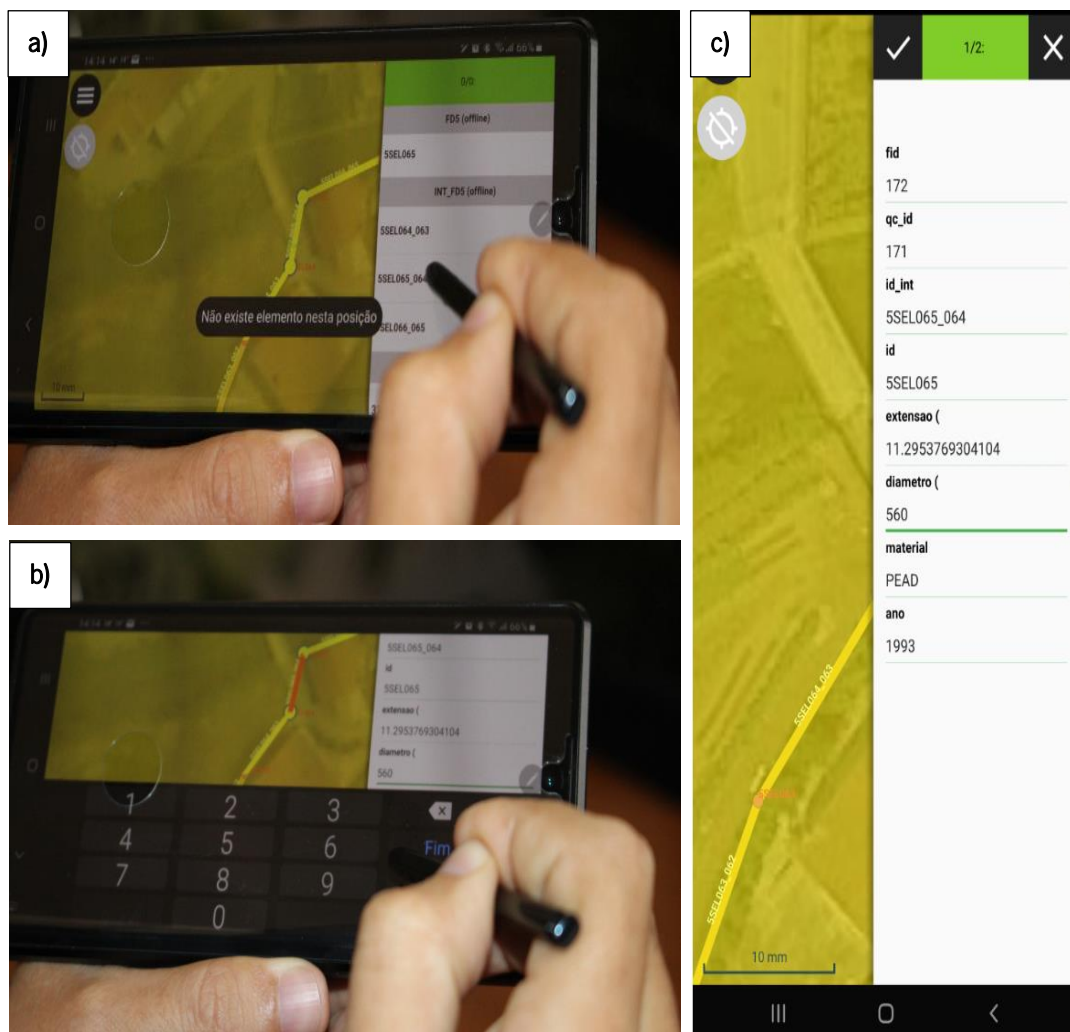


Figura 4-23: a) Escolha de ativo a atualizar, b) ativar ferramenta de atualização e c) escolha de atributo a atualizar (diâmetro).

A aplicação configurada permite ainda auxiliar na localização de câmaras de visita com localização desconhecida, orientar técnicos no campo de forma a deslocarem-se para determinada infraestrutura de forma mais célere. Ao ativar esta ferramenta (figura 4-24 a)), surge uma circunferência que localiza o utilizador do sistema no mapa (figura 4-24 b)). Com auxílio das ferramentas de medição, disponíveis na aplicação, torna-se possível a orientação do técnico desde do local onde se encontra até à infraestrutura a inspecionar (figura 4-24 c)). Em casos de necessidade, é possível ainda, a medição da área envolvente.

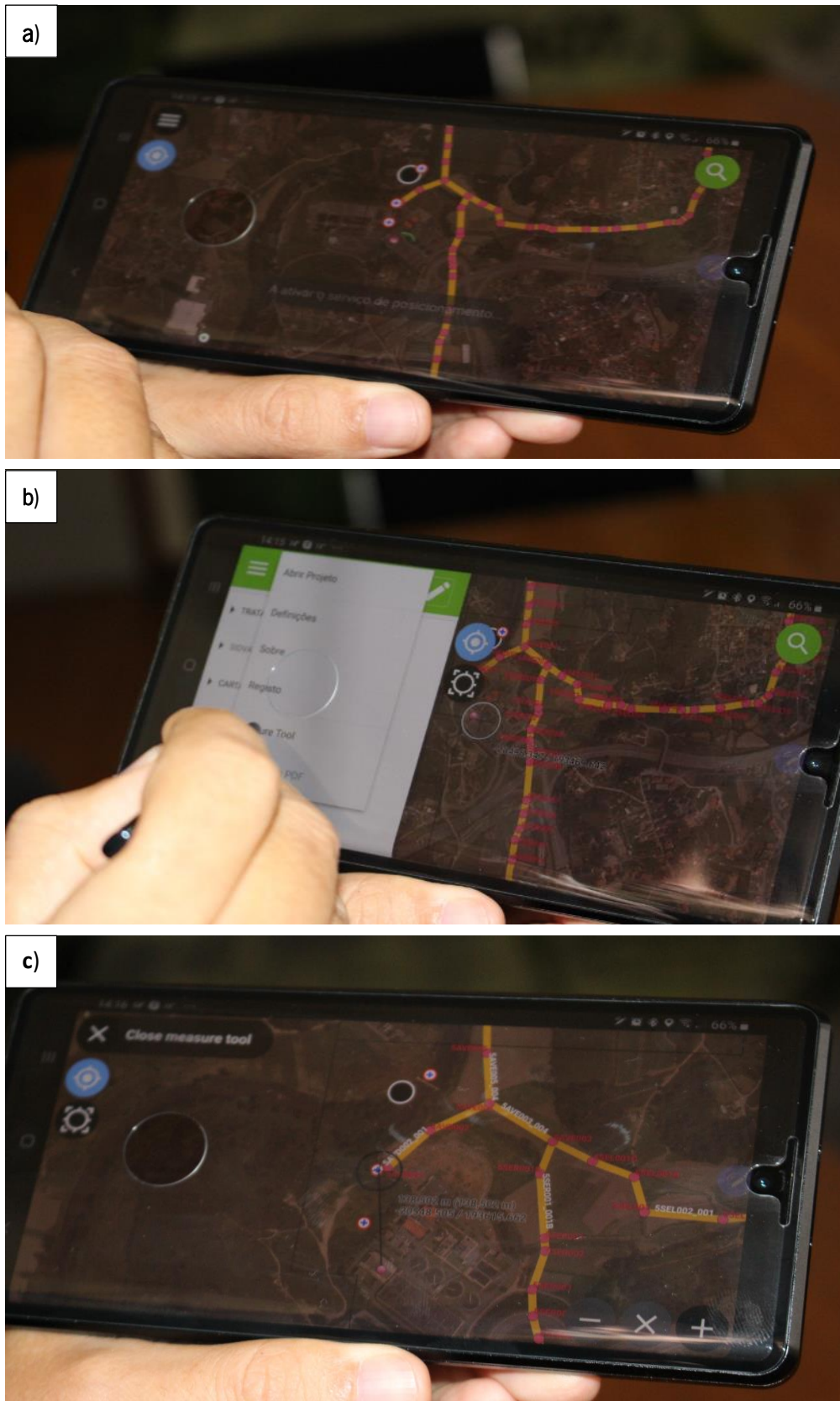


Figura 4-24: a) Geolocalização, b) Ativar ferramentas de medição e c) Medição de distância ao ativo.



De referir que as ferramentas apresentadas, têm vindo a ser utilizadas diariamente pelos técnicos da entidade gestora. De uma forma mais célere e efetiva localizam as infraestruturas a inspecionar, efetuando as alterações necessárias no cadastro, mantendo-o sempre atualizado.

A implementação do SCADA teve como suporte o *software PC WIN2* da Lacroix. Foi totalmente configurado no âmbito do trabalho de doutoramento. Foi especificamente desenvolvido para armazenar, processar e apresentar resultados obtidos através da rede de monitorização implementada.

Foram configurados vários quadros sinóticos, onde o principal (figura 4-25) apresenta a rede total de sensores existentes e ainda o módulo alarmístico. Este módulo foi especificamente criado para apoiar o operador do sistema na tomada de decisão. Para o desenvolvimento deste módulo foram analisadas séries temporais de precipitações, níveis e caudais relativas ao último triénio com resolução temporal de 5 minutos. Através desta análise os dados foram disseminados por diferentes percentis.

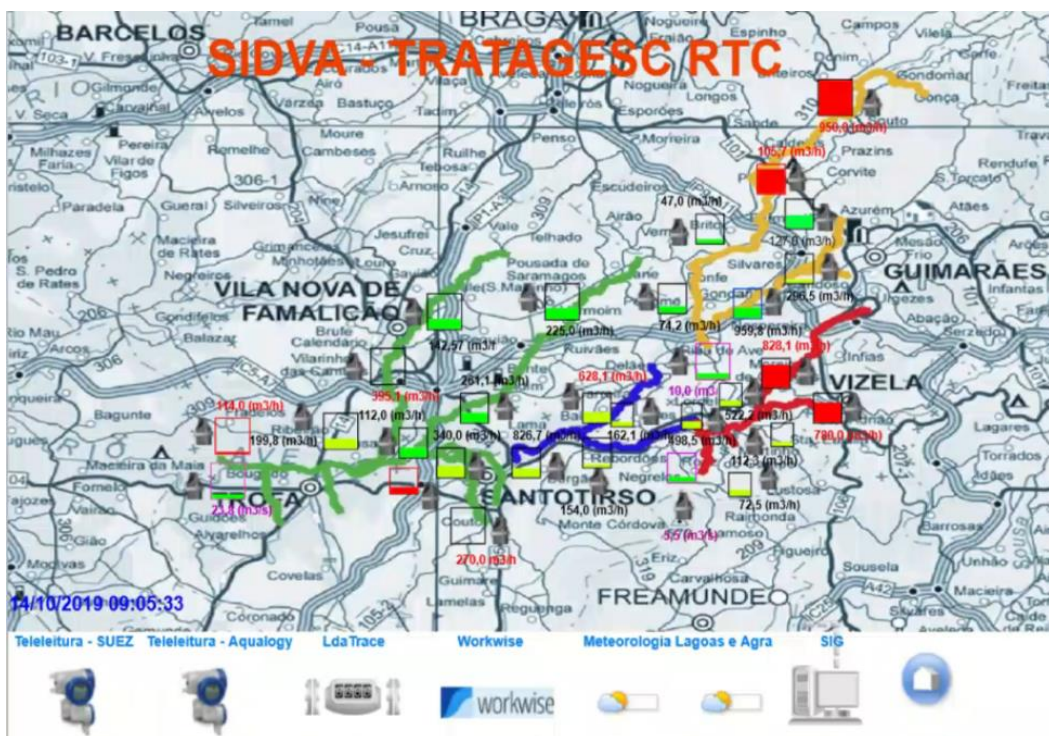


Figura 4-25: Quadro sinótico geral da SCADA.

O módulo alarmístico funciona através de sinais coloridos em conformidade com as cores de semáforos, tendo-se utilizado para valores limite em cada classe (cor) o percentil 25 para a cor amarela, o percentil 50 para a cor verde e o percentil 75 para a cor vermelha. Existe ainda, integrado neste

módulo, um sistema de envio mensagens automáticas que apenas é acionado para os percentis 25 e 75 (figura 4-26), ou seja, mediante cores amarela e vermelha.

Através deste sistema de alarmes é possível detetar eventuais problemas em tempo real, isto é, se estamos perante uma medição que ultrapassa o valor do percentil 75 dos valores históricos em tempo seco a anomalia representa excesso de caudal. A origem da mesma poderá ter sido despoletada através de desvios ilícitos, ou ainda ruturas em trechos de intercetores, com evidente entrada de água indevida. Se o alarme é despoletado durante eventos de precipitação mais intensa, muito provavelmente estamos perante a influência de escoamentos pluviais que são introduzidos indevidamente na rede. Com base na localização é possível identificar as infraestruturas mais vulneráveis a este tipo de anomalia.

Neste sentido é possível estudar as melhores soluções para debelar estas anomalias, nomeadamente estudar soluções com os respetivos municípios que são os responsáveis pela gestão das redes pluviais.

Para alarmes que correspondem a medições relativas ao percentil 25 (cor amarela), estamos muito provavelmente perante um problema de obstrução num trecho de rede a montante da medição e em alguns casos poderá ser outro tipo de anomalia, nomeadamente a paragem de uma EE, também a montante da respetiva medição. Por fim uma medição que resulta numa classificação em cor verde representa, como seria expectável, o funcionamento normal do sistema, não existindo assim problemas operacionais no transporte de água residual.

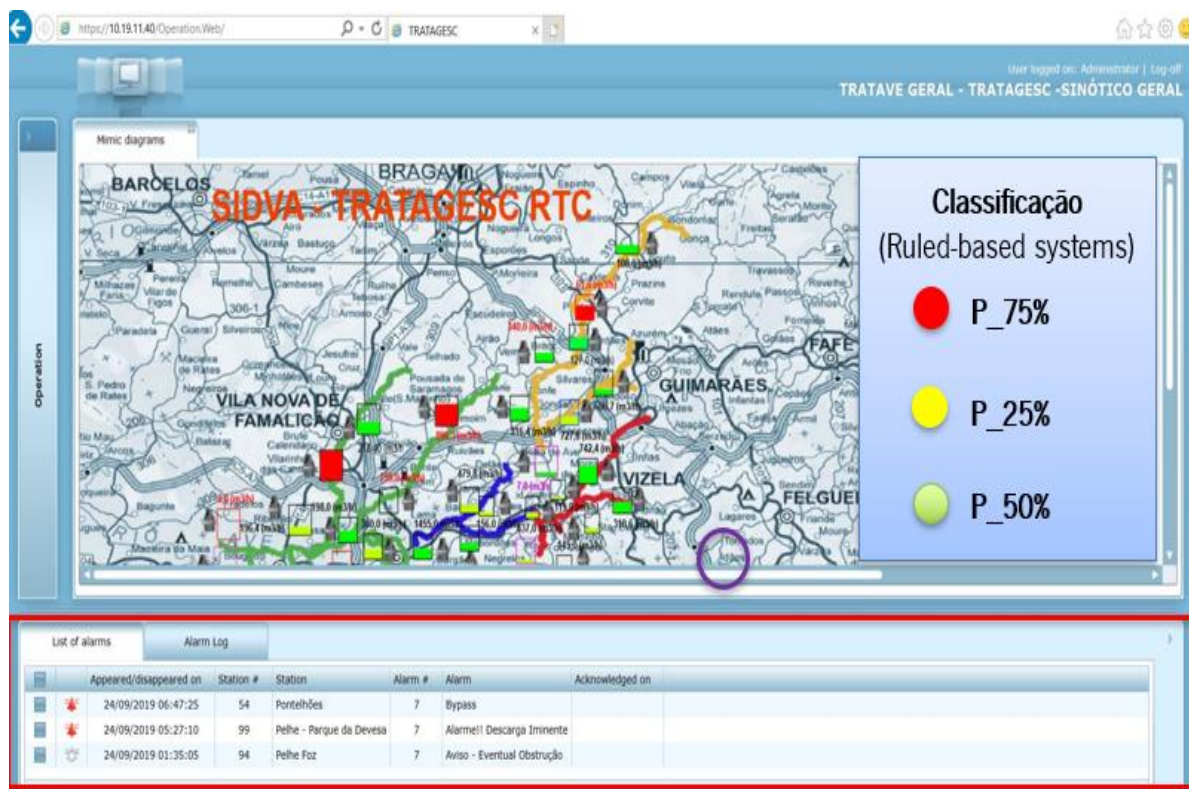


Figura 4-26: Ativação de módulo alarmístico.

Este sistema tem vindo a ser perentório em diversos tipos de anomalias, possibilitando uma deteção eficaz, célere e muitas vezes de correção imediata, incrementando de forma extremamente representativa a gestão operacional do sistema interceção e tratamento.

A **plataforma Delft-FEWS** foi utilizada como suporte ao desenvolvimento do SAD proposto neste projeto. Permitted to aggregate various sources of information, as already mentioned in 3.1.4, such as sources from the network of monitoring of TRATAVE, radar data operated by Meteogalicia and also four atmospheric models: WRF, GFS, GEFS and CFS. However, it has been used only three models, namely WRF, GFS and GEFS, because in this work only forecasts up to four days of horizon. The CFS is a seasonal model and in this sense, for beyond of being configured on the platform, it was not evaluated in this study the evolution of its error because of a greater uncertainty. After the collection of information, it was proceeded to the processing of the same. In figure 4-27, some examples of results through the FEWS, namely radar data in decibels of reflectivity (figure 4-27 a and b), as well as precipitation results for a point of the basin (figure 4-27 c)).

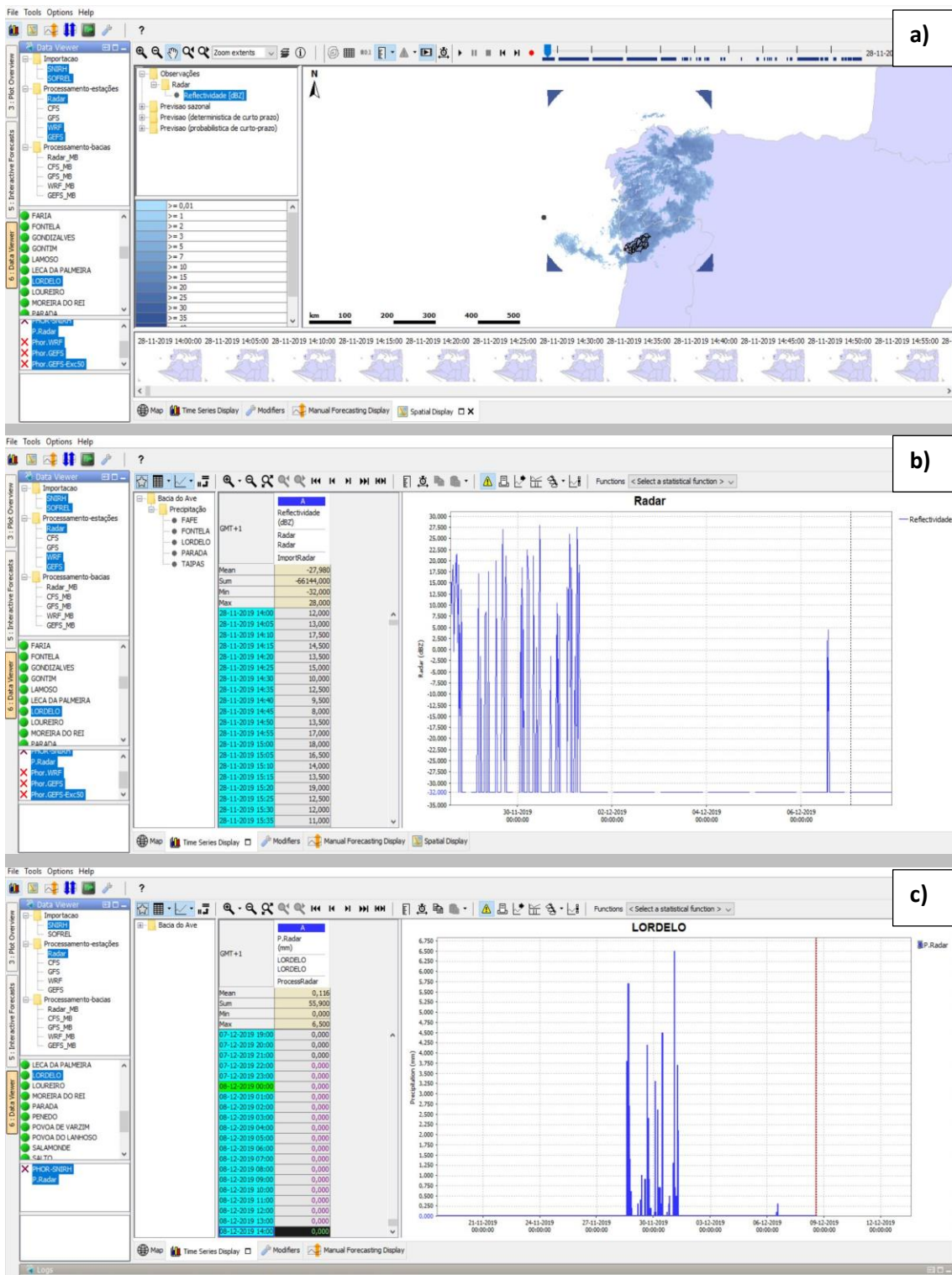


Figura 4-27: Processamento de dados na plataforma FEWS. a) Dados radar com visualização interativa, b) gráfico de dados relativos à refletividade em Lordelo e c) conversão da refletividade em precipitação.

*Forecasting* é o processo de gerar previsões com base em eventos do passado, com apresentação de dados e análise de tendências para uma variável, neste caso a precipitação. Neste

trabalho, utilizaram-se dados históricos e uma fonte de dados externa para o registo de precipitações e ainda informação disponibilizado através de estações meteorológicas instaladas em diferentes pontos da rede. A previsão de eventos de precipitação é caracterizada por um elevado grau de incerteza, foi neste sentido que se inseriram os três modelos de previsão, WRF, GFS e GEFS (figura 4-28 a –c). Com efeito, a inserção de três modelos distintos tem como objetivo atenuar e avaliar essa incerteza, embora de modo qualitativo. Geralmente é considerada uma boa prática considerar um maior número de modelos de modo a permitir a comparação entre os diferentes resultados obtidos. Em qualquer caso, os dados devem estar atualizados para que a previsão seja tão precisa quanto possível. O procedimento instaurado relativo à componente da previsão, com base nos dados das estações meteorológicas, foi possível através do modelo construído no programa SOBEK, e nos dados de previsão WRF, GFS e GEFS que foram configurados na plataforma Delft-FEWS. Através destes dados é possível gerar eventos futuros (figura 4-29).



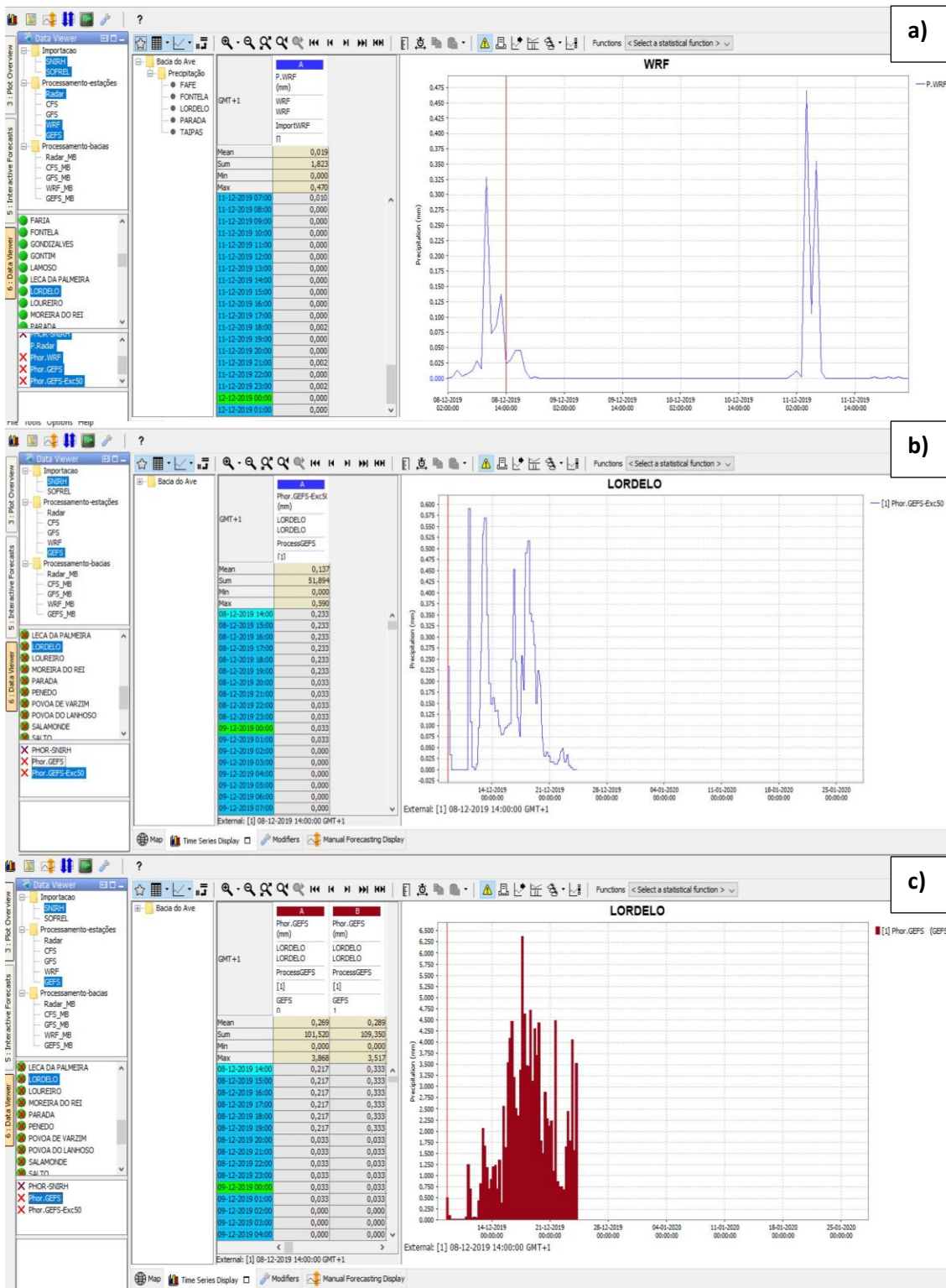


Figura 4-28: Processamento de dados na plataforma FEWS. a) Dados de previsão através do modelo WRF para Lordelo, b) dados de previsão através do modelo GFS para Lordelo e c) Dados de previsão através do modelo GEFS para Lordelo.

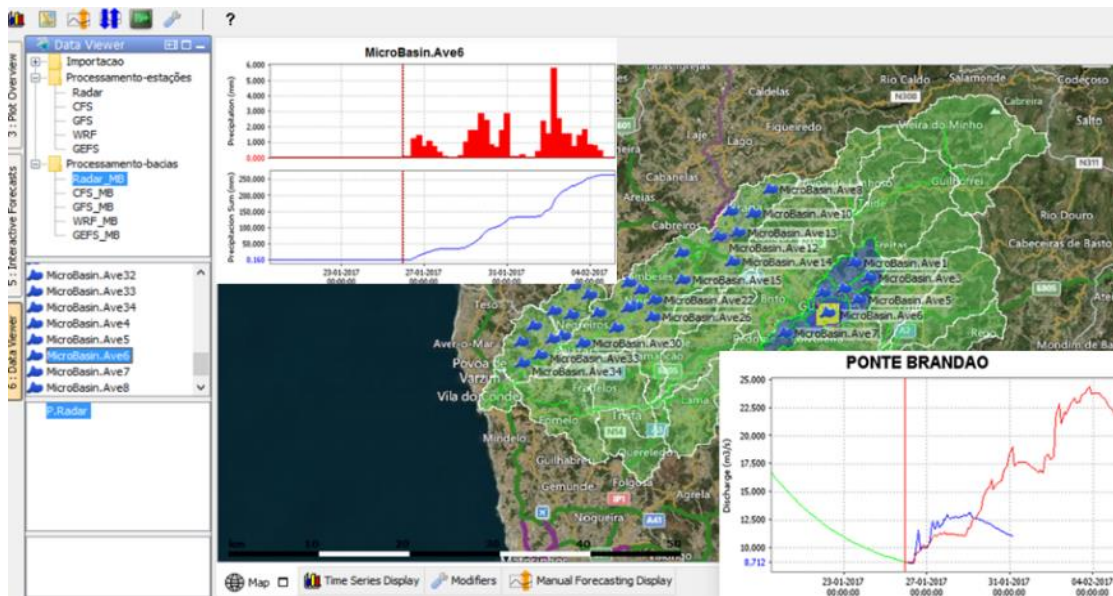


Figura 4-29. Interface gráfica da FEWS com dados de previsão.

Foram ainda configurados dados relativos aos sensores implementados ao longo da rede interceptora, sendo possível a apresentação de resultados de diferentes fontes de informação em simultâneo (figura 4-30 a) e e)). Após a importação procede-se à execução do modelo para um período de dez dias anteriores à data da previsão. Deste modo consegue-se obter um estado inicial para a previsão que resulta da assimilação de todos os dados registados nos últimos dez dias, com uma previsão que vai dos quatro aos dezasseis dias, tendo em conta o modelo de previsão escolhido.

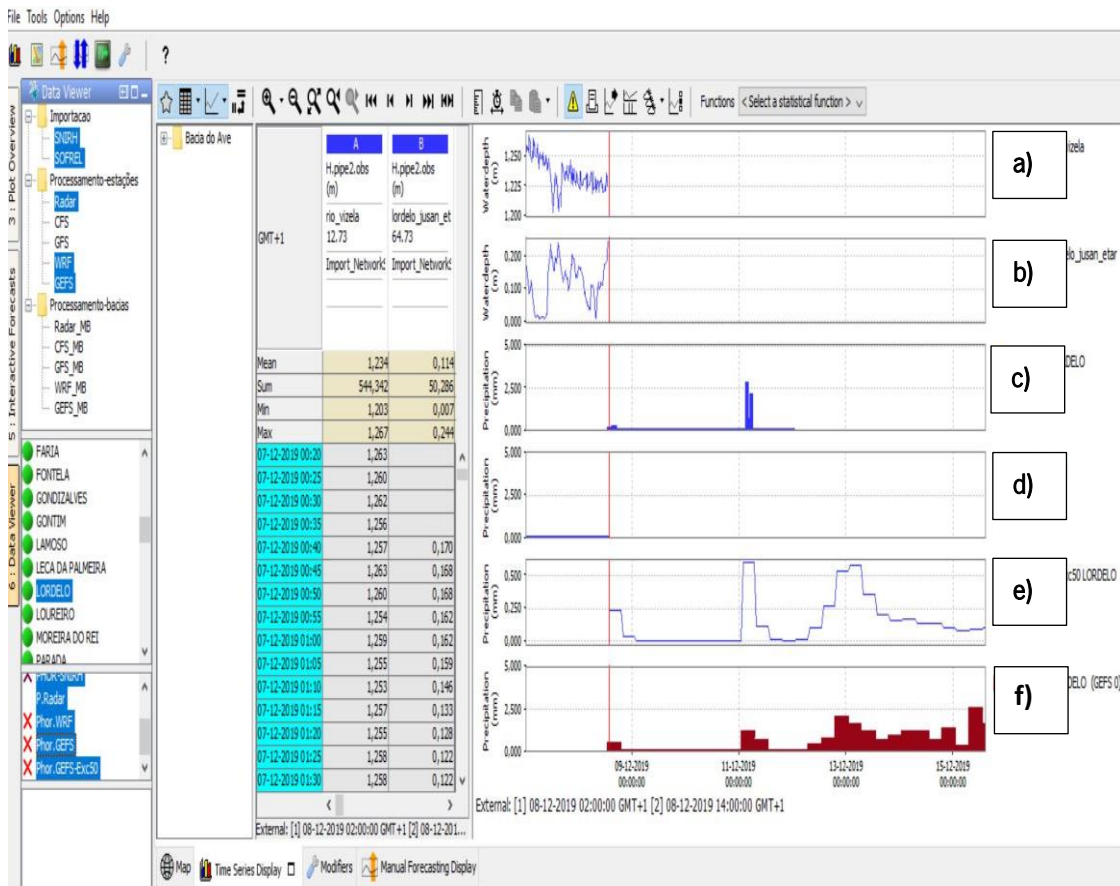


Figura 4-30: Exemplo de geração de dados: a) Caudais do rio Vizela, b) caudais de Lordelo, c) previsão WRF - Lordelo, d) precipitação radar - Lordelo, e) previsão GFS - Lordelo e f) previsão GEFS – Lordelo.

Neste trabalho optou-se por utilizar a plataforma em modo manual, ou seja, os procedimentos são desencadeados pelo utilizador. Assim, neste modo de funcionamento, antes de se iniciar qualquer previsão é necessário seguir uma sequência de passos que permitam executar os procedimentos necessários para a realização das previsões. A interface utiliza uma série de janelas para diversas funcionalidades de importação de dados, processamento e análise de dados e para apresentação de resultados. É relativamente simples de utilizar, apenas é necessário aceder à janela “*Manual Forecasting*” para aceder aos procedimentos disponíveis e que foram previamente configurados. É possível, a importação de todos os dados para interface, tanto dos dados existentes no computador como o acesso direto às diversas fontes “*Web*”, e de seguida proceder à análise dos dados importados de observação e de previsão. Após este processo, utiliza-se a janela de visualização de resultados “*Time Series*”.

A importação de dados e como referido anteriormente, todos os dados importados para o Delft-FEWS advêm de sistemas de previsão/observação. São importados registos de precipitação do radar da Galiza e previsões de modelos, assim como dados de monitorização obtidos da vasta rede de sensores implementados no decurso deste projeto.

De acordo com um conjunto de regras definidas, é necessário importar todos os dados das fontes de registos de informação para a interface. Estas tarefas são realizadas num único procedimento que foi configurado para o efeito e que foi designado de *Import external* (figura 4-31).

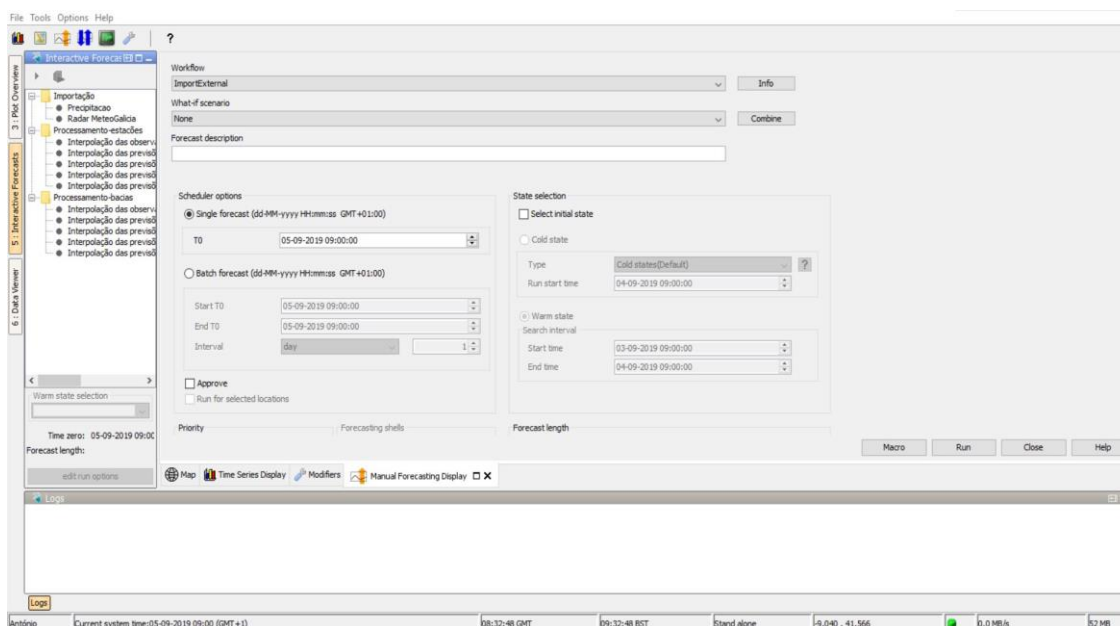


Figura 4-31: Importação de dados de fontes de informação externas.

Com a integração de todas as fontes de informação é possível uma avaliação extremamente efetiva das flutuações de escoamento a uma escala reduzida. Na plataforma torna-se possível a manipulação de dados através de métricas estatísticas, o que resulta numa maior assertividade na análise de balanços hídricos, potenciando a deteção célere de anomalias. Permite ainda antever eventuais anomalias, tendo como suporte os modelos de previsão, cujo objetivo é o incremento operacional, tendo em conta as métricas de gestão implementadas no sistema.

Torna-se então uma ferramenta de enorme resolução para o apoio à decisão, no que concerne à gestão de recursos hídricos.

#### 4.2.2 Sistema de Modelação

O sistema de modelação, constitui uma componente essencial no sistema de suporte à decisão. Apresentam-se subsequentemente resultados relativos à calibração do modelo hidrológico na bacia do rio Vizela, resultados relativos à calibração do modelo hidrodinâmico de intercetores e de uma linha de água, nomeadamente da rede da FD4 e da FD6 e do rio Vizela, respetivamente. Por fim avalia-se o potencial impacto das ETAR na qualidade da água dos rios Vizela e Ave, considerando diferentes cenários de eficiência de tratamento.

**Os resultados relativos à calibração do modelo hidrológico e hidrodinâmico da bacia do rio Vizela são seguidamente apresentados.** Para a calibração do modelo hidrológico da bacia do rio Vizela, utilizaram-se os dados de precipitação da estação meteorológica da EE de Lagoas e de caudais no rio Vizela medidos com o equipamento de monitorização instalado a cerca 5km da sua foz, correspondendo estas séries temporais ao período compreendido entre 1 de fevereiro de 2018 e 15 de maio de 2019 (figura- 4-32).

Os valores dos parâmetros de calibração do modelo hidrológico foram obtidos através de um processo automático baseado em otimização (programa RRL), como referindo anteriormente, tendo-se adotado duas funções objetivo: '*Nash-Sutcliffe Criterion*' e a raiz quadrada da média dos erros quadrados (RMSE). Assim, após várias simulações envolvendo os diferentes métodos de otimização e cada uma das funções objetivo, foram escolhidas as combinações com os menores valores de erro. Os valores dos parâmetros correspondentes à melhor solução conseguida foram inseridos no modelo hidrológico da bacia do rio Vizela.

O melhor valor obtido utilizando a métrica de *Nash-Sutcliffe* e o algoritmo de otimização de *Rosenbrock Single Start*, foi de 0.777, conforme se pode verificar na figura 4-33, onde se apresenta o gráfico dos valores simulados *versus* valores observados. Assumindo a função objetivo RMSE e recorrendo ao algoritmo de otimização *Pattern Search Single-Start* o resultado foi de 0.761, portanto muito semelhante.

Não obstante, para o modelo hidrológico utilizaram-se os valores dos parâmetros obtidos com a primeira combinação apresentada, sendo os valores apresentados na tabela 4-10.

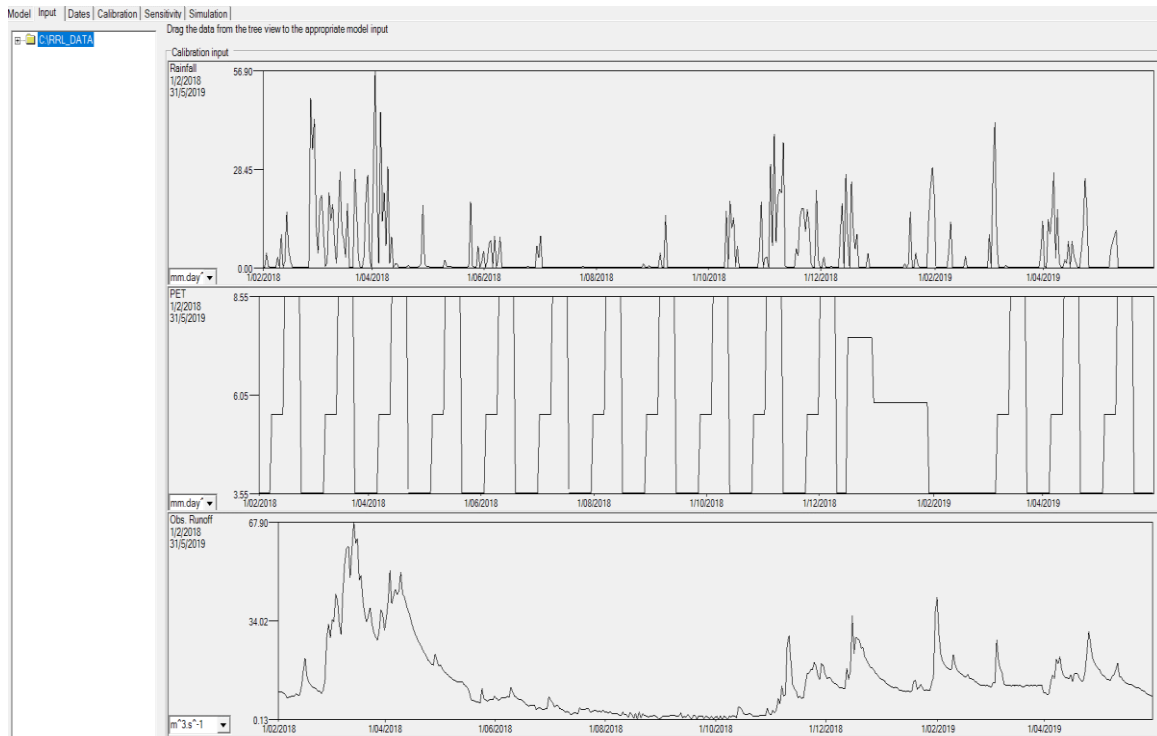


Figura 4-32: Séries temporais de dados utilizadas no programa RRL para calibração automática do modelo hidrológico de Sacramento da bacia do Rio Vizela.

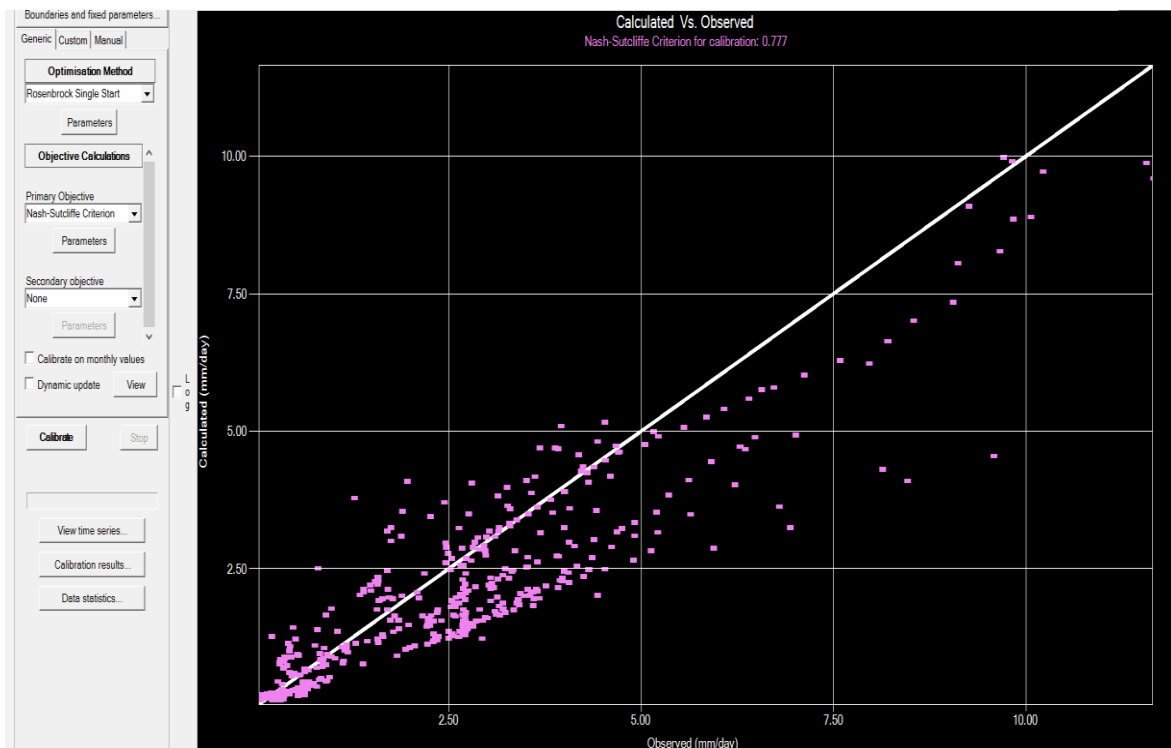


Figura 4-33: Programa RRL: valores simulados versus observados.

Tabela 4-11: Resultados dos parâmetros de Sacramento obtidos com o programa RRL.

<b>Algoritmo de otimização</b>	<i>Rosenbrock Single Start</i>
<b>Função objetivo</b>	<i>Nash-Sutcliffe Criterion</i>
Adimp	0.000
Lzfpn	41.014
Lzfsn	149.514
Lzpk	0.005
Lzsk	0.023
Lzwm	432.783
Pctim	0.000
Pfree	1.000
Rexp	0.000
Rserv	1.000
Sarva	0.000
Side	0.000
Ssout	0.000
Uzfwm	144.851
Uzk	0.000
Uzwm	10.000
Zperc	6.014

A partir do modelo completo da bacia do rio Ave (figura 4-34) é possível configurar versões mais simplificadas que incluem apenas algumas das sub-bacias. Esta simplificação do modelo hidrodinâmico permite tempos de simulação mais curtos no *software* Sobek, o que favorece a simulação em plataformas de previsão. Este procedimento foi considerado neste trabalho, tendo-se acrescentado um nó de sacramento ao modelo hidrodinâmico existente, permitindo a simulação do caudal escoado no rio Vizela a partir dos eventos de precipitação.



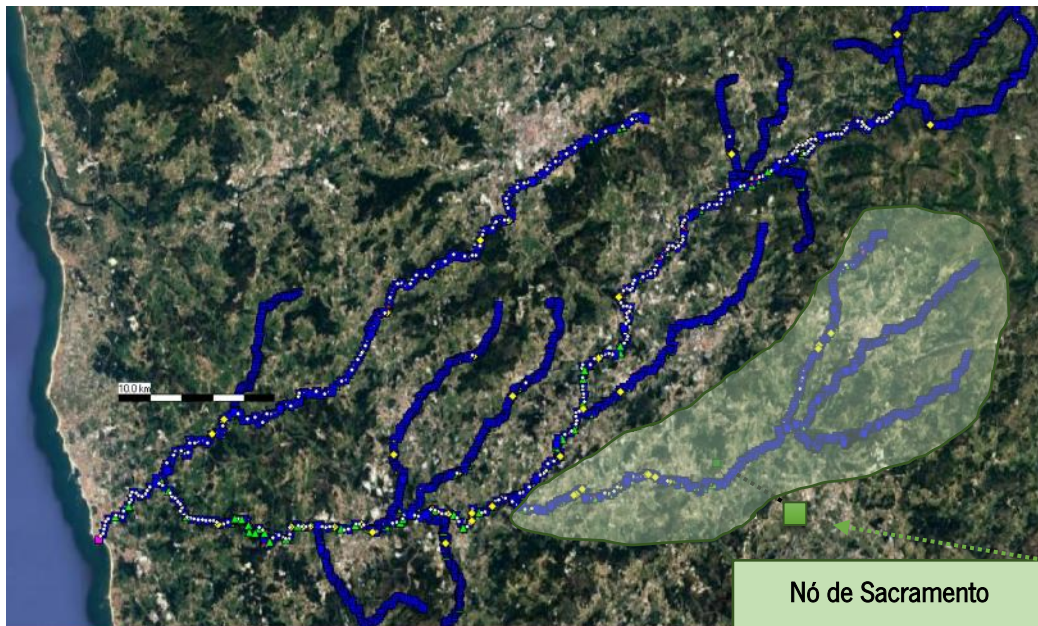


Figura 4-34: Modelo hidrodinâmico dos rios da bacia do rio Ave com inclusão do modelo hidrológico da sub-bacia do rio Vizela.

Foram realizadas várias simulações para validação do modelo, considerando diferentes períodos temporais, sendo os resultados obtidos bastante satisfatórios (figura 4-35). Apresenta-se, na figura 4-36, resultados relativos ao período de 16-02-2018 a 14-05-2019, correspondentes a três meses de simulação, com resolução horária.

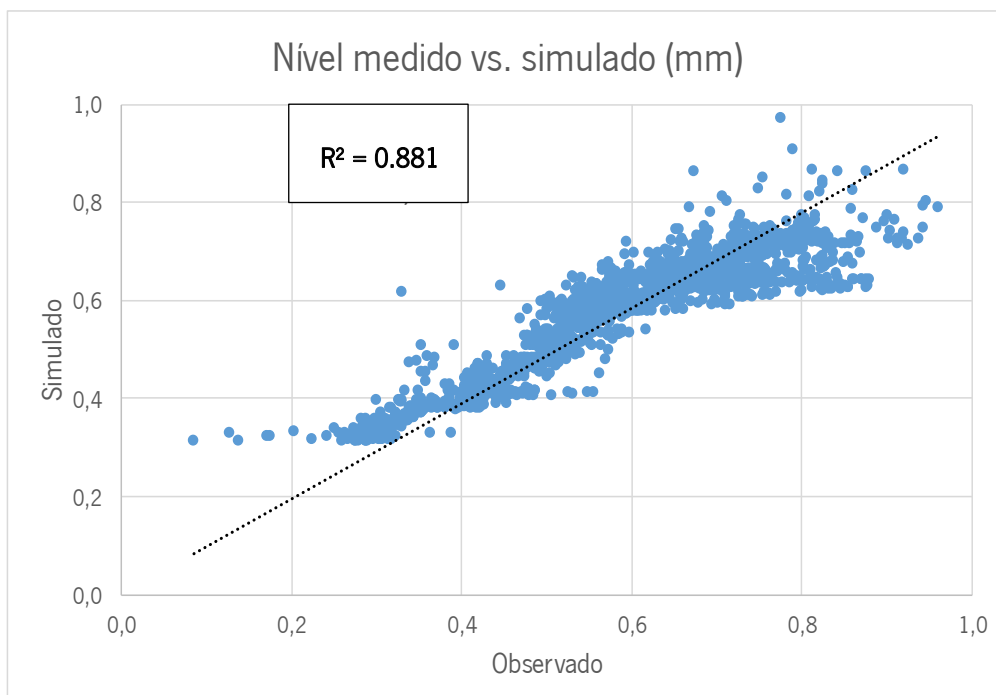


Figura 4-35: Níveis simulados e observados com resolução horária.



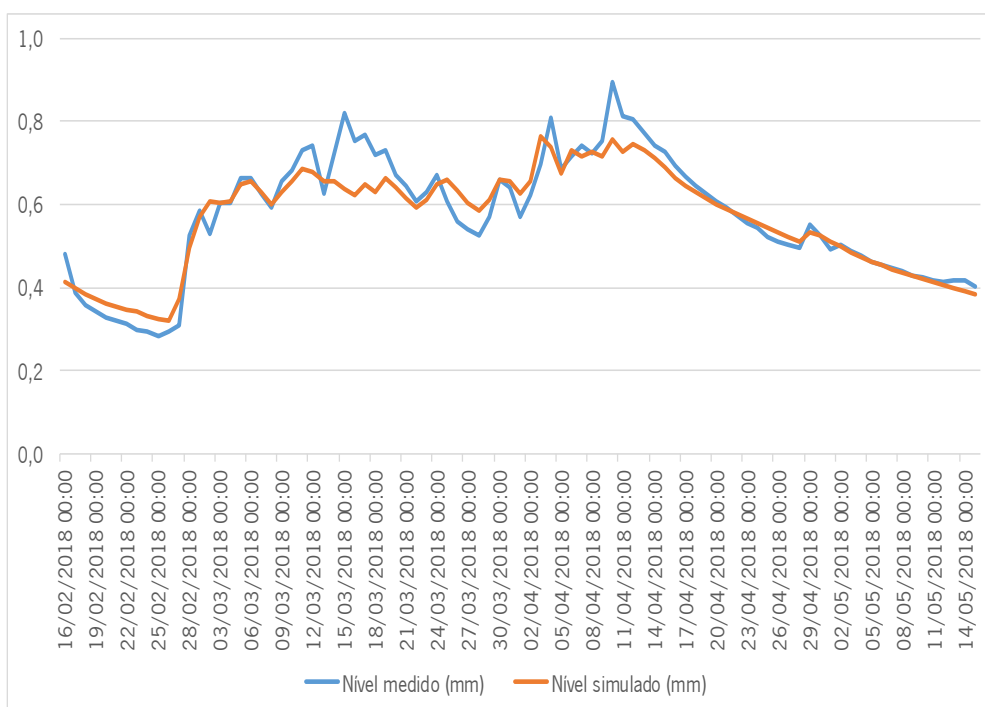


Figura 4-36: Validação do modelo hidrológico: níveis observados e simulados.

Analisando os resultados obtidos na simulação é possível verificar-se que existe uma boa correspondência entre o nível medido pelo equipamento de monitorização e o nível simulado no *software* SOBEK. As diferenças poderão ser justificadas, entre outros fatores, por erros nos registos de precipitação. O período seleccionado para a simulação, compreendeu um cenário com precipitações intensa. Na tabela 4-11 apresentam as métricas relativas a NSE, MEA,  $R^2$ , RMSE, MNM (média dos níveis medidos), MNS (média dos níveis simulados), MCM (média dos caudais medidos) e MCS (média dos caudais simulados).

Tabela 4-12: Métricas de avaliação de desempenho do modelo hidrológico/hidrodinâmico do rio Vizela na simulação do período de validação

<b>NSE (-)</b>	<b>MEA (m)</b>	<b><math>R^2</math> (-)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MNM (m)</b>	<b>MNS (m)</b>	<b>MCM (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>MCS (m<sup>3</sup>/s)</b>
0.7774	0.0326	0.8812	0.0035	0.5729	0.5650	28.0064	27.5521

Os resultados obtidos são bastante aceitáveis tendo em conta a extensão do período de monitorização com dados disponíveis para calibração do modelo. Antecipa-se que no futuro, com um período de monitorização mais extenso, se possam melhorar os resultados obtidos.

Para o modelo hidrodinâmico procedeu-se à calibração do coeficiente de descarga de um descarregador de soleira espessa. Esta estrutura hidráulica localiza-se a jusante (cerca de 5m) do sensor implementado no rio Vizela, no decurso deste projeto (figura 4-37 a)). Considera-se um descarregador de soleira espessa quando a sua espessura ( $b$ ) é igual ou superior a  $\frac{2}{3}$  da carga hidráulica ( $H$ ) (Oliveira, 2000). Na figura 4-37 b) apresenta-se a secção transversal do descarregador, contemplando uma crista com largura na ordem dos 29m. Procedeu-se, à topografia da mesma caracterizando com detalhe a sua geometria, através de equipamento DGPS. Verificou-se uma homogeneidade ao longo de toda a sua largura. Na figura 4-37 c) apresenta-se a espessura do descarregador, contemplando a mesma, ao longo de toda a sua extensão, uma largura de aproximadamente 1m. A altura entre soleira e crista do descarregador é de cerca de 0.72m. Campanhas topográficas em secções do rio a montante do descarregador foram também efetuadas, de forma a obter o conhecimento mais idóneo das características geométricas da área analisada.

Pode considerar-se a seguinte equação (eq. 4.1) para estimativas de caudais de um descarregador de soleira espessa, sendo o coeficiente de descarga ( $C_d$ ) usualmente utilizado com valores aproximadamente de 1. Neste trabalho procedeu-se à estimativa de caudal através da equação referida (eq. 4.1) com  $C_d = 0.98$ . O sensor implementado a montante do descarregador, mede a altura da lâmina líquida que é então convertida em caudal estimado. Existe incerteza associada ao valor do  $C_d$  e neste sentido procedeu-se ao ajuste do mesmo. A montante do descarregador (cerca de 3km) existe um aproveitamento hidroelétrico, designado de hidrica de Vila Boa (figura 4-37 a)). Entre esta infraestrutura hidráulica e o descarregador em análise não há qualquer confluência fluvial. A estratégia para ajustar o coeficiente de descarga passou por turbinar diferentes caudais (na hídrica de Vila Boa), até a um máximo de 20 m<sup>3</sup>/s, avaliando as variações de lâminas líquidas (junto ao descarregador) em função desses mesmos caudais. Compararam-se os caudais medidos com os caudais estimados, onde se procedeu à minimização da soma dos erros absolutos, de forma a variar o  $C_d$  até atingir o menor erro possível. A função objetivo teve como suporte a ferramenta *solver* do *Excel*. Utilizou-se ainda um equipamento de monitorização de alta precisão (*LaserFlow*), que permitiu proceder também ao ajuste do  $C_d$  até atingir caudais na ordem dos 100 m<sup>3</sup>/s, sendo o  $H$  na ordem do 1.30m. Nas figuras 4-37 d e e) apresenta-se o descarregador em diferentes regimes fluviais. Na figura 4-38 apresenta-se a relação

de caudais medidos e estimados e na tabela 4-12 os resultados relativos ao ajuste do coeficiente de descarga.

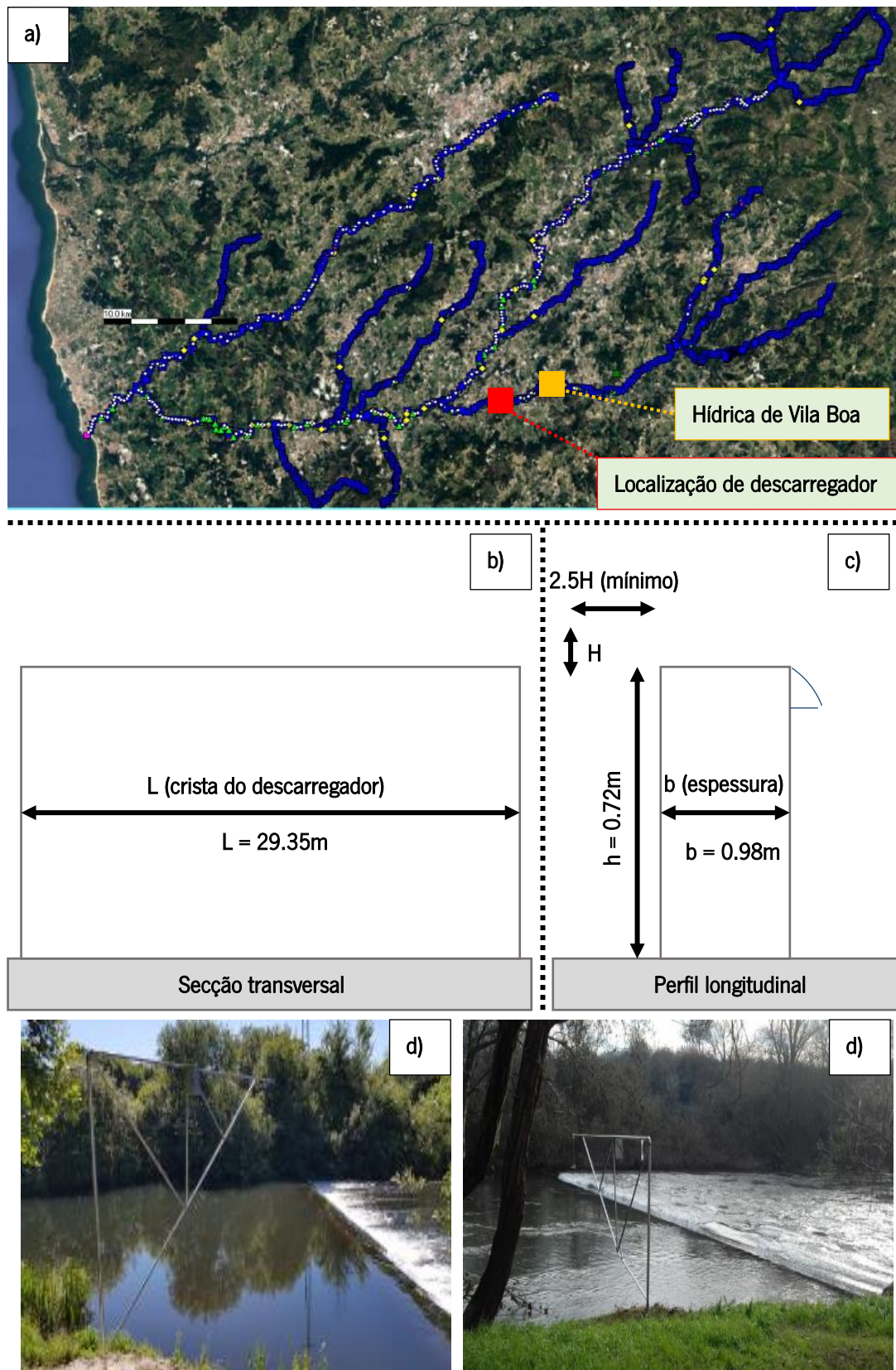


Figura 4-37: Características do descarregador, a) Localização, b) secção transversal, c) perfil longitudinal, d) estimativa de caudal com  $H=0.22\text{m}$  e e) estimativa de caudal com  $H= 1.20\text{m}$ .

$$Q = L \times C_d \times \sqrt{g} \times \left(\frac{2}{3} \times H\right)^{\frac{3}{2}} \quad (4.1)$$

Q = é o caudal  $[m^3/s]$

L = é a largura da crista do descarregador  $[m]$

$C_d$  = é o coeficiente de descarga  $[-]$

g = é a aceleração da gravidade  $[m/s^2]$

H = é a carga hidráulica  $[m]$

h = é a altura do descarregador  $[m]$

Na figura 4-38 apresenta-se, conforme se referiu precedentemente a relação entre caudais estimados e medidos, sendo que na tabela 4-12 é possível analisar as principais características de calibração do modelo.

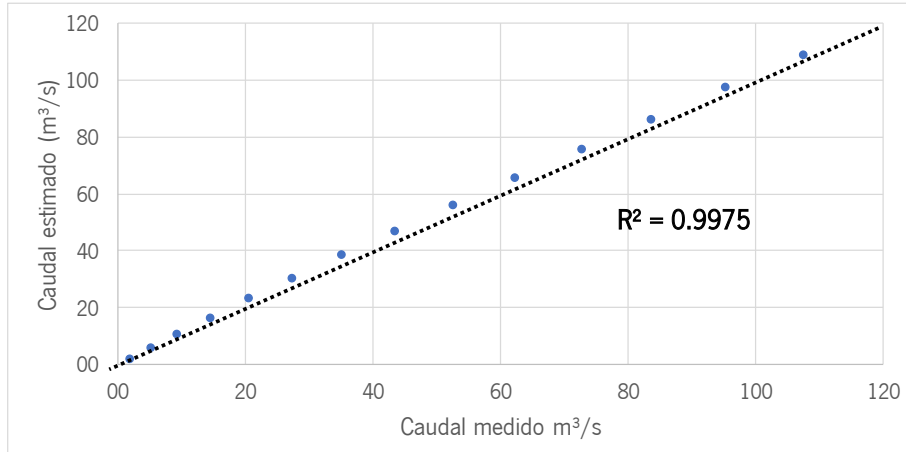


Figura 4-38: Relação caudal medido com estimado.

É possível constatar um desempenho satisfatório do modelo, com coeficiente de determinação da ordem de 0.9975. De futuro, proceder-se-ão a mais campanhas, nomeadamente para cargas hidráulicas superiores.

Tabela 4-13: Resultados de caudais medidos e simulados e valores de  $C_d$ .

Caudal medido $m^3/s$	Caudal estimado $m^3/s$	H (m)	$C_{d\_médio}$ (-)	R <sup>2</sup> (-)
1.78	2.09	0.11	<u>1.32</u>	1.00
4.95	5.90	0.19		0.96
9.18	10.83	0.22		0.96
14.35	16.68	0.31		0.97
20.39	23.31	0.40		0.98
27.26	30.64	0.51		0.98
34.91	38.62	0.58		0.99
43.29	47.18	0.69		0.99
52.39	56.30	0.77		0.99
62.15	65.94	0.89		0.99
72.56	76.07	0.99		0.99
83.59	86.68	1.08		0.99
95.22	97.73	1.20		0.99
107.41	109.22	1.31		0.99

Segue-se a **calibração do modelo hidrodinâmico do sistema de SAR**. O modelo hidrodinâmico da rede (figura 4-39 a)) foi implementado durante este trabalho, tendo a sua calibração incidido fundamentalmente nas frentes de drenagem 4 e 6. Apresentam-se os resultados de calibração em dez trechos de rede distintos (figura 4-39 b)). A estratégia, como referido anteriormente, passou pela

colocação de um equipamento de medição de velocidade (*LaserFlow*) em pontos de monitorização de forma a obter velocidades de escoamento. Estas medições foram utilizadas para estimar os coeficientes de rugosidade para os diferentes trechos de rede. Os resultados dos ajustes aos coeficientes de rugosidade, apresentam-se na tabela 4-13, assim como os respetivos coeficientes de determinação.

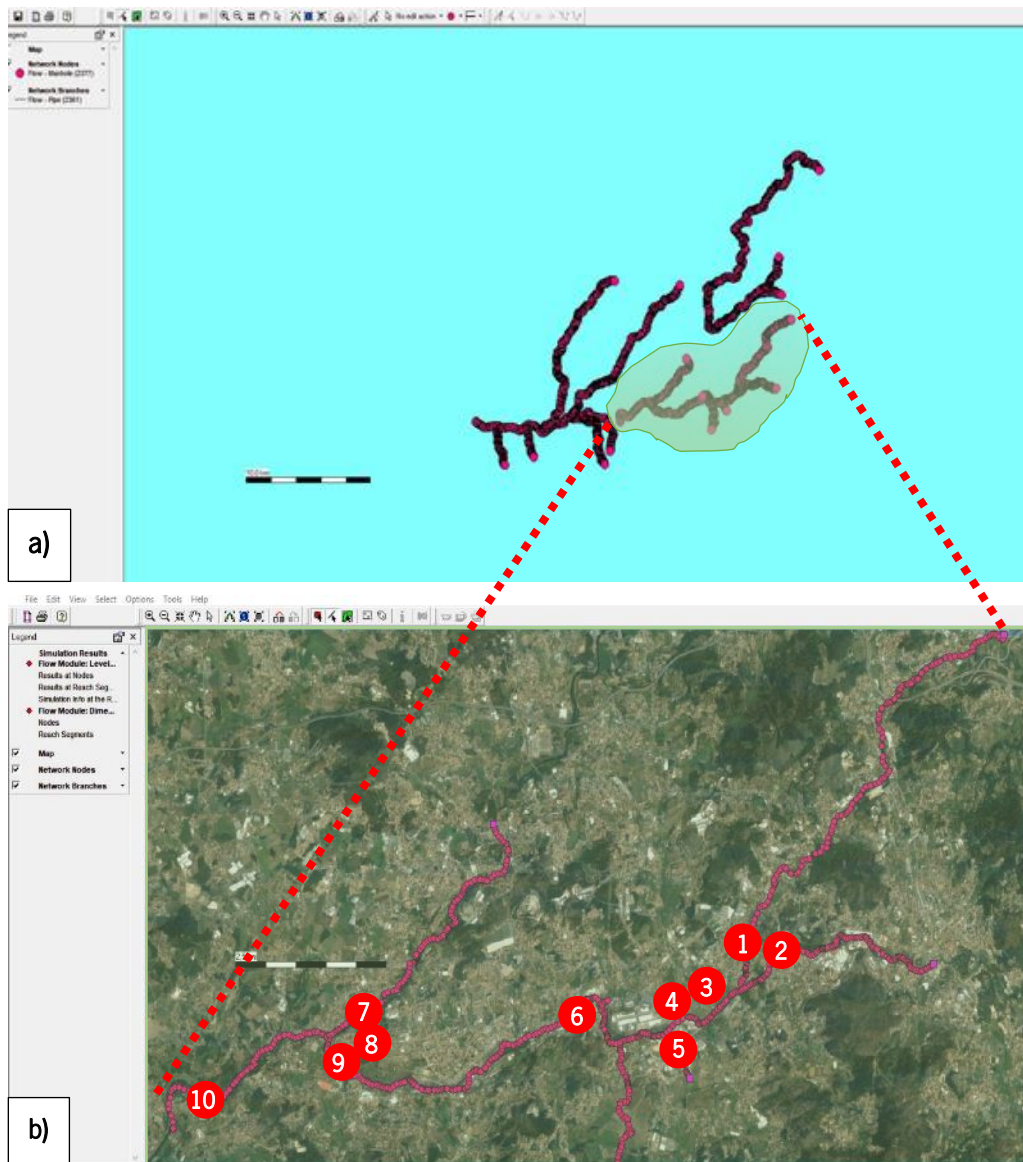


Figura 4-39: a) Modelo hidrodinâmico da rede e b) Modelo hidrodinâmico referente às FD4 e FD6 com referência dos 10 pontos de calibração.

Tabela 4-14: Modelo hidrodinâmico da rede – Coeficiente de rugosidade.

Estação de monitorização	Coeficiente de rugosidade (Manning)	R <sup>2</sup>
(Id)	(m <sup>1/3</sup> /s)	(-)
1	0.0123	0.8585
2	0.0132	0.9916
3	0.0113	0.9971
4	0.0115	0.9109
5	0.0112	0.9868
6	0.0134	0.9987
7	0.0128	0.9966
8	0.0130	0.9705
9	0.0132	0.9246
10	0.0130	0.9902

Nas figuras 4-40 a 4-42 apresentam-se a comparação (após calibração) para o período de 1 a 31 de março de 2018 entre níveis medidos e simulados. O coeficiente de determinação apresenta valores bastante satisfatórios, na ordem de 0.95, para o interceptor de Nespereira (figura 4-40), para o interceptor de Vizela da ordem de 0.88 (figura 4-41) e para o do Ave da ordem de 0.89 (figura 4-42).



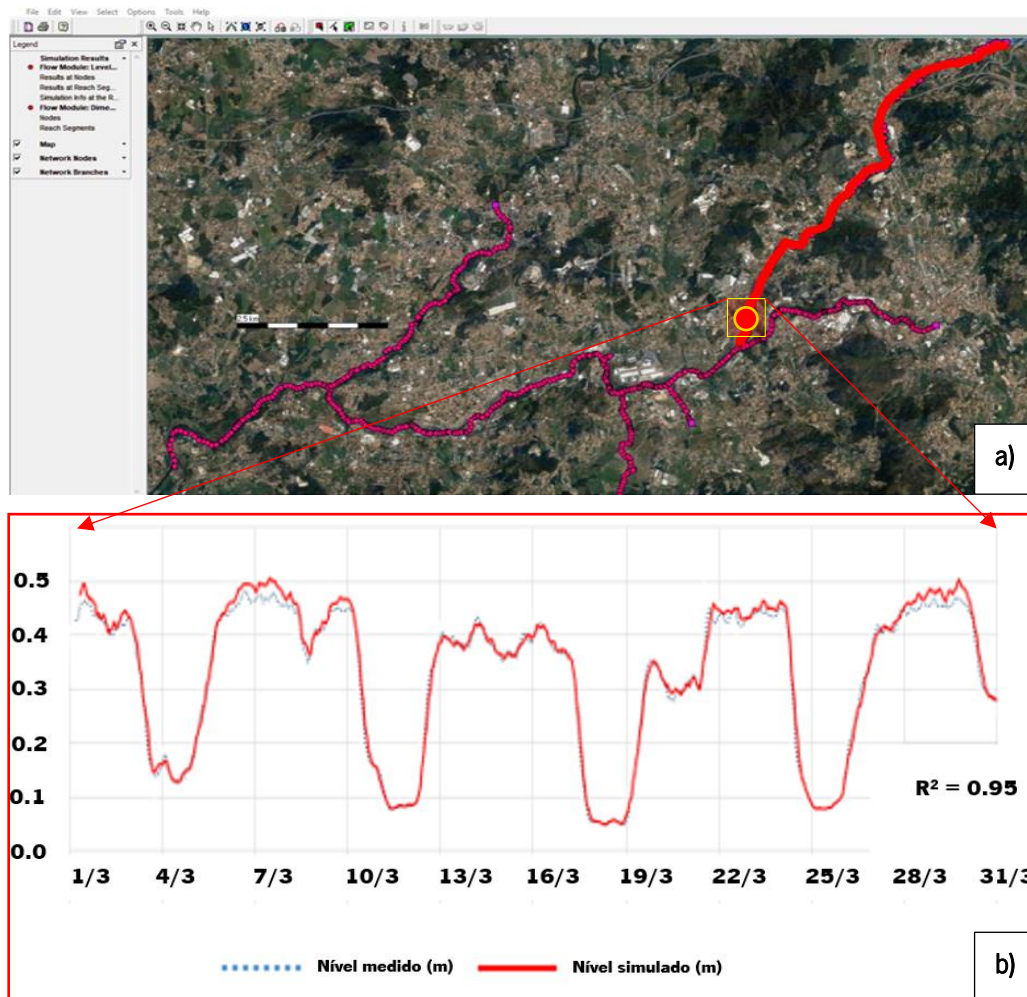


Figura 4-40: a) Localização do interceptor de Nespereira (a vermelho) e b) Relação nível medido com o simulado.

Analisando os resultados obtidos na simulação é possível verificar-se que existe uma boa correspondência entre o nível medido pelo equipamento de monitorização e o nível simulado no *software* SOBEK, com coeficiente de determinação de ordem de 0.95. O período escolhido para simulação, compreendeu um cenário com alguns eventos de precipitação mais intensa e onde ocorreram flutuações recorrentes de alturas de lâmina líquida. Na tabela 4-14 apresentam as métricas estatísticas referentes ao modelo para o período de simulação. Apresentam-se métricas tais como NSE, MEA,  $R^2$ , RMSE, MNM (média dos níveis medidos), MNS (média dos níveis simulados).

Tabela 4-15: Métricas estatísticas referentes ao modelo hidrodinâmico referente ao interceptor de Nespereira

NSE (-)	MEA (m)	R <sup>2</sup> (-)	RMSE (m)	MNM (m)	MNS (m)
0.9211	0.0201	0.9472	0.0010	0.3675	0.3723

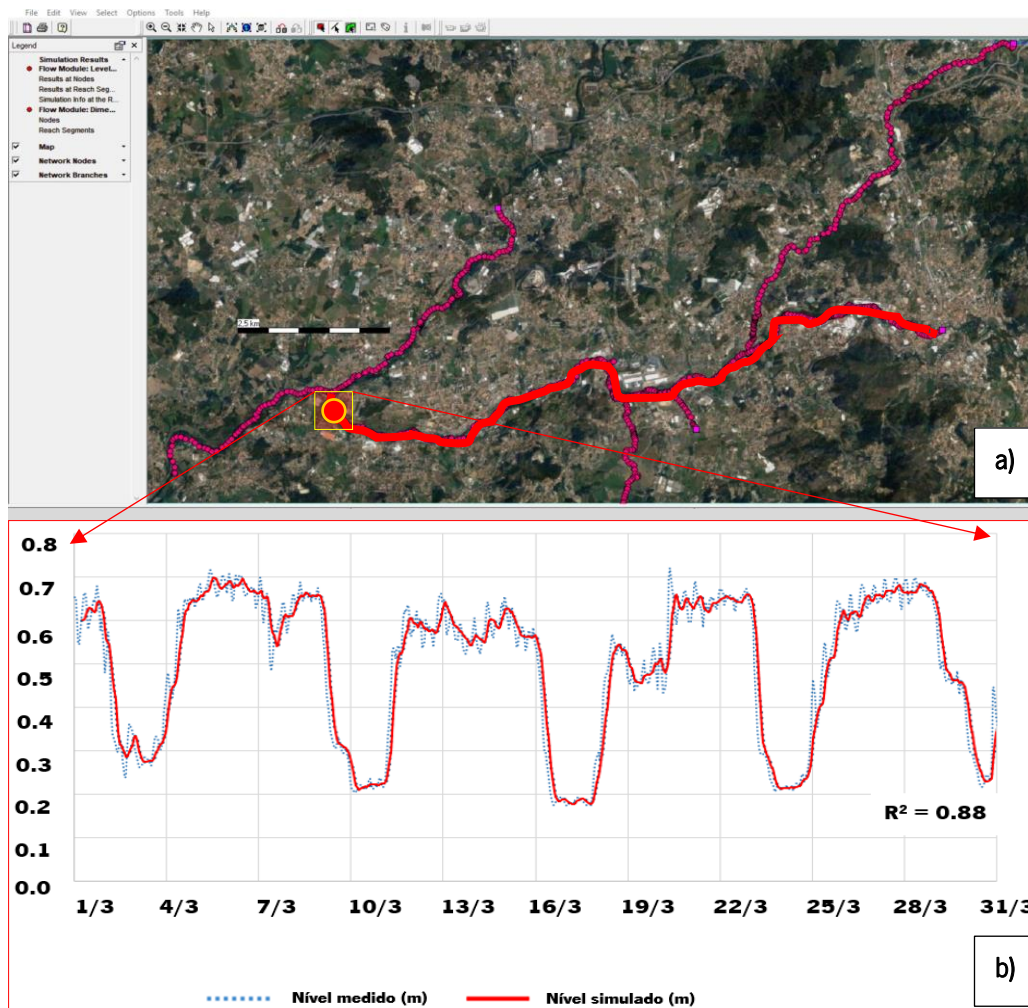


Figura 4-41: a) Localização do interceptor do Vizela (a vermelho) e b) Relação nível medido com o simulado.

Analisando os resultados obtidos na simulação referente ao interceptor de Vizela, no mesmo período de simulação do precedente, portanto do Nespereira, é possível, uma vez mais, verificar-se uma correspondência bastante satisfatória entre o nível medido pelo equipamento de monitorização e o nível simulado no software SOBEK, com coeficiente de determinação de ordem de 0.88.

Na tabela 4-15 apresentam as métricas estatísticas referentes ao modelo para o período de simulação. Apresentam-se métricas tais como NSE, MEA,  $R^2$ , RMSE, MNM (média dos níveis medidos), MNS (média dos níveis simulados).

Tabela 4-16: Métricas estatísticas referentes ao modelo hidrodinâmico referente ao interceptor de Vizela.

NSE (-)	MEA (m)	$R^2$ (-)	RMSE (m)	MNM (m)	MNS (m)
0.8431	0.0232	0.8761	0.0018	0.4812	0.4606

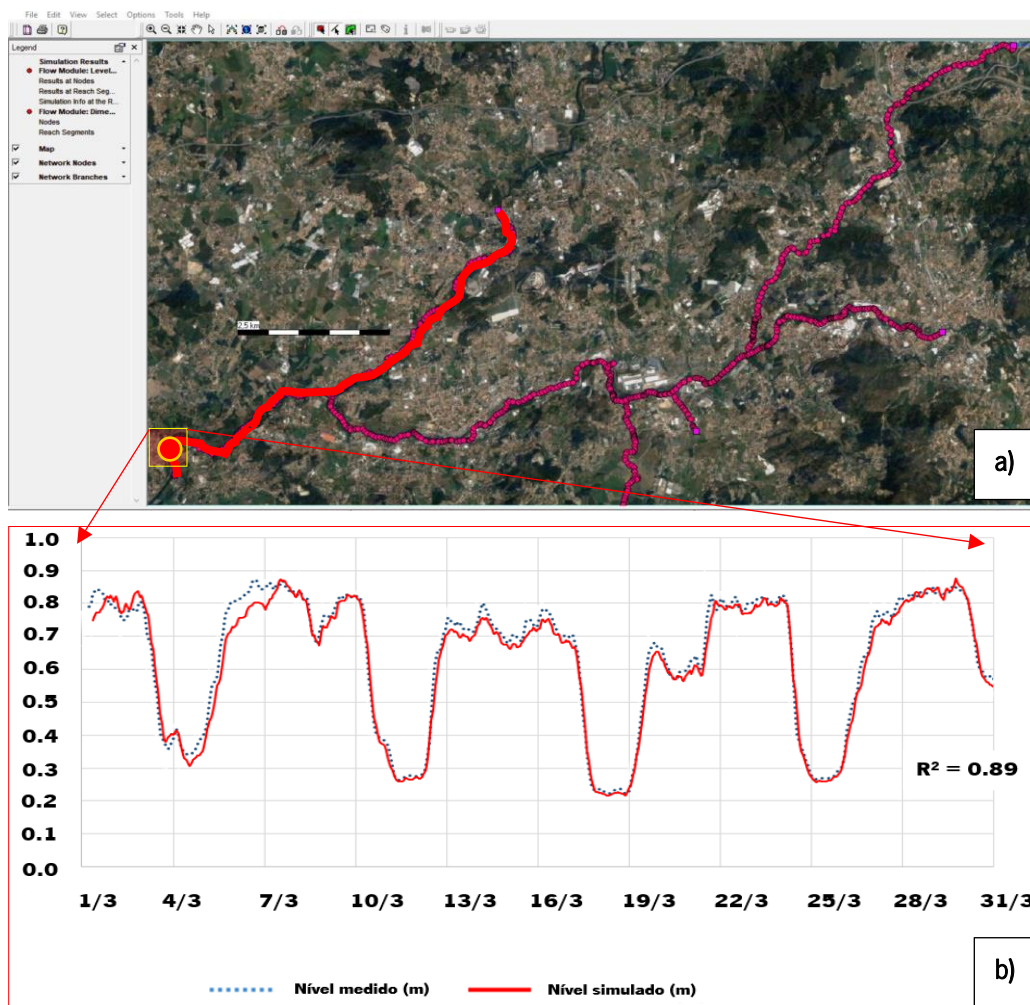


Figura 4-42: a) Localização do interceptor do Ave (a vermelho) e b) Relação nível medido com o simulado.

Analisando, por fim, os resultados obtidos na simulação referente ao interceptor do Ave, no mesmo período de simulação dos precedentes, nomeadamente no Nespereira e Vizela, respetivamente, constata-se uma aproximação bastante aceitável entre o nível medido pelo equipamento de monitorização e o nível simulado no software SOBEK, com coeficiente de determinação de ordem de 0.89.

Na tabela 4-16 apresentam as métricas estatísticas referentes ao modelo para o período de simulação. Apresentam-se métricas tais como NSE, MEA, R<sup>2</sup>, RMSE, MNM (média dos níveis medidos), MNS (média dos níveis simulados).

Tabela 4-17: Métricas estatísticas referentes ao modelo hidrodinâmico referente ao interceptor do Ave.

NSE (-)	MEA (m)	R <sup>2</sup> (-)	RMSE (m)	MNM (m)	MNS (m)
0.8711	0.0377	0.8922	0.0022	0.6299	0.6142

O **potencial impacto das ETAR na qualidade da água dos rios Vizela e Ave** é subsequentemente analisado. O modelo de qualidade da água da bacia do rio Ave foi aplicado neste trabalho para a avaliação do impacto das descargas dos efluentes tratados nas ETAR de Serzedelo e Lordelo, considerando diferentes eficiências de tratamento, na qualidade da água dos rios Vizela e Ave. Avalia-se ainda a capacidade de autodepuração dos rios em diferentes cenários hidrodinâmicos.

Para caracterização dos regimes hidrodinâmicos dos rios analisaram-se dados históricos de caudais medidos pelos equipamentos instalados no rio Ave e Vizela para este trabalho. Portanto, com uma série temporal de cerca 18 meses desde janeiro de 2018 a maio de 2019, foram quantificados os caudais mínimos, médio e máximo.

Analisaram-se dados dos últimos 10 anos de cargas afluentes às ETAR, nomeadamente de dados de CBO5 e estimaram-se para poluentes bacteriológicos, cargas por habitante, conforme valores sugeridos na bibliografia (Metcalf & Eddy, 2004). Para coliformes fecais a carga por habitante adotada foi de  $\frac{5 \times 10^7}{100\text{mL}}$  /dia. Na ETAR de Serzedelo teve-se em consideração a população equivalente de 273313 e um caudal médio  $0.384 \text{ m}^3/\text{s}$  e para a ETAR de Lordelo 187087 habitantes equivalentes e um caudal médio  $0.193 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Na figura 4-43 apresenta-se a localização das ETAR em estudo e os respetivos trechos analisados dos rios: ETAR de Lordelo (ETAR 1), ETAR Serzedelo (ETAR 2), trecho 1 (T1) no rio Vizela entre a ETAR de Lordelo e a foz do rio Vizela e trecho 2 (T2) entre as ETAR 1 e 2 e imediatamente a jusante da foz do rio Vizela.



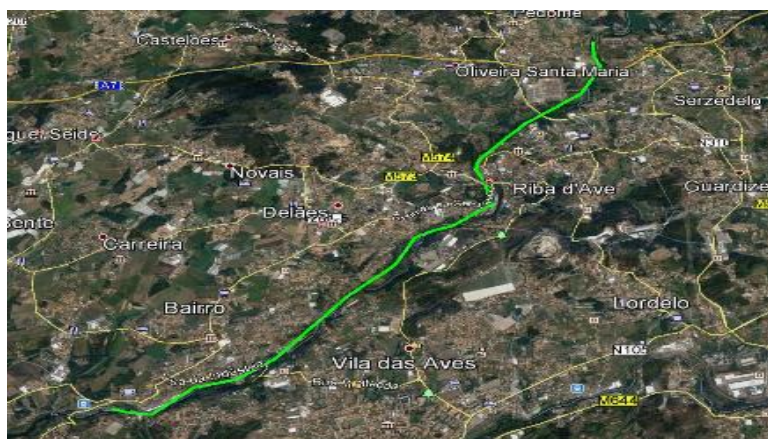
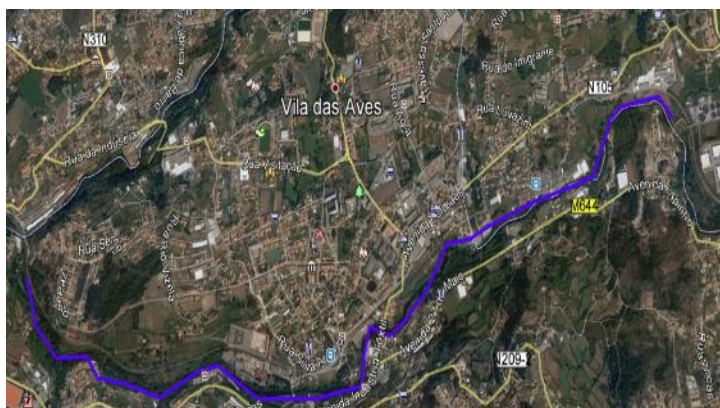
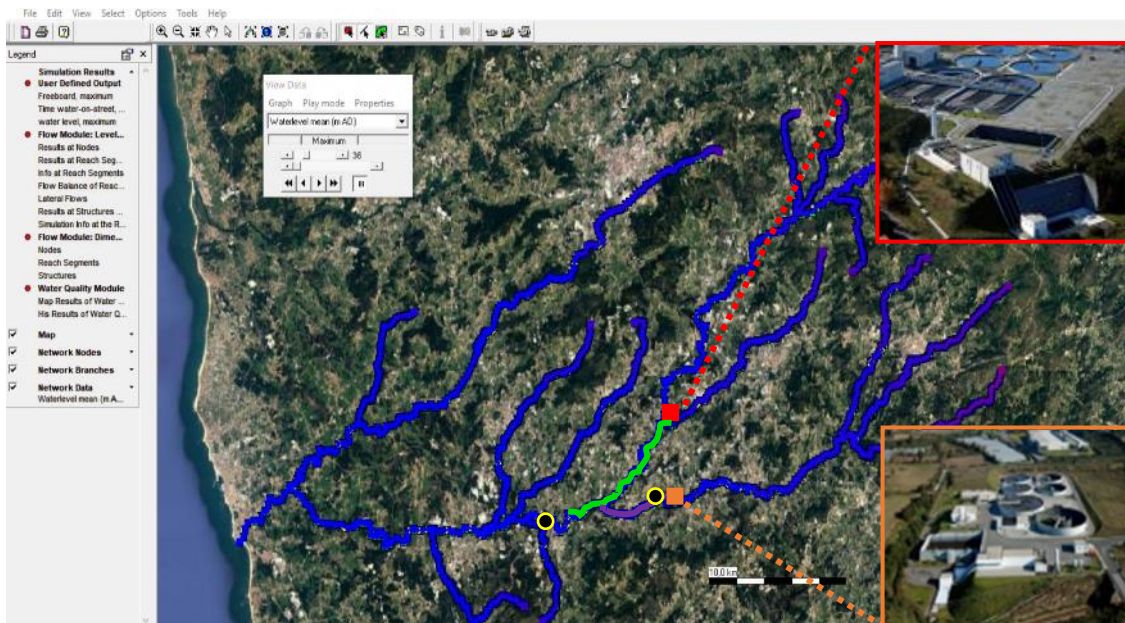


Figura 4-43: Trechos fluviais de avaliação do impacto das descargas das ETAR.

Na figura 4.44 apresentam-se valores estatísticos relativos a concentrações de  $CBO_5$  dos afluentes às ETAR obtidos a partir dos registos de análises realizadas nos últimos dez anos. É possível constatar que a distribuição é homogénea, a mediana coincide com a média (esta relação mais evidente

na ETAR de Lordelo). Neste trabalho considerou-se o pior cenário, ou seja, adotaram-se concentrações com os valores correspondentes ao percentil 75%.

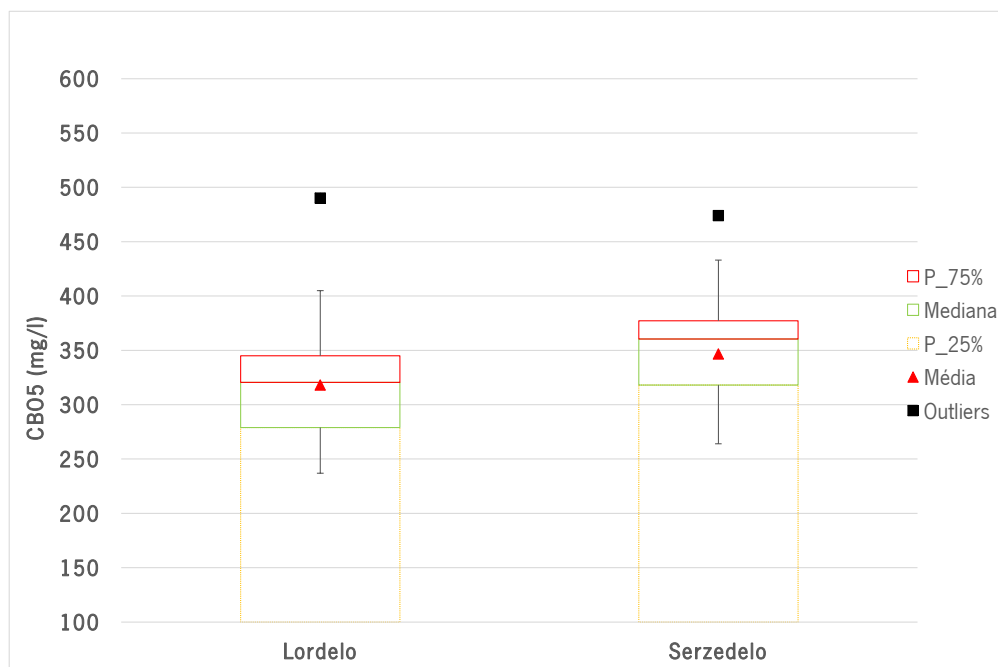


Figura 4-44: Concentrações de CBO<sub>5</sub> afluentes às ETAR.

O impacto da descarga do efluente das ETAR de Serzedelo e de Lordelo na qualidade da água dos rios Ave e Vizela foi estudado com base em diferentes cenários de caudais fluviais e de desempenho do funcionamento das duas ETAR, conforme se referiu no capítulo precedente (3.1.6). Seguidamente apresentam-se os resultados obtidos numa secção do rio Vizela: portanto referente ao T1, localizando-se essa secção a 5.63km da ETAR de Lordelo, isto é, nas proximidades da foz do rio Vizela. No T2 apresentam-se resultados em duas secções do rio Ave, nomeadamente entre as ETAR de Serzedelo e imediatamente a montante da confluência do rio Vizela com o rio Ave, distando 7.35km da ETAR de Serzedelo e ainda a jusante da foz do rio Vizela, com a influência das duas ETAR, distando 7.61km da ETAR de Serzedelo e aproximadamente 6km da ETAR de Lordelo. Salienta-se que se analisaram diferentes cenários hidrodinâmicos correspondentes a valores mínimos, médios e máximos, tendo-se utilizado no cálculo desses valores os dados medidos pelos equipamentos instalados para o efeito.

Para dados de  $CBO_5$  (afluentes às ETAR) utilizaram-se os valores máximos dos últimos 10 anos. Nas fronteiras de montante das linhas de água, consideraram-se para concentrações de OD,  $CBO_5$  e CF os valores 10 mg/L, 0 mg/L e 0 MPN/100 mL, respetivamente. Não existem flutuações significativas de caudais tratados em tempo seco, adotou-se por isso, o cenário médio de caudal tratado. Foram realizadas simulações com duração de sete dias, para os diferentes cenários.

A simulação da qualidade da água do rio entre a ETAR de Lordelo e a foz do rio Vizela, assim como os respetivos cenários de simulação são apresentados. Na tabela 4-17 expõem-se os vários cenários de simulação considerados para a simulação da qualidade da água na foz do rio Vizela.

Tabela 4-18: Cenários de simulação no trecho 1 para caudais fluviais e desempenho da ETAR de Lordelo

Eficiência ETAR 1 (%)	Caudal do Rio		
	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Médio (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)
	0.4	5.24	31.25
<b>0</b>	C1	C2	C3
<b>50</b>	C4	C5	C6

As cargas afluentes à ETAR de Lordelo, para os cenários de eficiência de 0% obtiveram-se valores de 498.17 (mg/L) para  $CBO_5$  e de  $5.61 \times 10^7$  MPN/100ml para CF. Para OD, assumiu-se 0 (mg/L), sendo o caudal da ETAR de 0.194 m<sup>3</sup>/s. Os valores para eficiência de 50%, são obviamente metade dos apresentados anteriormente, ou seja, 249.09 (mg/L) para  $CBO_5$  e de  $2.80 \times 10^7$  MPN/100ml para CF.

De referir que, as normas de qualidade das águas superficiais são estabelecidas no Decreto-Lei N° 236/98 de 1 de Agosto, para cada um dos diferentes usos da água: produção de água para consumo humano, suporte de vida aquícola, uso balnear e rega. Os valores da referida norma são utilizados para materializar o diagnóstico da qualidade da água realizado neste trabalho, verificando-se a compatibilidade dos diferentes usos da água com os valores simulados pelo software Sobek para cada um dos parâmetros analisados. Apresentam-se em seguida os resultados de concentrações de  $CBO_5$ , OD e CF na foz do rio Vizela, obtidos para todos os cenários considerados, assim como o valor máximo recomendado (VMR) imposto por lei (DR 236/98, Anexo I, classe A3) para os parâmetros de  $CBO_5$  e CF para descargas de águas residuais, figuras 4-45 a-c) (eficiência 0%) e 4-46 a-c) (eficiência 50%). Estabelece a norma, para consumo humano e classe A3 um VMR de 7 mg/L para o parâmetro  $CBO_5$  e 20000MPN/100mL para CF.



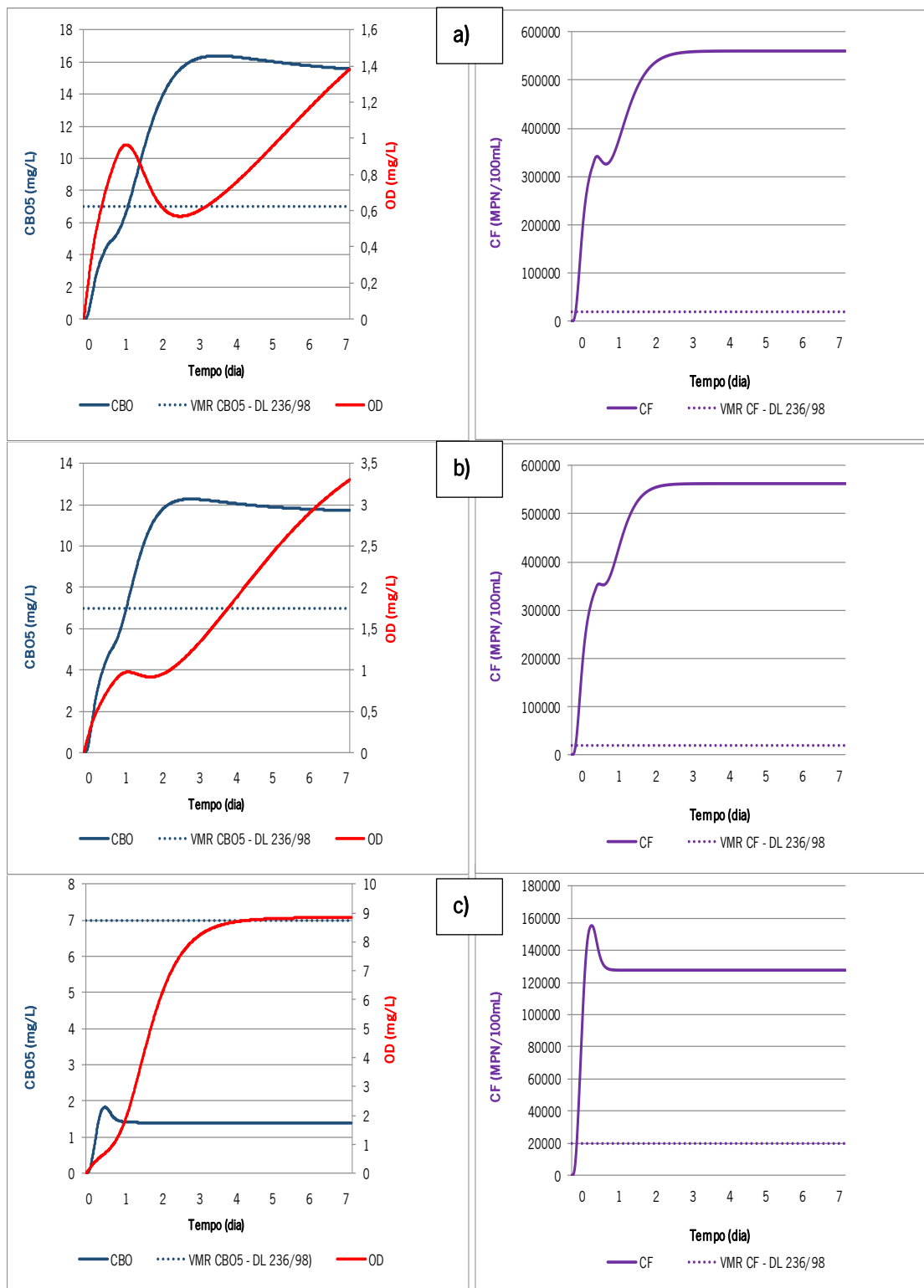


Figura 4-45: Simulação referente aos cenários 1 a 3, a cerca de 5.63km do local da descarga, a) cenário 1, b) cenário 2 e c) cenário 3.

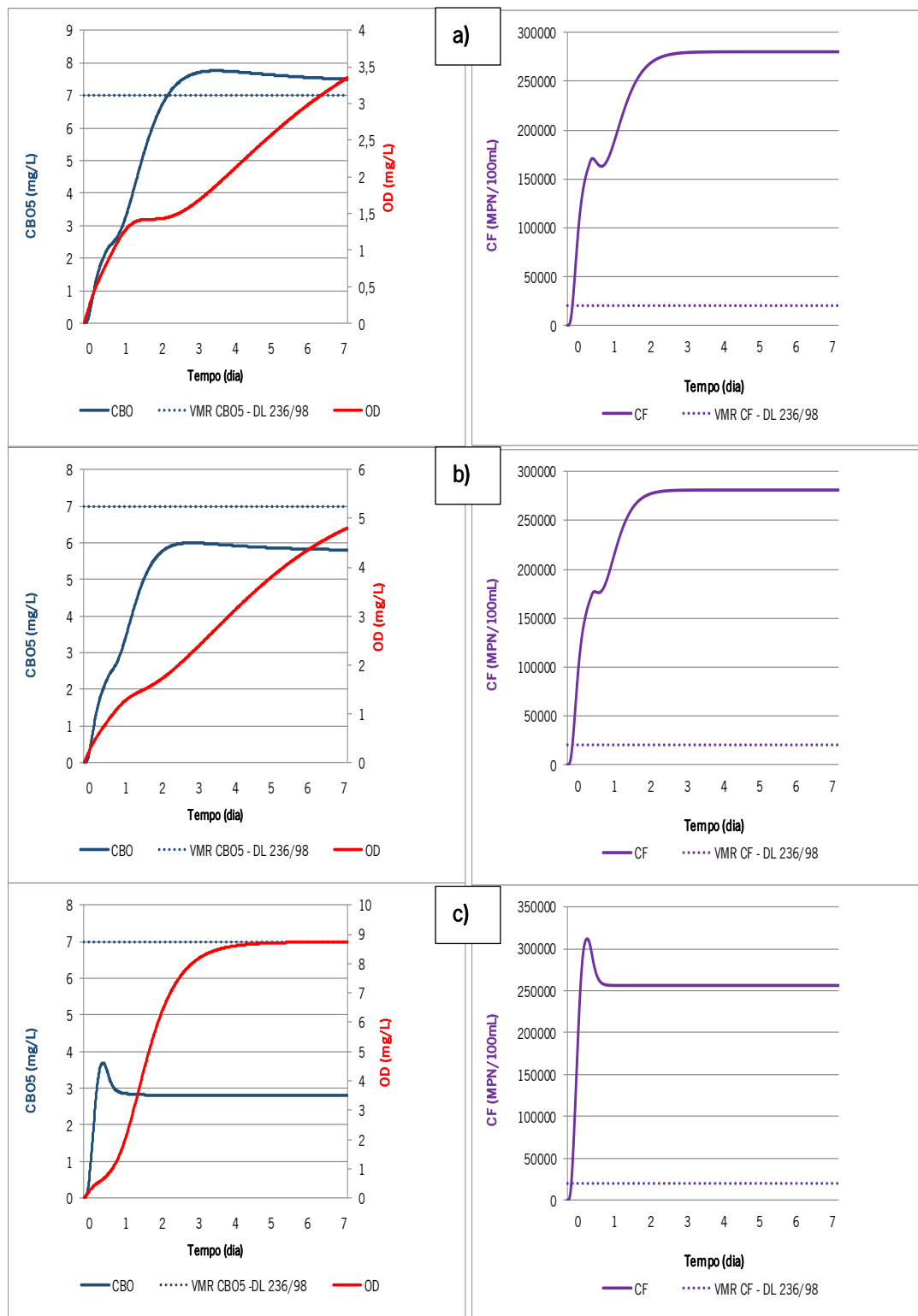


Figura 4-46: Simulação referente aos cenários 4 a 6, a cerca de 5.63km do local da descarga, a) cenário 4, b) cenário 5 e c) cenário 6.

A simulação da qualidade da água do rio entre a ETAR de Serzedelo e a montante da foz do rio Vizela e os diferentes cenários são também apresentados.

Na tabela 4-18 apresentam-se os vários cenários de simulação considerados para a simulação da qualidade da água do rio no trecho 2.

Tabela 4-19: Cenários de simulação no trecho 2 para caudais fluviais e desempenho da ETAR 2.

Eficiência ETAR 2 (%)	Caudal do Rio		
	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Médio (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)
	1.78	10.73	34.26
<b>0</b>	C7	C8	C9
<b>50</b>	C10	C11	C12

No que concerne a cargas afluentes à ETAR de Serzedelo, para os cenários de eficiência de 0% obtiveram-se valores de 490.66 (mg/L) para CBO5 e de  $4.09 \times 10^7$  MPN/100ml para CF. Para OD, assumiu-se 0 (mg/L), sendo o caudal da ETAR de 0.384 m<sup>3</sup>/s. Os valores para eficiência de 50%, são obviamente metade dos apresentados anteriormente, ou seja, 245.33 (mg/L) para CBO5 e de  $2.04 \times 10^7$  MPN/100ml para CF.

Apresentam-se em seguida os resultados de concentrações de CBO5, OD e CF, na secção do rio Ave imediatamente antes da confluência do rio Vizela, obtidos para todos os cenários considerados, sobrepondo-se o valor máximo recomendado (VMR) imposto por lei (DR 236/98, Anexo I, classe A3) para os parâmetros de CBO5 e CF para descarga de águas residuais, figuras 4-47 a-c (eficiência 0%) e 4-48 a-c (eficiência 50%).

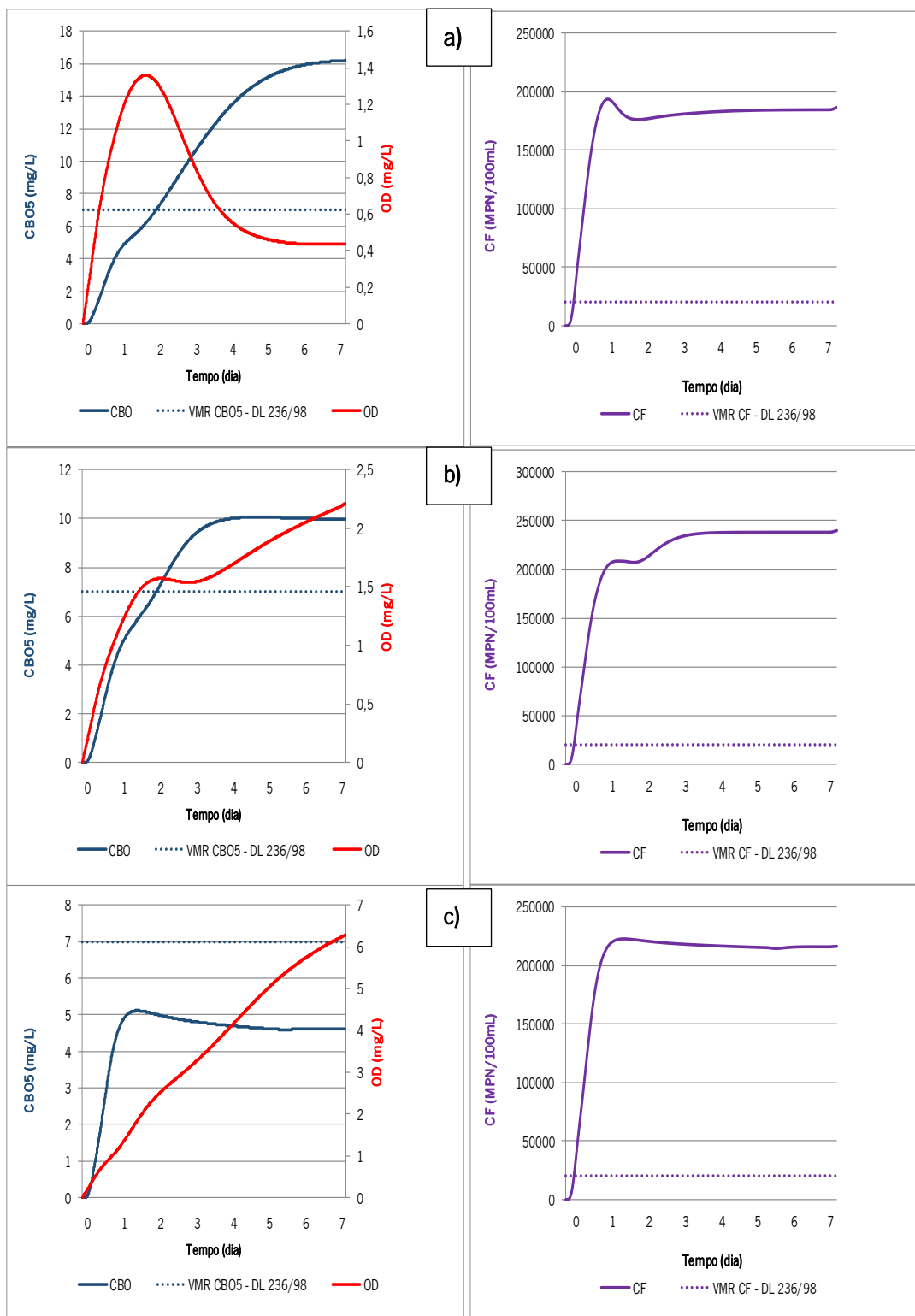


Figura 4-47: Simulação referente aos cenários 7 a 9, a cerca de 7.35km do local da descarga, a) cenário 7, b) cenário 8 e c) cenário 9.

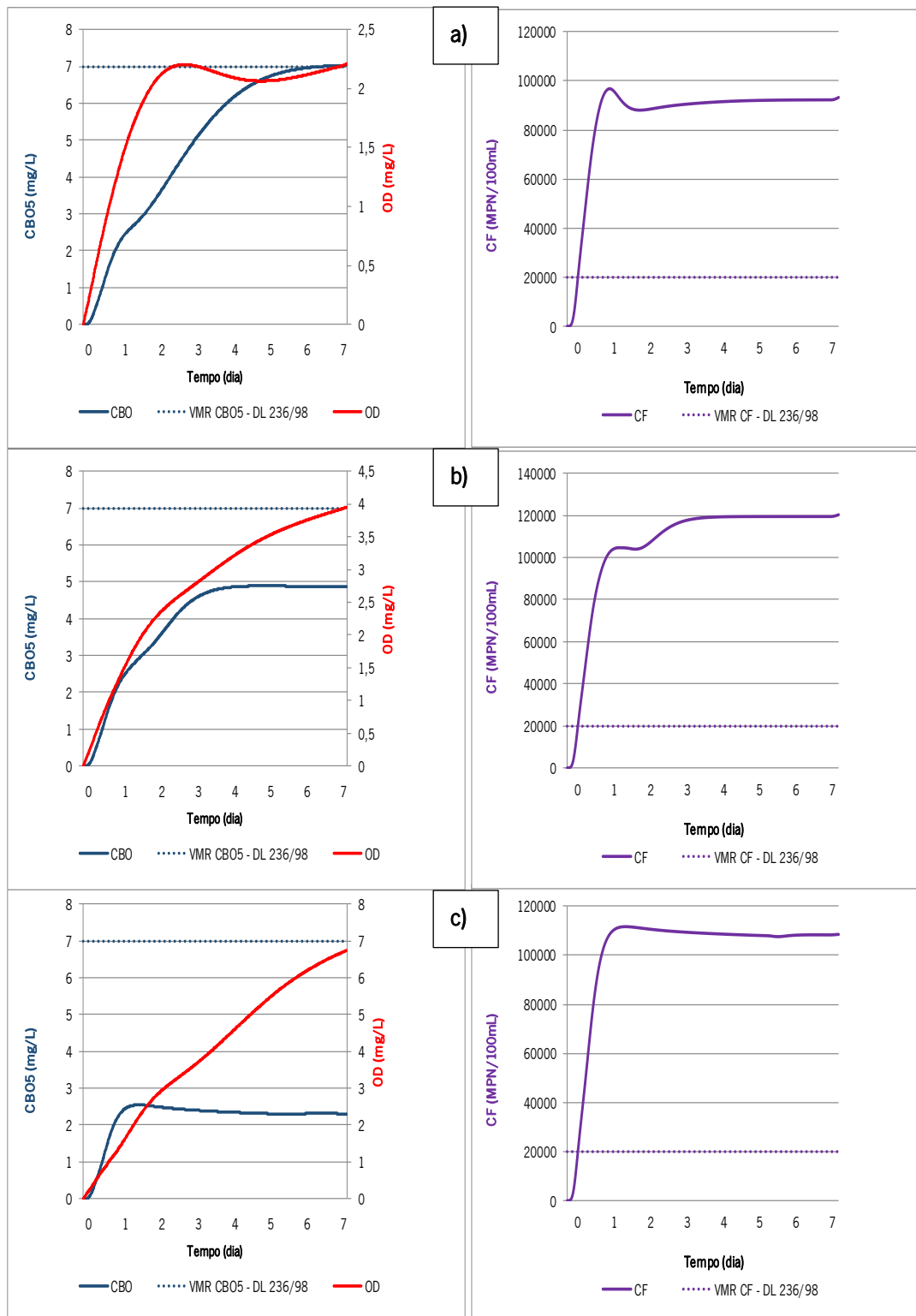


Figura 4-48: Simulação referente aos cenários 10 a 12, a cerca de 7.35km do local da descarga, a) cenário 10, b) cenário 11 e c) cenário 12.

Por fim apresenta-se a simulação da qualidade da água do rio entre a ETAR de Serzedelo e Lordelo e o trecho imediatamente a jusante da confluência do rio Vizela com o rio Ave, assim como os cenários de simulação.

Na tabela 4-19 expõem-se os vários cenários de simulação considerados para a simulação da qualidade da água do rio Ave, tendo em conta as descargas das duas ETAR.

Tabela 4-20: Cenários de simulação no trecho 2 para caudais fluviais e desempenho da ETAR 1 e 2.

Eficiência ETAR 1 e 2 (%)	Caudal do Rio		
	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Médio (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)
		2.18	15.97
<b>0</b>	C13	C14	C15
<b>50</b>	C16	C17	C18

No que concerne a cargas afluentes à ETAR de Lordelo e Serzedelo, para os cenários de eficiência de 0% obtiveram-se valores de 988.83 (mg/L) para CBO<sub>5</sub> e de  $9.70 \times 10^7$  MPN/100ml para CF. Para OD, assumiu-se 0 (mg/L), sendo o caudal das ETAR de 0.578 m<sup>3</sup>/s. Os valores para eficiência de 50%, são obviamente metade dos apresentados anteriormente, ou seja, 494.42 (mg/L) para CBO<sub>5</sub> e de  $4.84 \times 10^7$  MPN/100ml para CF.

Apresentam-se ainda os resultados de concentrações de CBO<sub>5</sub>, OD e CF no trecho 3, portanto imediatamente a jusante da confluência do rio Vizela com o rio Ave, obtidos para todos os cenários considerados, assim como o valor máximo recomendado (VMR) imposto por lei (DR 236/98, Anexo I, classe A3) para os parâmetros de CBO<sub>5</sub> e CF, figuras 4-49 a-c (eficiência 0%) e 4-50 a-c (eficiência 50%).

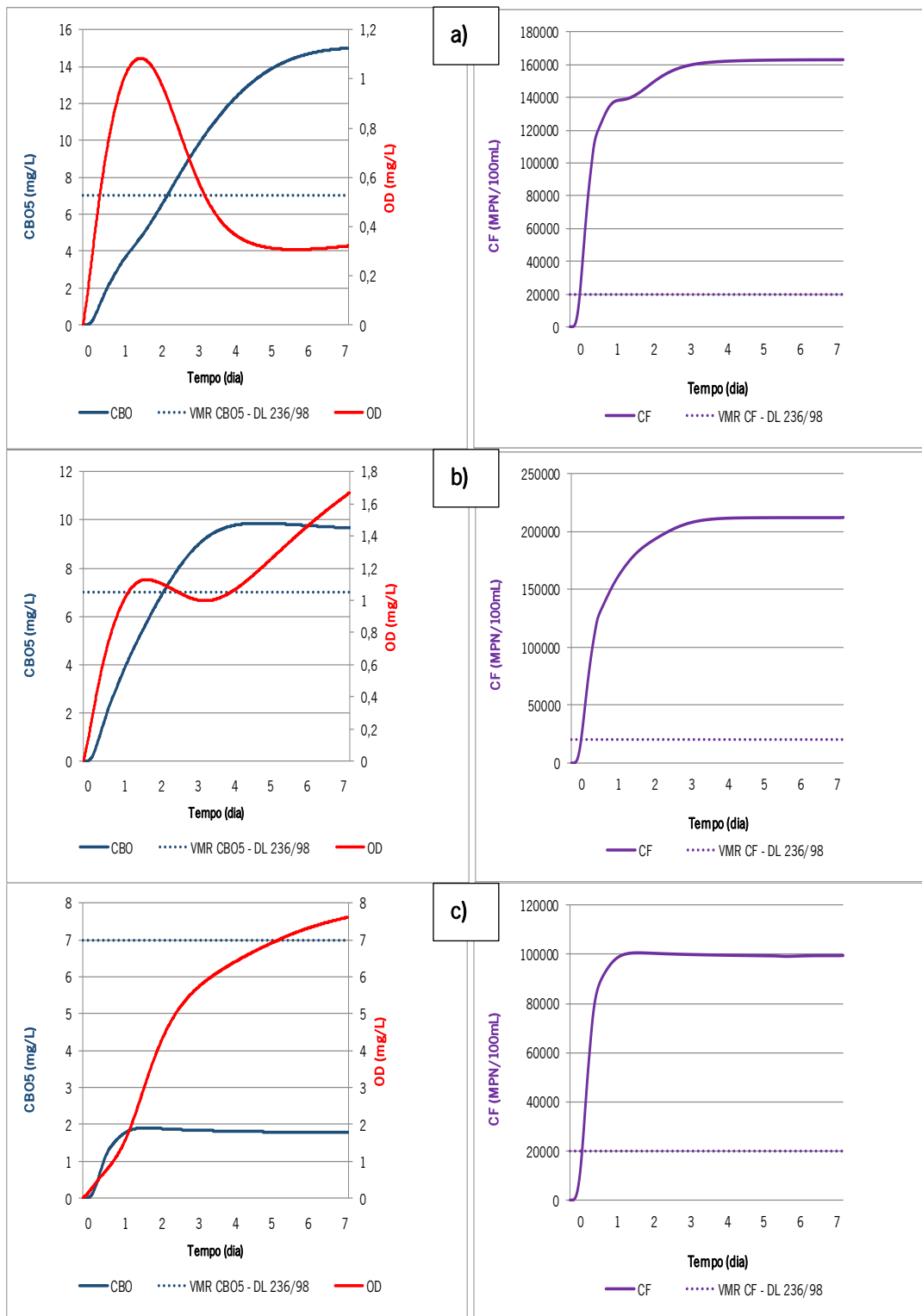


Figura 4-49: Simulação referente aos cenários 13 a 15, a cerca de 6km da ETAR de Lordelo e 7.61km de Serzedelo, a) cenário 13, b) cenário 14 e c) cenário 15.

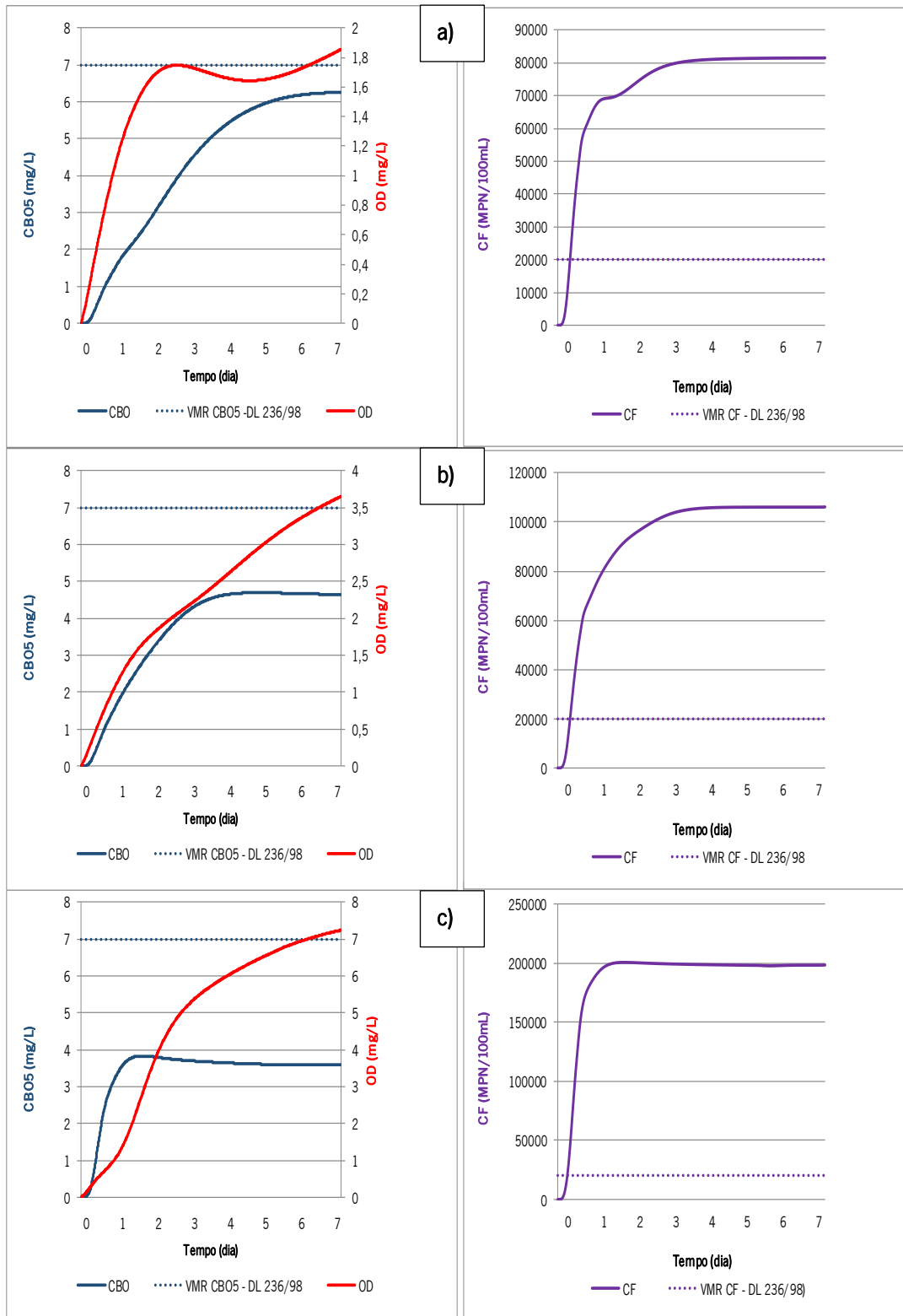


Figura 4-50: Simulação referente aos cenários 16 a 18, a cerca de 6km da ETAR de Lordelo e 7.61km de Serzedelo, a) cenário 16, b) cenário 17 e c) cenário 18.

Dos resultados apresentados verifica-se uma maior influência na qualidade da água do rio por parte da ETAR de Lordelo relativamente à de Serzedelo devido à diferença de caudais fluviais nos



respetivos meios recetores. Para os cenários de eficiência de 0%, portanto, cenário de rotura, para caudais mínimos e médios não se cumprem os VMR legislados. Para eficiência de 50% apenas não se cumprem os VMR para caudais mínimos na foz do rio Vizela.

Nos cenários de maior caudal e para a mesma eficiência de funcionamento das ETAR verifica-se que não há decaimento significativo de matéria orgânica e de microrganismos nos trechos analisados, contudo em nenhum dos cenários e eficiências o VMR relativo a coliformes fecais é cumprido nas condições simuladas. Este resultado depende naturalmente do valor assumido para taxa de mortalidade de coliformes fecais. Em trabalhos futuros ter-se-á de calibrar esta taxa.

Em todos os cenários, verifica-se um comportamento semelhante do decaimento de coliformes fecais e de degradação de CBO<sub>5</sub>. Esta constatação é óbvia pois tendo sido adotado o modelo de reação de primeira ordem para os dois constituintes, o seu decaimento é função apenas da respetiva taxa de reação.

#### **4.2.3 Sistema de Análise**

Do sistema de análise implementado destacam-se quatro conjuntos de resultados que permitem operar o sistema de modo mais eficiente e suportar decisões de operação:

- Avalia-se o desempenho das diferentes fontes de previsão de precipitações para diferentes horizontes temporais;
- A partir dos registos históricos foram obtidos padrões horários de caudais transportados em período seco a partir dos quais se estimam caudais infiltrados/indevidos;
- Da aplicação do modelo hidráulico da rede a cenários envolvendo caudais elevados é possível localizar as câmaras vulneráveis à ocorrência de derrames e aferir a localização de ligações indevidas;
- Implementação de um controlador automático de um sistema de elevação de uma das ETAR, suportado pelos dados do sensor de nível instalado no tanque de montante.

Neste trabalho foram utilizadas diferentes fontes de informação, conforme já referido em capítulos anteriores. Foram configurados procedimentos na plataforma FEWS que permitem o acesso a diferentes fontes de informação que incluem dados do radar meteorológico operado pela Meteogalicia.

Os **dados de refletividade** foram convertidos em precipitação através da equação 3.5 proposta por Marshall e Palmer (referenciado, na tabela 3-5 em Marshall & Palmer (1948), os parâmetros utilizados como entrada no modelo). Utilizaram-se os dados obtidos na estação meteorológica instalada na ETAR de Serzedelo e os dados radar operado pela Meteogalicia para o mesmo local (ETAR de Serzedelo), sendo a interpolação destes dados originais realizada através de um procedimento configurado na plataforma FEWS. O ajuste dos parâmetros da referida equação de transformação foi realizado através da ferramenta solver do Excel, utilizando uma série de dados do período de janeiro de 2016 e maio de 2018.

Os resultados apresentados na figura 4-51 mostram a relação entre os dados medidos numa das estações meteorológicas instaladas e os medidos pelo radar operado pela Meteogalicia a partir do ajuste da equação de refletividade com os valores dos parâmetros  $A=143.021$  e  $B=0.4281$ . A qualidade do ajuste conseguido é caracterizada pelas métricas apresentadas na tabela 4-20. Considera-se na avaliação do ajuste o coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (NSE) (-), a média do erro Absoluto (MEA) (mm), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (-), erros quadráticos médios (RMSE) (mm), média simulada (MM) (mm / hora), média observada (MO) (mm / hora). O resultado do ajuste é bastante aceitável atendendo aos valores obtidos para as diferentes métricas e considerando que a análise realizada é horária. Caso seja realizada uma análise diária, o ajuste melhora consideravelmente, podendo concluir-se que os dados do radar da Meteogalicia constituem uma boa opção para monitorizar eventos de precipitação na zona de estudo.

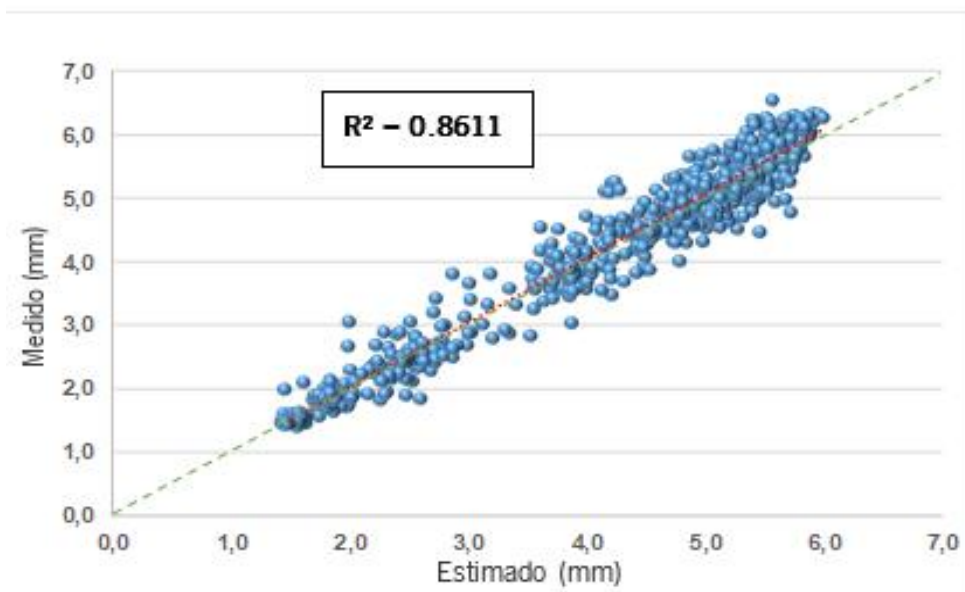


Figura 4-51: Comparação de valores de precipitação medidos na ETAR de Serzedelo com os valores estimados a partir de dados de radar operado pela Meteogalicia.

Tabela 4-21: Métrica relativas à comparação entre valores de precipitação inferidos de dados de radar meteorológico com valores medidos na estação de Serzedelo.

NSE (-)	MEA (mm)	R <sup>2</sup> (-)	RMSE (mm)	MM (mm/h)	MS (mm/h)	A	B
0.9226	0.3201	0.8611	0.5213	0.5729	0.5650	143.0210	0.4281

Relativamente aos dados de previsões de precipitação (WRF, GFS e GEFS) foi realizada uma comparação entre dados medidos e dados de modelos de previsão para diferentes horizontes temporais: um dia, dois dias, três dias e quatro dias. Tal como no caso dos dados de radar, a interpolação dos dados de previsões de modelos atmosféricos para as estações de medição, foi realizada na plataforma FEWS através de um procedimento configurado para o efeito. Na figura 4-52 apresentam-se resultados de precipitação acumulada diária para as diferentes previsões e o respetivo erro médio relativo. Pode-se verificar que o modelo WRF apresenta o melhor desempenho e que o erro, como seria de esperar vai aumentando até ao quarto dia de previsão. No entanto, os resultados compreendem um bom desempenho, com um erro para o WRF inferior a 10% para dois dias de previsão.

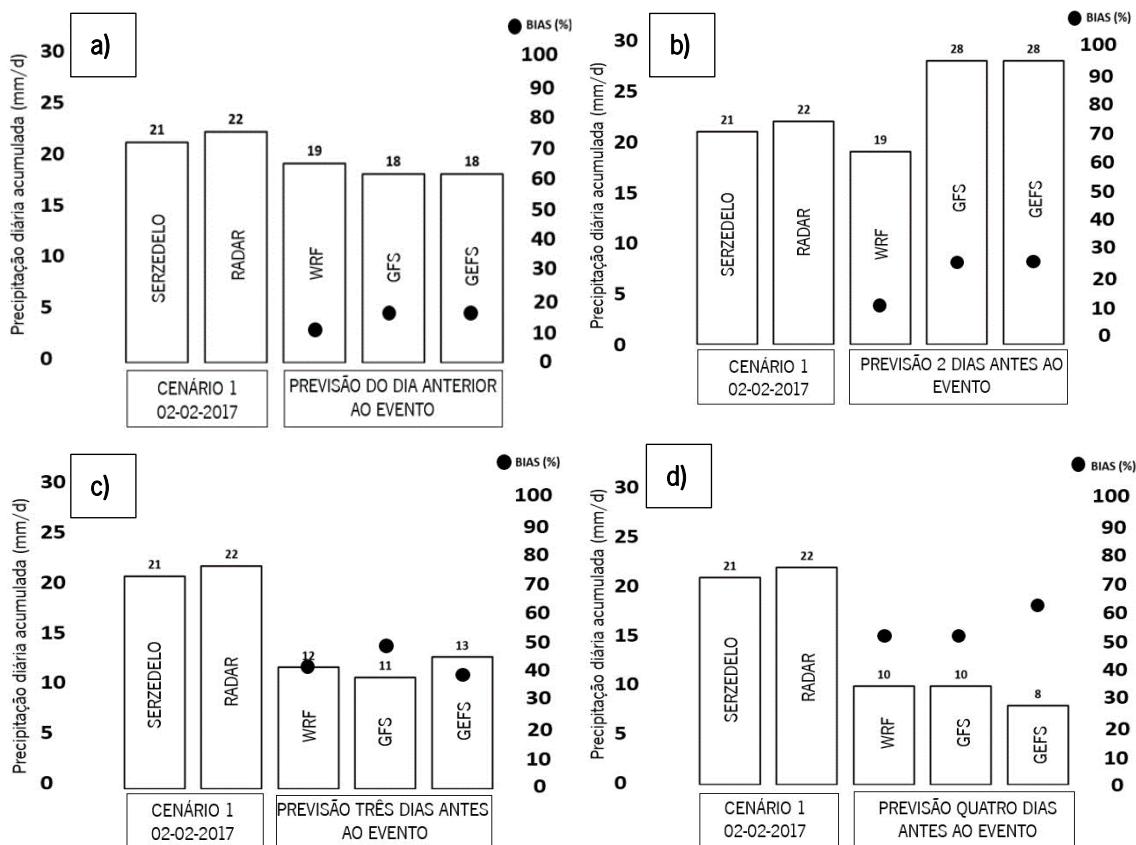


Figura 4-52: Evolução dos erros associados às previsões de precipitação. Comparação entre dados medidos e previstos – a) horizonte 1 dia de previsão, b) horizonte 2 dias de previsão, c) horizonte 3 dias de previsão e d) horizonte 4 dias de previsão.

Resultados de valores medidos e dados de previsão são apresentadas na tabela 4-21 para cenários analisados. Constata-se que o modelo de previsão com melhor desempenho é o WRF, para horizonte de dois dias. O WRF possui o melhor desempenho em comparação aos modelos GFS e GEFS, embora o último também inclua um desempenho extremamente aceitável para horizonte de dois dias e relativamente aceitável para horizonte de quatro dias.

Tabela 4-22: Comparação entre dados de precipitação medidos com previsões de precipitação de modelos atmosféricos em 14 cenários distintos.

Cenários	Data	Precipitação (mm/dia) - Estação meteorológica de Serzedelo	Modelos atmosféricos – horizonte 1 dia de previsão		
			WRF	GFS	GEFS
1	02/02/2017	21,3	24	26,4	26,4
2	03/03/2017	18,4	18	19,8	20,2
3	30/04/2017	14	14	16	16,3
4	11/05/2017	33	32	39	35
5	28/05/2017	13	14,6	16,2	15,2
6	18/10/2017	27,2	26	24	24
7	31/12/2017	25	24	25	23
8	10/01/2018	22	24,1	17,1	19
9	27/02/2018	39,6	35,2	43,4	46
10	04/03/2018	14,1	13,6	15,9	15,1
11	19/03/2018	16,9	18,1	21	22
12	03/04/2018	57,3	62,6	45	47
13	04/04/2018	22,3	19,8	26	24
14	25/05/2018	25,1	27,6	24	23
		Precipitação (mm/dia) - Estação meteorológica de Serzedelo	Modelos atmosféricos – horizonte 2 dias de previsão		
			WRF	GFS	GEFS
1	02/02/2017	21,3	24	26,6	26,6
2	03/03/2017	18,4	19,8	22,2	22,2
3	30/04/2017	14	14,3	20,3	19,3
4	11/05/2017	33	37	43	41
5	28/05/2017	13	16,2	16,4	15,8
6	18/10/2017	27,2	26	23,4	21,1
7	31/12/2017	25	25,3	28	26
8	10/01/2018	22	26,8	14,2	15
9	27/02/2018	39,6	35	42	43
10	04/03/2018	14,1	13,1	15,2	15
11	19/03/2018	16,9	18,9	21,6	22
12	03/04/2018	57,3	64,6	41	38
13	04/04/2018	22,3	21	21	24
14	25/05/2018	25,1	28	25	24

Tabela 4-21: Comparação entre dados de precipitação medidos com previsões de precipitação de modelos atmosféricos em 14 cenários distintos (continuação).

		Precipitação (mm/dia) - Estação meteorológica de Serzedelo	Modelos atmosféricos – horizonte 3 dias de previsão		
			WRF	GFS	GEFS
1	02/02/2017	21,3	31,6	38,6	37
2	03/03/2017	18,4	21	26	28
3	30/04/2017	14	18	28	21
4	11/05/2017	33	26	19	27
5	28/05/2017	13	18	28	24
6	18/10/2017	27,2	29,3	29,6	29
7	31/12/2017	25	27	30	29
8	10/01/2018	22	28,6	14,8	15,7
9	27/02/2018	39,6	37	43	43
10	04/03/2018	14,1	16,8	20,3	19
11	19/03/2018	16,9	20	23	23
12	03/04/2018	57,3	59,8	70	73
13	04/04/2018	22,3	22	22	26
14	25/05/2018	25,1	28,6	34	33
		Precipitação (mm/dia) - Estação meteorológica de Serzedelo	Modelos atmosféricos – horizonte 4 dias de previsão		
			WRF	GFS	GEFS
1	02/02/2017	21,3	33	41,4	40,1
2	03/03/2017	18,4	23	32	30
3	30/04/2017	14	23	28	31
4	11/05/2017	33	41	45	43
5	28/05/2017	13	21	24	26
6	18/10/2017	27,2	30,2	34	33,6
7	31/12/2017	25	31	32	32
8	10/01/2018	22	29	12,1	13,8
9	27/02/2018	39,6	36,3	41,4	44
10	04/03/2018	14,1	18,9	23,4	26
11	19/03/2018	16,9	21	24	21
12	03/04/2018	57,3	64	79	76
13	04/04/2018	22,3	24	24	23
14	25/05/2018	25,1	30,6	36	33

Tendo por base os dados dos 14 cenários analisados foi ajustada uma lei de regressão polinomial de forma a caracterizar a evolução do erro de previsão ao longo do tempo para cada um dos modelos WRF, GFS e GEFS. A figura 4-53 apresenta as funções para os três modelos atmosféricos e que são utilizados como suporte para a avaliação do desenvolvimento do erro ao longo de 4 dias de precisão.

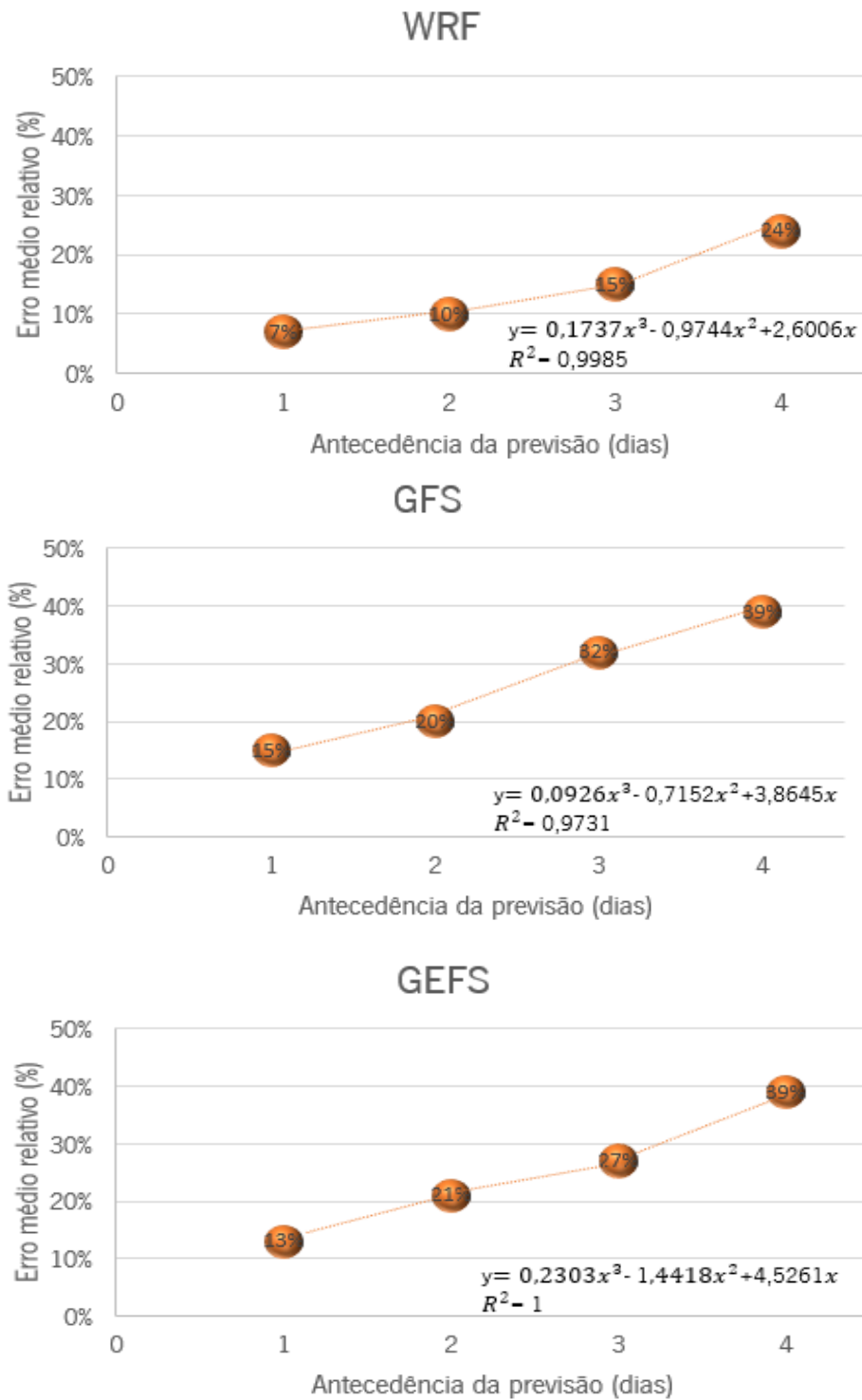


Figura 4-53: Evolução do erro relativo em função do horizonte de previsão (%) a) modelo WRF b) modelo GFS c) modelo GEFS.

Verifica-se que o modelo WRF apresenta o melhor desempenho com 7% de erro para o horizonte de um dia de previsão e 24% para horizonte de 4 dias de previsão, o que se considera bastante aceitável para utilização na gestão operacional da rede. As previsões do GFS e GEFS, embora tenham um desempenho inferior apresentam-se com desempenhos aceitáveis com 15% e 13% para horizonte de 1 dia de previsão e 39% para um horizonte de 4 dias de previsão.

Tendo por base os dados de precipitação e os caudais medidos com resolução temporal horária para o período compreendido entre 1/10/2015 a 30/8/2018, em quatro dos principais interceptores (Nespereira, Ave, Vizela FD4 e Vizela FD6), foi possível **estimar padrões de caudais diários para períodos de tempo seco e períodos húmidos** (com precipitação).

Como se pode constatar pela análise da figura 4-54, o valor dos caudais que afluem às ETAR tem um incremento significativo em períodos em que ocorre precipitação, de modo mais expressivo no sistema interceptor do Ave. Nos restantes sistemas interceptores as infiltrações são também bastante evidentes.



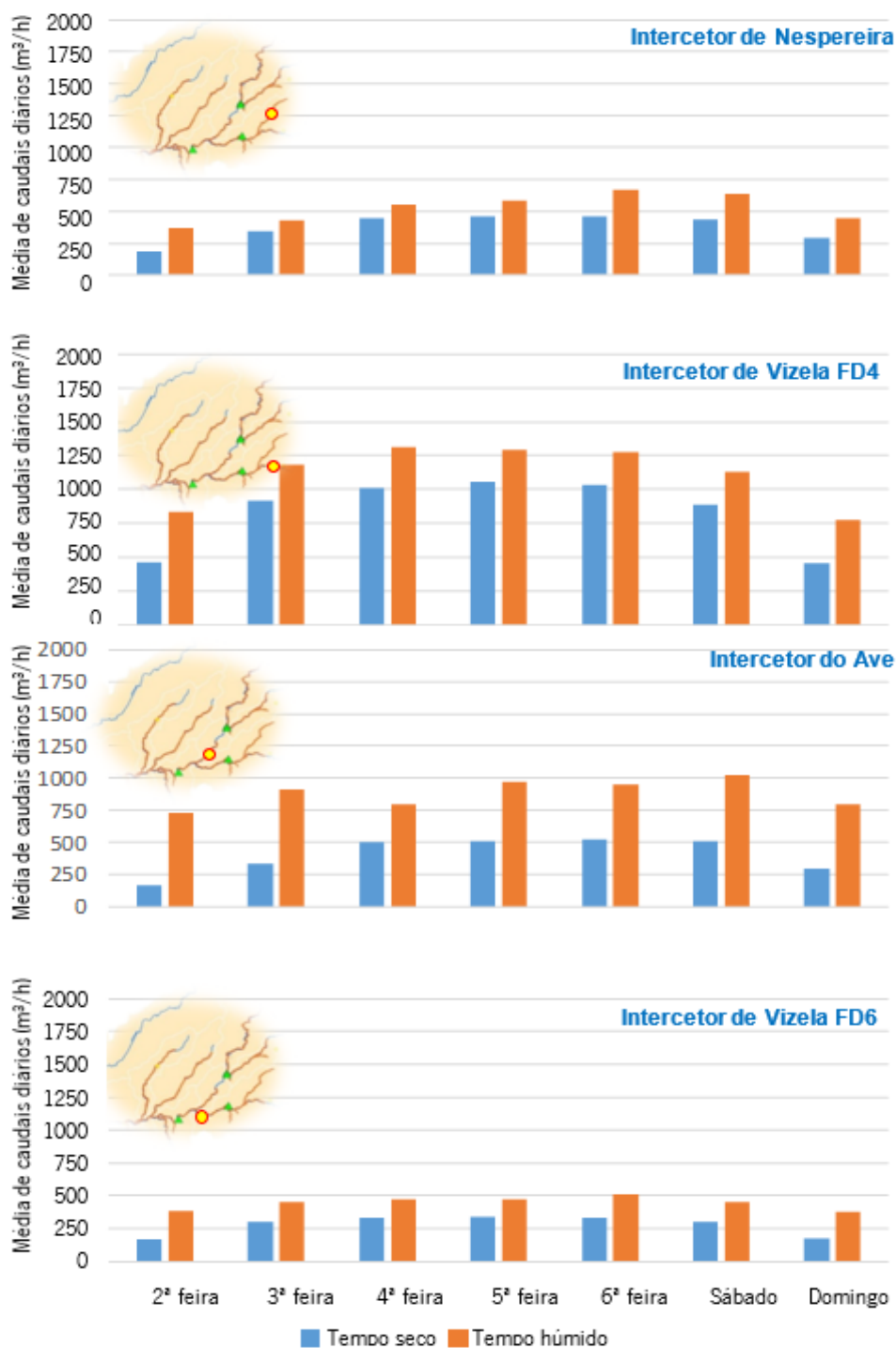


Figura 4-54: Valor médio dos caudais transportados durante períodos com ocorrência de precipitação e em períodos de tempo seco.

Como se pode verificar as descargas de águas residuais transportadas para a ETAR praticamente duplicam o seu valor durante os dias de chuva. Isto é bastante problemático, uma vez que todas as ETAR

foram concebidas para receber efluentes domésticos e industriais com volumes pouco significativos de águas pluviais infiltradas e como tal, não existindo capacidade de tratamento do volume total afluente, parte deste volume é descarregado para meio recetor sem tratamento.

Os padrões horários de caudais transportados durante os períodos de tempo seco foram igualmente obtidos, conforme apresentado na figura 4-55 a) para o Intercetor de Nespereira e b) para o Intercetor do Ave. Na figura 4-56 a) apresentam-se os padrões de caudal para o Intercetor de Vizela FD4 e em b) para o Intercetor de Vizela FD6. A influência dos efluentes industriais recebidos nos padrões de caudais transportados é muito evidente resultando em variações significativas de caudal ao longo da semana. Verifica-se um valor quase constante aos domingos. Este valor aumenta às segundas-feiras, começando no início da manhã. Terças, quartas, quintas e sextas-feiras apresentam uma variação horária de caudais com padrões idênticos, mas um aumento nos valores médios. Aos sábados, o caudal diminui continuamente ao longo do dia, devido à interrupção da laboração nas indústrias no período da tarde.

Na figura 4-57, apresenta-se a distribuição dos valores de caudais para tempo seco para os quatro sistemas intercetores através de percentis, apresentando-se os valores através do percentil 25%, 50%, 75%, o valor médio, máximo e mínimo. Nesta análise filtraram-se os 'outliers', portanto os valores extremos, que recorrentemente são resultado de problemas de medição. No intercetor de Nespereira, que é um intercetor que se desenvolve ao longo de aproximadamente 9 km de extensão e transporta um volume elevado de caudais industriais, verifica-se uma distribuição geralmente homogénea ao longo da semana, com exceção da 2ª feira e sábado. Ao domingo as flutuações ao longo do dia são pouco representativas, sendo o caudal transportado maioritariamente de origem doméstica. À segunda-feira o cenário altera-se devido ao incremento do caudal proveniente das indústrias que geralmente iniciam a sua atividade pelas 7:00 h. Ao longo dos restantes dias os caudais são homogéneos, corolário da preponderância do caudal industrial (muitas das empresas têm 4 turnos), apenas se alterando essa homogeneidade ao sábado quando as empresas interrompem a sua atividade (em muitos casos à tarde). Padrões semelhantes verificam-se nos restantes intercetores, com a diferença, de no caso do intercetor de Vizela FD4 e FD6 a maior variação se verificar à 6ª feira, pelo facto de nesta bacia as indústrias mais importantes interromperem a sua atividade neste dia da semana. No intercetor do Ave existe uma semelhança maior entre os valores de caudais transportados de origem doméstica e de origem industrial em relação aos intercetores anteriormente mencionados, o que resulta numa distribuição de valores de caudal bastante homogénea durante a semana.

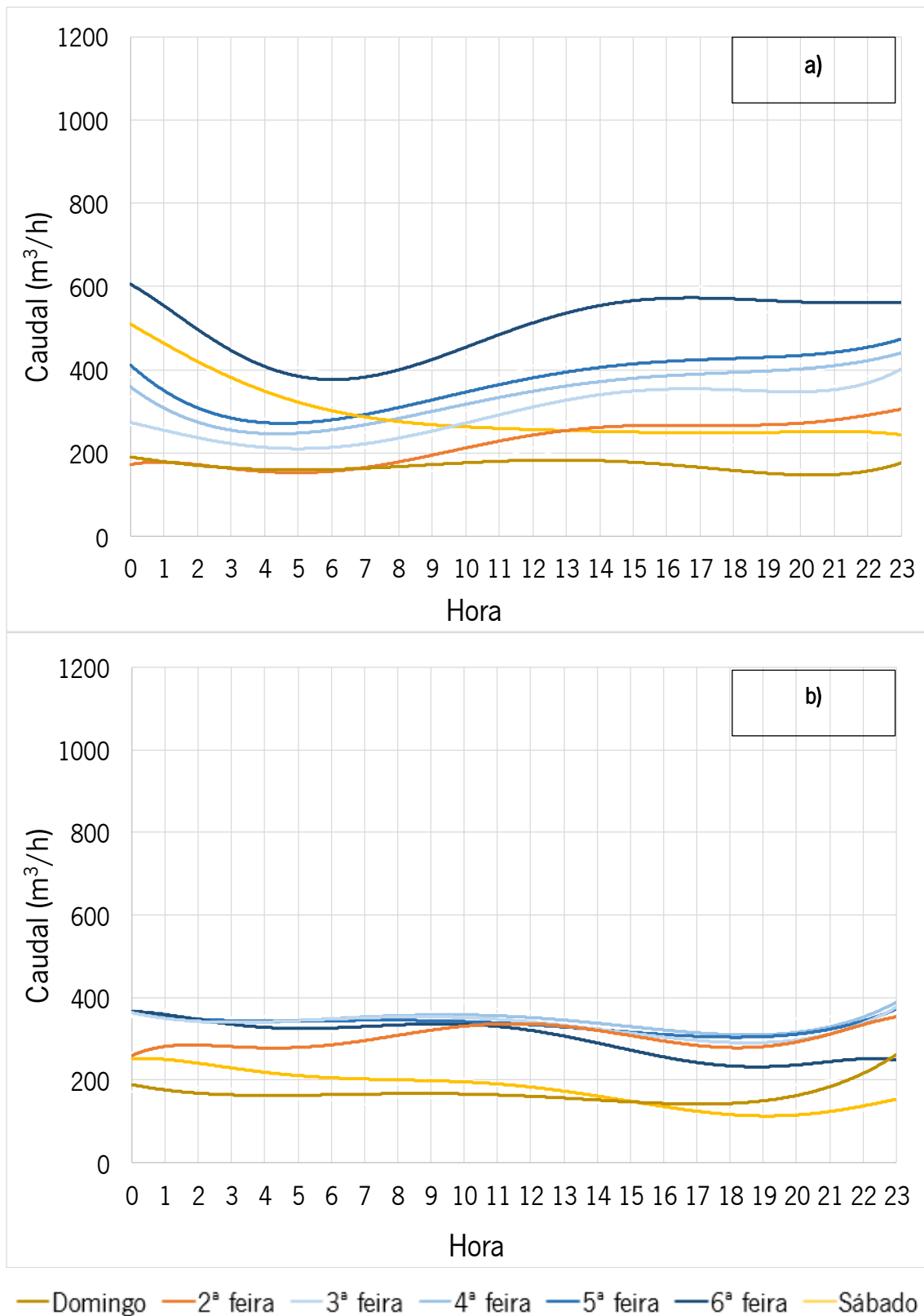


Figura 4-55: Média de caudais horários para diferentes dias da semana, a) Intercetor de Nespereira e b) Intercetor do Ave.

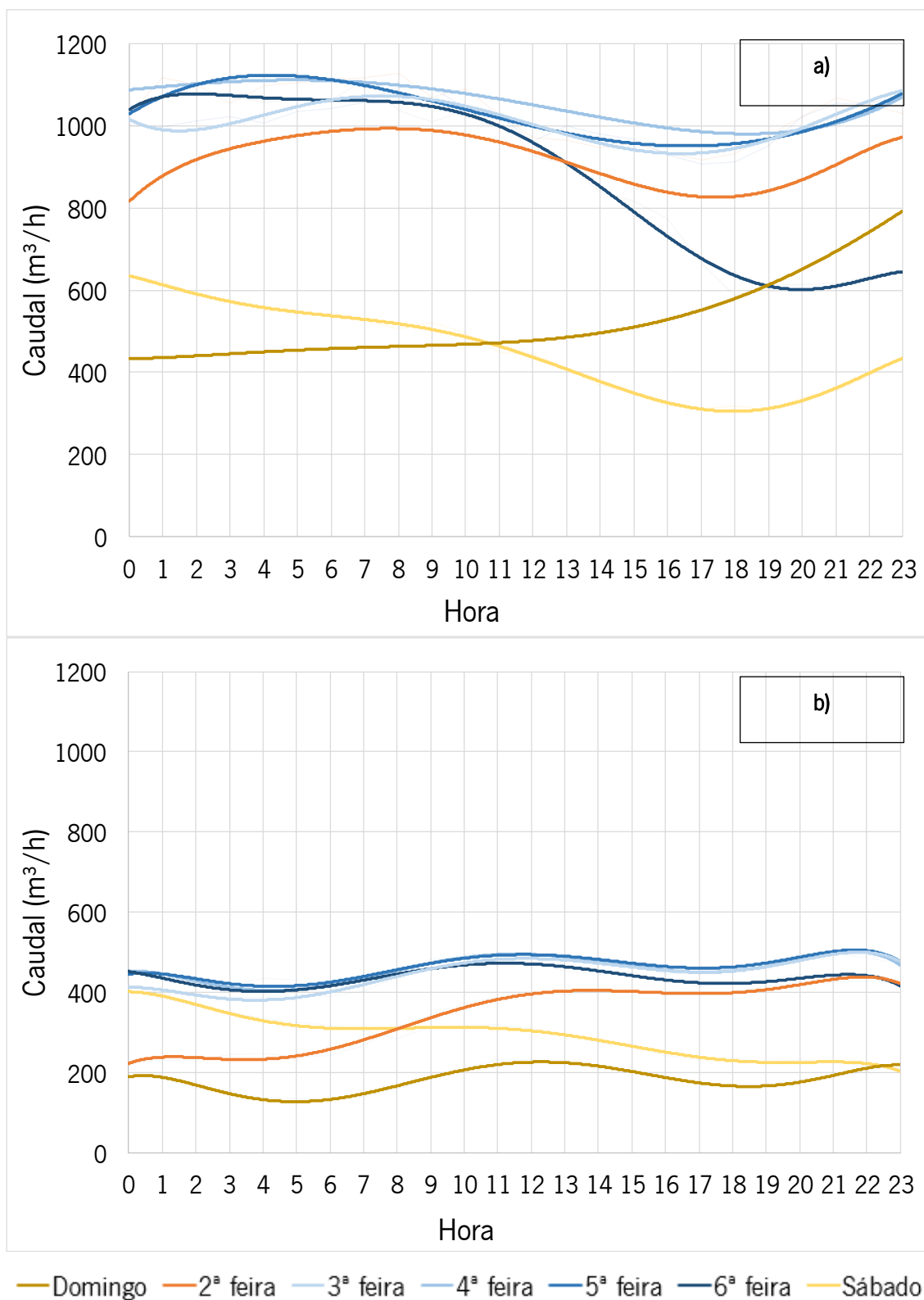


Figura 4-56: Média de caudais horários para diferentes dias da semana, a) Intercetor de Vizela FD4 e b) Intercetor de Vizela FD6.

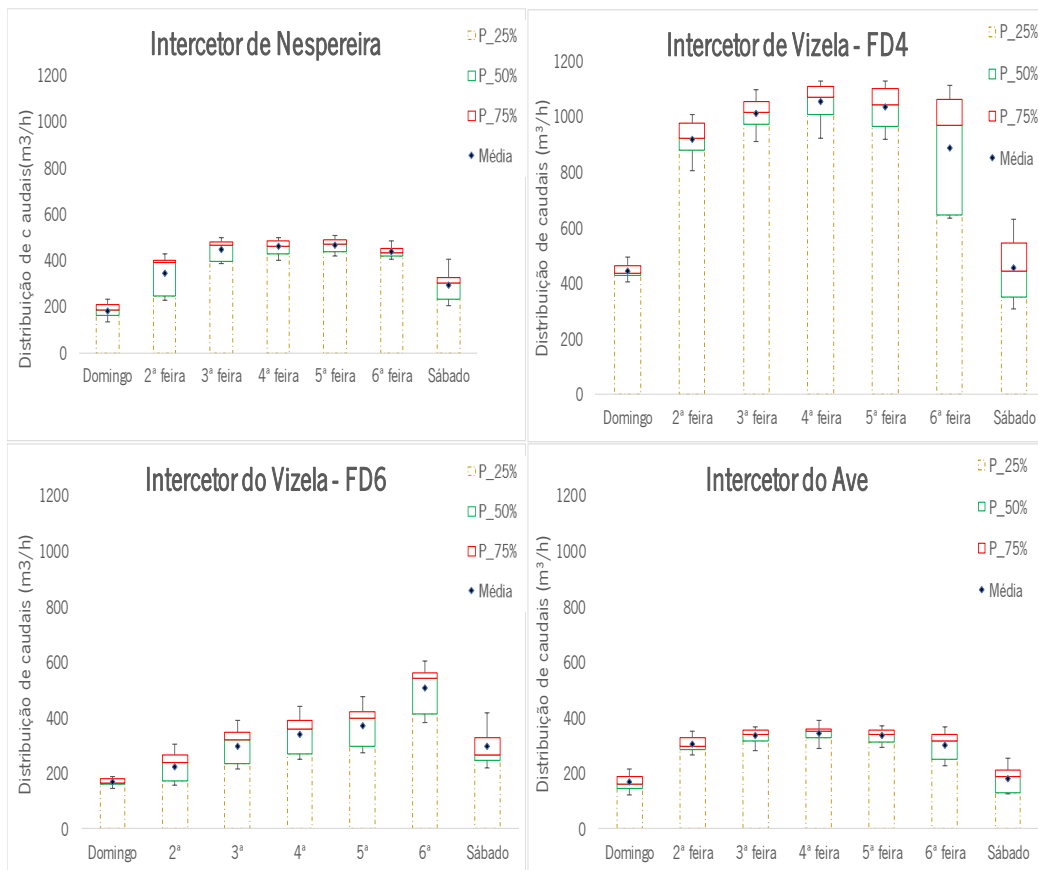


Figura 4-57: Distribuição de caudais por dia da semana.

Na figura 4-58, apresentam-se resultados derivados dos anteriormente analisados e que consistiram na normalização dos padrões diários de variação de caudais. Esta normalização permite avaliar de forma mais eficaz as flutuações de caudais ao longo do dia. Podemos verificar um padrão normal típico (figura 4-58 a)) considerando os valores de caudal originais (sem normalização) e de variação de caudal normalizado (figura 4-58 b)) para tempo seco, numa 6ª feira no Intercetor de Nespereira, comparando-se com a variabilidade horária do mesmo padrão

Estes padrões são de crucial importância para a gestão operacional da rede, permitindo identificar e avaliar em tempo real as condições de escoamento na rede. Os padrões normalizados horários foram obtidos para todos os interceptores e dias da semana, sendo estes remetidos para anexos (1,2 e 3).

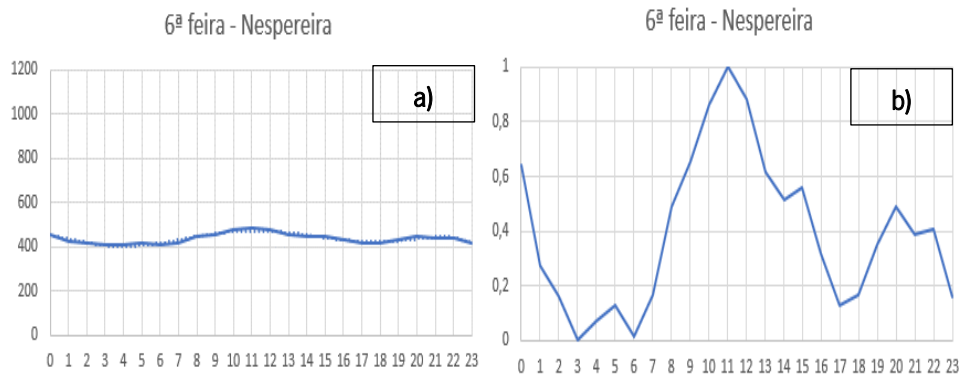


Figura 4-58: Evolução típica do caudal no Intercetor de Nespereira durante a sexta-feira em tempo seco  
a) Padrão para tempo seco e b) Perfil normalizado de caudal em tempo seco para o interceptor de Nespereira.

A metodologia adotada para estimar AI revelou os padrões típicos de descargas horárias ao longo da rede de drenagem. Esses padrões também permitem identificar desvios significativos causados por falhas nas infraestruturas de drenagem ou ligações ilícitas. As principais fontes tóxicas na bacia do rio Ave são as indústrias têxteis que exigem grandes volumes de água para os processos industriais de tingimento. Antes da instalação de equipamentos de monitorização ao longo da rede, só era possível avaliar o volume total de águas residuais nas ETAR, conforme já se verificou anteriormente. Comparações sistemáticas dos caudais integrais e a soma das contribuições individuais de clientes (indústrias e municípios) permitiram detetar que os volumes tratados eram maiores do que os faturados. No entanto, a localização e identificação de ligações indevidas era um processo extremamente complexo. Para aumentar o desempenho do sistema em termos de deteção de ligações ilegais, foi realizada uma normalização dos perfis de descargas industriais ao longo dos dias da semana, juntamente com balanços hídricos redundantes relativos ao incremento de sensores de monitorização instalados em diferentes locais da rede de drenagem. Essa abordagem permitiu fazer uma vigilância mais assertiva. A figura 4-59 representa a normalização dos padrões típicos de caudal horário para os diferentes dias da semana. É perceptível na primeira anomalia (figura 4-59 a)) a variação do caudal entre descarga ilegal (traço pontilhado) e descarga permitida (traço cheio), onde um volume horário não autorizado de aproximadamente 100 m<sup>3</sup> foi detetado. Após a análise dos padrões horários típicos, foi realizada uma inspeção e detetado um desvio ilegal do efluente numa câmara de visita a jusante, não passando pelo medidor de caudal. A figura 4-59 b) mostra outra anomalia que ocorreu durante os domingos e segundas-feiras pela manhã, após inspeção verificou-se que a empresa em questão esvaziava o tanque de

armazenamento (5.000m<sup>3</sup>) durante o fim-de-semana, desviando esses volumes para uma câmara de visita a jusante debelando assim a medição de caudal. A Figura 4-59 c) mostra a normalização dos padrões típicos de caudais horários para os diferentes dias da semana, tendo em consideração ligações permitidas (traço cheio) e ligações ilegais (traço pontilhado). Esta metodologia baseada na medição *on-line* de descargas permite a identificação de várias fraudes. Após a correção das três ligações ilegais (figura 4-59), houve um aumento no volume de efluentes faturados de 55,81% (relativamente à FD onde estas estão inseridas), representando 7,81% dos volumes não faturados de toda a rede. Durante o período de instalação do SAD (último quadriénio), procedeu-se à correção de 16 anomalias, resultando num aumento extremamente representativo, no que concerne ao desempenho económico da entidade gestora.

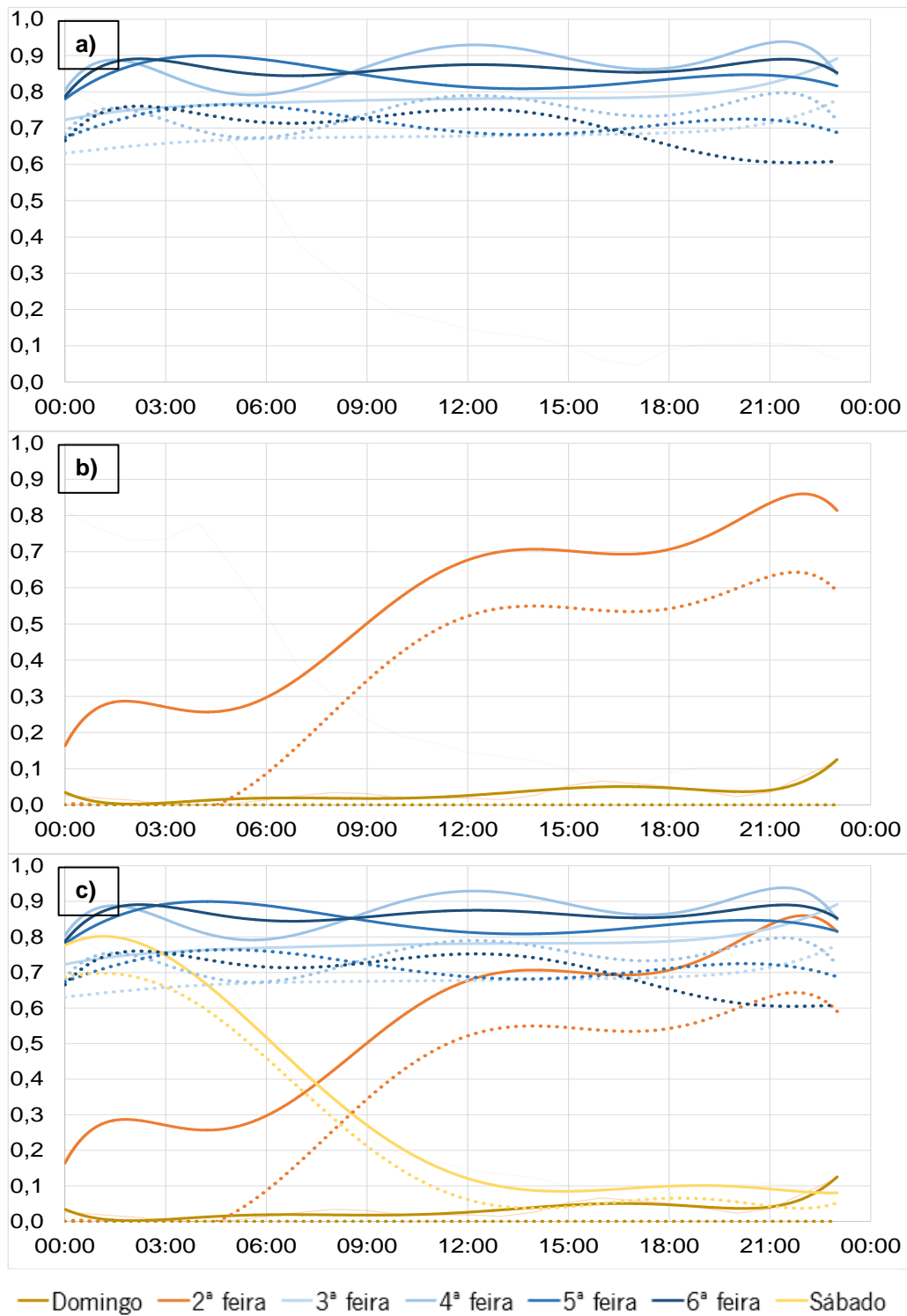


Figura 4-59: Deteção de ligações ilícitas através de padrões horários normalizados para os diferentes dias da semana.



Recorrendo ainda aos dados de caudais medidos e subtraindo os dados horários médios derivados para condições de tempo seco, foi possível estimar volumes infiltrados ao longo da rede. Para avaliar a correlação entre os caudais e as precipitações medidas com resolução horária foram considerados os valores acumulados de precipitação, referentes à estação meteorológica de Serzedelo e volumes infiltrados relativos ao interceptor do Ave, (com coeficiente de determinação de ordem de 0.92). A figura 4-60 apresenta esses valores cumulativos para um evento de chuva intenso ocorrido em janeiro de 2016. Essa mesma correlação pode ser observada num cenário ocorrido em janeiro de 2018, onde os volumes infiltrados foram menores, pois correspondem a um evento de precipitação menos intenso.

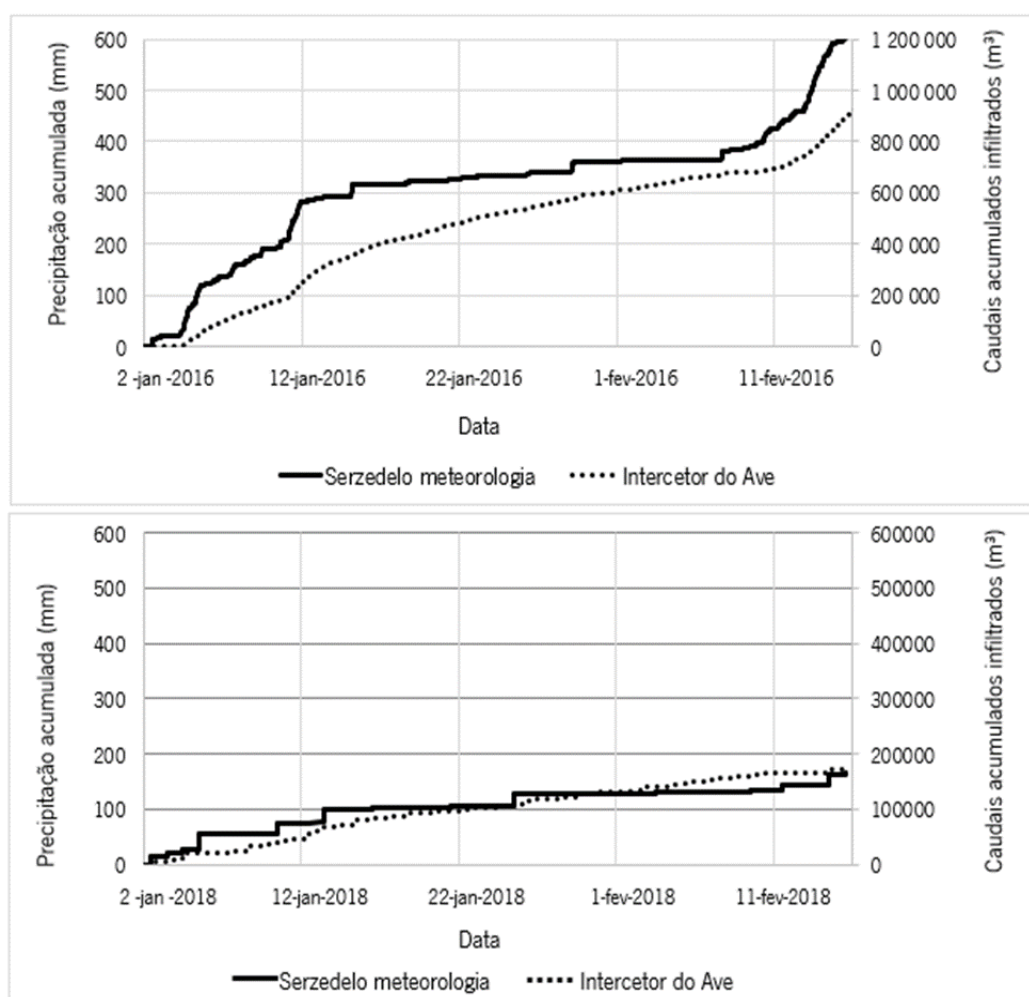


Figura 4-60: Precipitação e volumes infiltrados acumulados durante dois períodos intensos de precipitação ocorridos no Intercetor do Ave.

A infiltração começa no início do evento de precipitação, essencialmente pela entrada direta na rede de águas oriundas de ligações ilícitas de águas pluviais, problemas que ocorrem preponderantemente em meio urbano, nomeadamente nos sistemas em baixa. Quando o primeiro evento de precipitação termina, o volume infiltrado continua a subir, o que pode ser associado à infiltração base do aquífero. No entanto, a entrada de águas pluviais nas redes de drenagem de águas residuais é inequivocamente a principal razão para o rápido aumento de volumes infiltrados durante os eventos de precipitação. Durante o primeiro evento, o volume infiltrado, resultante dos eventos de precipitação durante o período mencionado, atingiu cerca um milhão de m<sup>3</sup> (o que representa um custo de tratamento de cerca de 270.000 €, considerando o custo unitário atual do tratamento, sendo que este varia em função da ETAR) e cerca de 200.000 m<sup>3</sup> transportados no segundo evento (54.000 € para custos de tratamento). Se no primeiro caso, a rede não tem capacidade para transportar os volumes totais para a ETAR, sendo estes descarregados diretamente para o rio (representando um custo ambiental) e/ou em diferentes pontos da rede, no segundo caso esses volumes poderão ser totalmente tratados na ETAR. Parte desses volumes são medidos e o custo associado é assumido pelos municípios, que são os clientes da entidade gestora encarregue por operar o sistema, os restantes são assumidos pela entidade gestora.

A partir desses resultados, surge a necessidade de gerir adequadamente os volumes infiltrados durante os eventos de precipitação que envolvem volumes consideráveis de água. Isto pode ser conseguido criando reservatórios de águas residuais de armazenamento temporário e / ou distribuindo os caudais de entrada para as diferentes ETAR. Outra possibilidade na gestão destes volumes infiltrados é localizar os principais pontos de descarga e em função dos caudais dos rios, avaliar a capacidade de autodepuração dos mesmos criando pontos de descarga controlados.

A correção das AI na rede de drenagem e a estimativa de volumes pluviais infiltrados fornecem as condições necessárias para simular adequadamente as descargas e os níveis de água ao longo da rede de interceptores usando o modelo hidrodinâmico. Este modelo foi aplicado para analisar as câmaras de visita mais vulneráveis a derrames durante eventos de precipitação intensa e decidir os locais mais adequados para instalar descargas controladas, evitando descargas em áreas urbanas

O desempenho do modelo foi quase perfeito (coeficiente de determinação de 0.95) na simulação dos níveis de água, conforme foi apresentado na figura 4-40 b)), numa simulação de um mês com dados com resolução horária para o interceptor de Nespereira.

Simulações envolvendo outros períodos correspondentes a eventos de chuva intensa foram realizadas para identificar os interceptores/ câmaras de visita mais vulneráveis (figura 4-61 a e c)) e ainda locais alternativos para descargas controladas (figura 4-61 b e d) também foram testados no modelo, com suporte do *software* SWMM (figuras 4-61 a e b) e pelo SOBEK (figuras 4-61 c e d), respetivamente. Essas alternativas mostraram uma melhoria significativa nas condições de descarga. Portanto, tanques temporários de armazenamento (figura 4-61 b e d) podem ser uma solução viável, assim como descargas controladas em meio hídrico, sendo para esta necessária uma análise mais exaustiva, nomeadamente à aferição da capacidade de autodepuração das linhas de água. Estas soluções permitirão um incremento no desempenho operacional do sistema.

A análise apresentada na figura 4-61 é referente ao interceptor de Nespereira. A mesma análise foi efetuada para os interceptores de Vizela e Ave, sendo estes remetidos para anexos (4 e 5). Os modelos obtidos através do *software* SWMM e SOBEK demonstraram comportamentos semelhantes, pelo que neste sentido nos anexos (de forma a minimizar a quantidade resultados) apresentar-se-ão resultados através do *software* SOBEK, tanto para o interceptor de Vizela como do Ave.

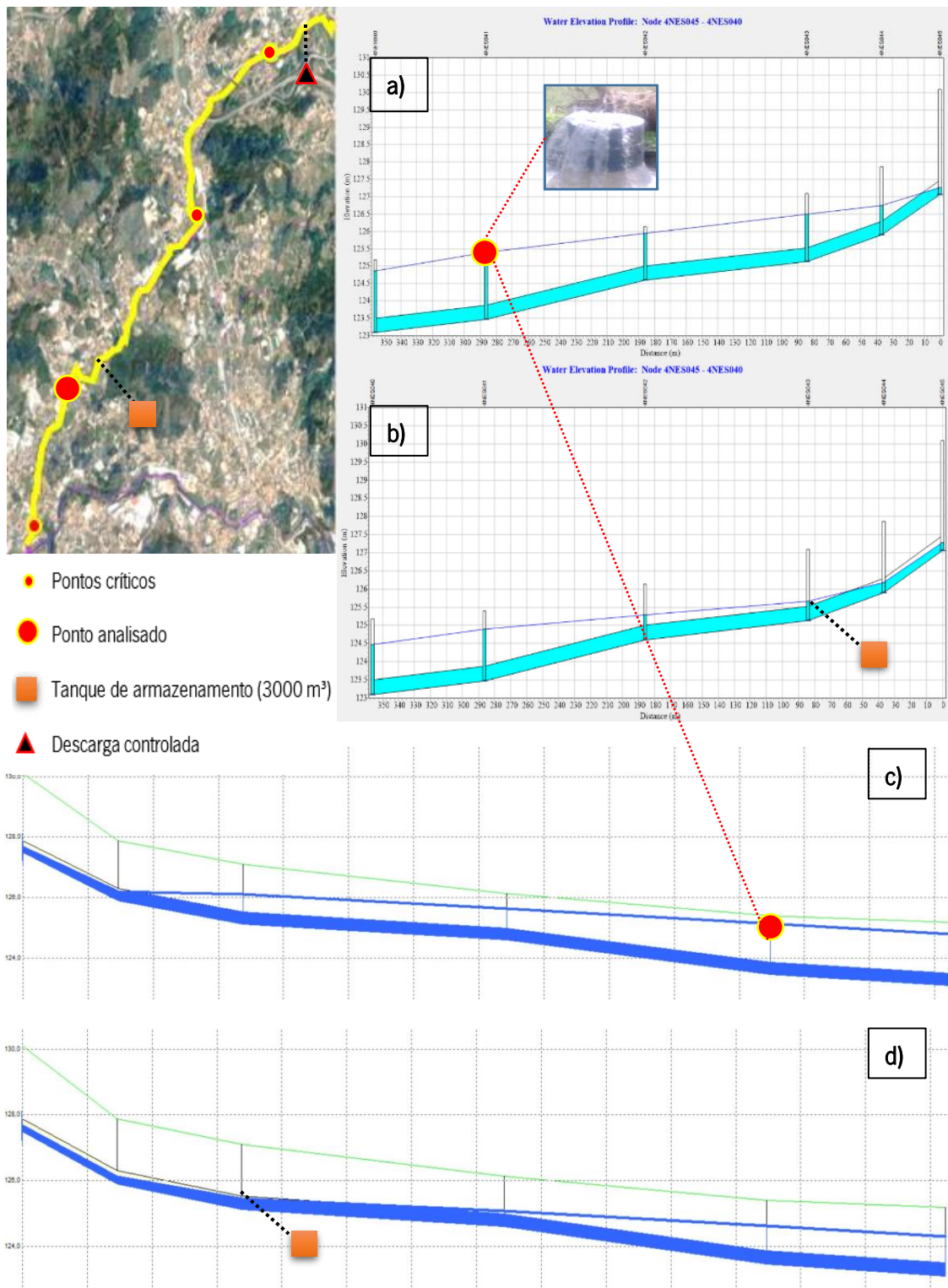


Figura 4-61: Simulação hidrodinâmica - Nespereira: a e c) simulação em cenário de 9mm ocorridos numa hora – ‘status quo’, identificando um ponto de derrame através do SWMM (a) e Sobek (c) e em b e d) dimensionamento de um tanque de armazenamento, evitando derrames (SWMM (b) e Sobek (d)).

Poderá considerer-se viável, analisando o impacto na qualidade da água do meio recetor, que se façam descargas controladas onde o custo ambiental será, eventualmente, bastante reduzido. Outro

cenário (figura 4-61 b e d)) é o dimensionamento de tanques de armazenamento temporário. No caso do Intercetor de Nespereira para cenários de 9mm/h durante um período de 6h um tanque com capacidade de 3000 m<sup>3</sup> resolveria o problema e seria de fácil implementação no local sugerido na figura. Não obstante, a aplicação destes órgãos nem sempre é viável, devido aos grandes volumes infiltrados (sem possibilidade de execução em local apropriado) e ser uma opção, recorrentemente dispendiosa, sendo as descargas controladas uma solução aceitável e que já se encontra a ser implementada em diversos pontos da rede. Solução que já se encontra a ser implementada com autorização (licença de construção) da entidade legisladora que é a APA (agência portuguesa do ambiente).

As **ferramentas de controlo em tempo real** foram utilizadas para o dimensionamento de um controlador automático.

Para além do incremento operacional no sistema intercetor, nomeadamente a melhoria nos efluentes transportados que resulta do conhecimento obtido pelo SAD desenvolvido, o controlo automatizado das estações elevatórias começa também a ser avaliado tendo por base simulações realizadas com o modelo hidrodinâmico e controladores desenvolvidos para este efeito. Na verdade, existem duas possibilidades diferentes para gerir volumes infiltrados:

(i) criar reservatórios de armazenamento temporário de águas residuais;

(ii) distribuir os caudais de entrada para diferentes ETAR. Esta última possibilidade pode ser implementada durante toda a operação de uma estação elevatória. Com efeito, a configuração do sistema permite bombear ou desviar para uma ETAR a jusante os volumes de águas residuais recebidos na ETAR de Lordelo.

Assim, foi desenvolvido um controlador PI para automatizar a operação do sistema de elevação da ETAR de Lordelo com base nas medições de entrada de nível de água. Na figura 4-62 apresenta-se o esquema concetual do problema de controlo estudado.

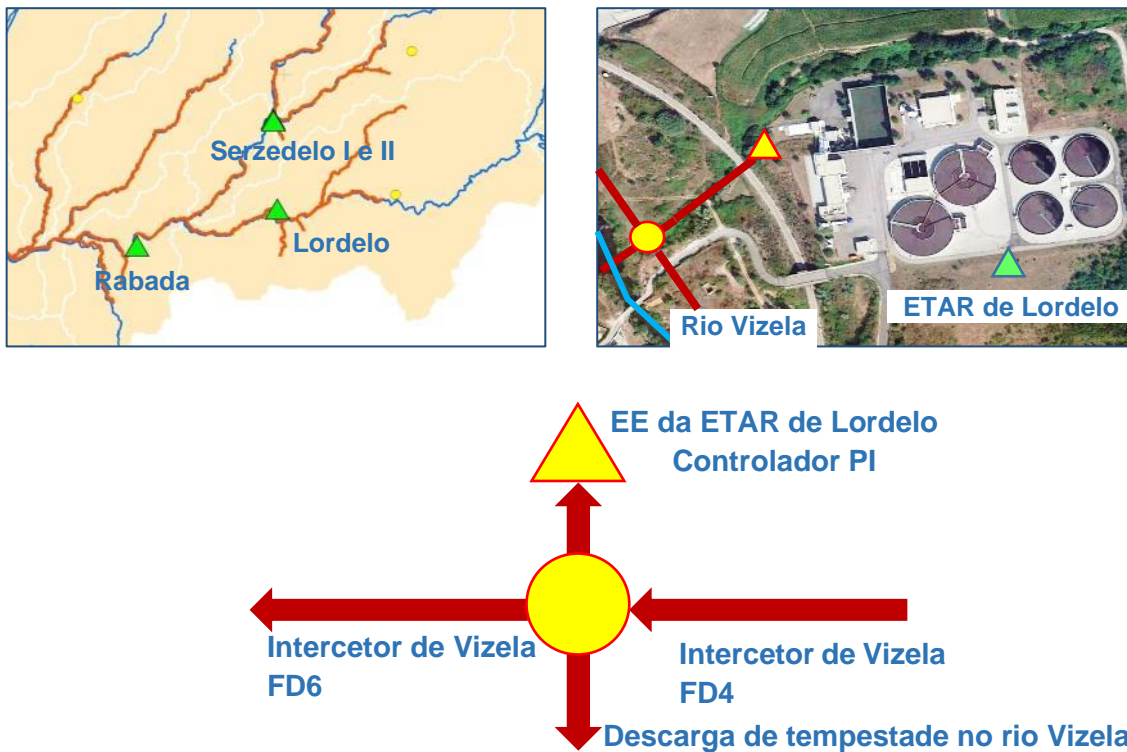


Figura 4-62: Esquema concetual do problema de controlo analisado.

A figura 4-62 apresenta a ETAR de Lordelo que recebe a totalidade do efluente transportado pelo sistema interceptor do Vizela FD4. À chegada à ETAR existe uma câmara repartidora de caudal que permite gerir caudais:

- Possibilidade de tratar a totalidade do efluente em Lordelo;
- Avaliar a capacidade de tratamento da ETAR de Rabada (a jusante) e enviar caudais para esta ETAR onde o custo de tratamento é mais baixo e de forma gravítica;
- Em caso de precipitação extrema enviar para meio hídrico.

É inequívoco que a melhor solução operativa consiste no desvio de volumes de efluentes para a ETAR de Rabada. A capacidade máxima de tratamento da ETAR de Rabada é conhecida em tempo real, podendo assim avaliar-se o volume de efluente máximo possível a desviar da ETAR de Lordelo.

O volume a enviar depende do nível permitido no tanque repartidor na ETAR de Lordelo. Assim, foi definido um controlador PI tendo por base a informação disponível (novembro de 2018 a janeiro de 2019) de exploração do sistema que permite automatizar o desvio de caudais para a ETAR de Rabada.

Na figura 4-63 apresentam-se os resultados de teste do controlador definido recorrendo ao modelo da rede, considerando uma simulação de 4 dias de operação com resolução de um minuto. São

apresentados resultados de caudais elevados (figura 4-63 a)), caudais desviados para a ETAR de Rabada a jusante (figura 4-63 b)) e nível de água no tanque repartidor (figura 4-63 c)). Os resultados obtidos mostram que o controlador automático desenvolvido permite operar o sistema com resultados semelhantes aos procedimentos manuais, o que permite melhorar o desempenho na gestão operacional deste sistema.

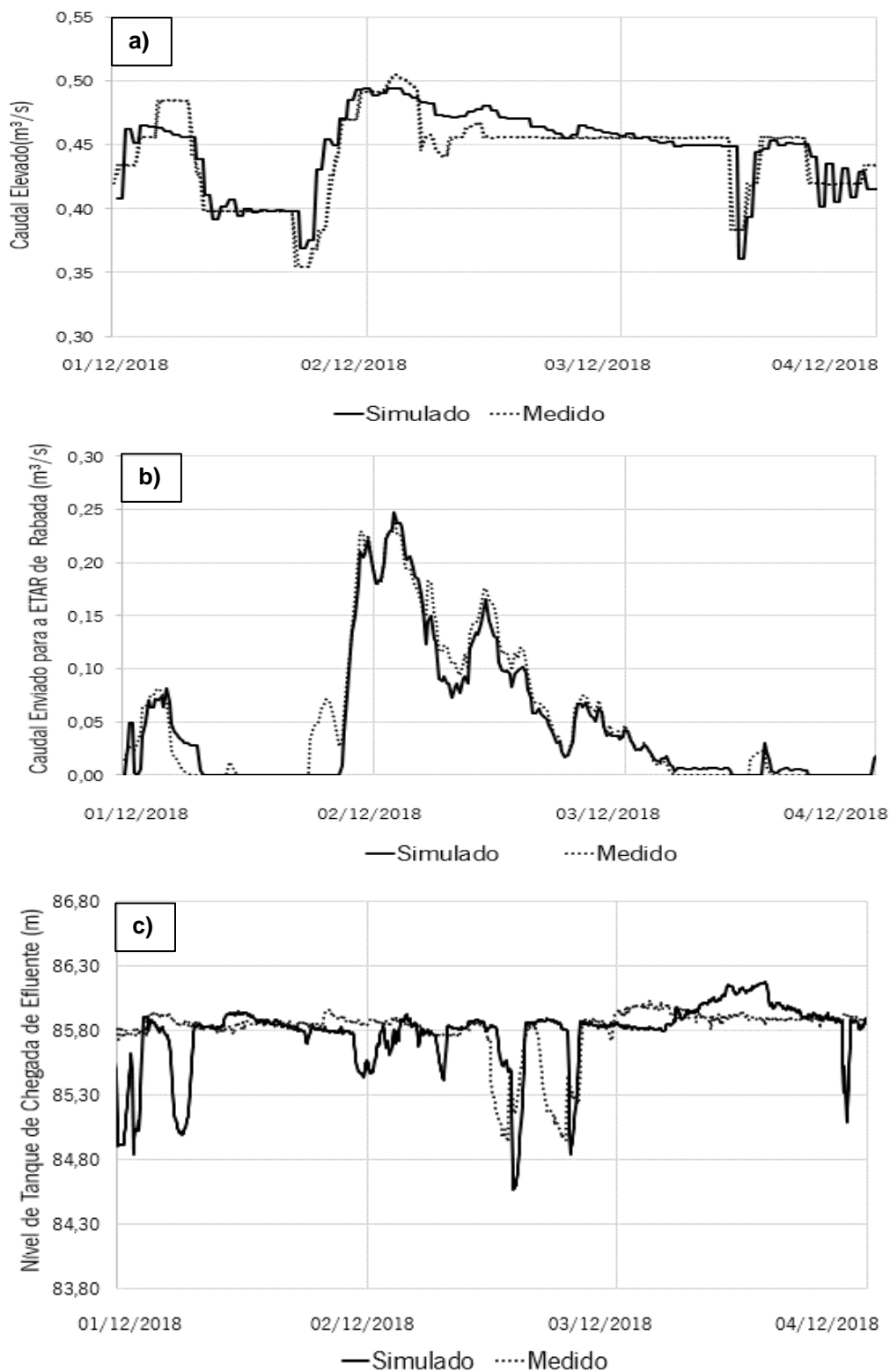


Figura 4-63: Resultados do controlador PI comparativamente com operação manual.



O trabalho desenvolvido focou-se essencialmente no desenvolvimento de estratégias suportadas por tecnologias informáticas avançadas e técnicas de controlo para apoiar as decisões de gestão operacional no sistema de recolha e tratamento de águas residuais na bacia do rio Ave. Adotou-se uma perspetiva holística que compreende o ciclo urbano da água, desde a medição das precipitações, avaliação dos volumes infiltrados/indevidos, a avaliação da capacidade instalada de transporte, armazenamento e tratamento e, finalmente, os impactos das diferentes alternativas de transporte / tratamento das águas recetoras, avaliadas pelo modelo de qualidade da água do rio.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

---

### 5.1 Conclusões

O trabalho apresentado, pioneiro a nível nacional e ainda raro em termos internacionais, permitiu aumentar consideravelmente o desempenho económico e ambiental da entidade responsável pela operação de um conjunto de infraestruturas de tratamento e drenagem complexos. Pela primeira vez, desenvolveram-se e aplicaram-se ferramentas hidroinformáticas para a gestão operacional de um conjunto de infraestruturas de drenagem na bacia do rio Ave. Esta tese apresenta, deste modo, um relevante contributo para a digitalização dos sistemas de drenagem de águas residuais através da solução de monitorização contínua desenvolvida e do sistema de suporte à decisão criado.

A integração de diferentes tecnologias e ferramentas hidroinformáticas foi conseguida com sucesso como se pode comprovar pelo protótipo de sistema de suporte à decisão criado e cuja aplicação e utilização ficou demonstrada através dos múltiplos resultados conseguidos.

Foram diagnosticadas as causas responsáveis pelas afluências excessivas durante eventos de precipitação, resultando de forma clara que afluem à rede de recolha de águas residuais domésticas e industriais importantes volumes de águas pluviais provenientes das redes secundárias ligadas à rede principal e que foram quantificados neste trabalho. A análise simultânea de medições de precipitação e hidrogramas medidos na rede principal permite antecipar como a sua origem provável, sistemas de recolha e drenagem de águas pluviais indevidamente ligados à rede de águas residuais domésticas e industriais (ver figura 4-60).

Constatou-se que a informação cadastral disponível para a gestão e operação das infraestruturas apresentava lacunas importantes e que só o investimento na sua adequada atualização permitiu prosseguir com a implementação do SAD. A manutenção deste tipo de infraestruturas deve ser uma preocupação constante que deverá merecer a maior atenção por parte das entidades reguladoras e

operadores responsáveis. Os trabalhos de campo conjugados com a exploração da informação gerada pelo SAD permitiram detetar e corrigir um conjunto significativo de situações anómalas.

A informação e a sua respetiva atualização devem constituir uma preocupação primordial por parte das entidades responsáveis pela gestão e operação dos sistemas de drenagem. A digitalização das infraestruturas de drenagem deverá ser suportada por bases de dados georreferenciados acessíveis através de tecnologias SIG, necessitando dos contributos acrescidos de tecnologias SCADA ou equivalentes quando se pretende dispor de dados em tempo real medidos por redes de sensores instalados nas infraestruturas. O desempenho na gestão e operação é melhorado se a informação fica disponível através de dispositivos móveis quer com acesso à rede Internet quer sem esse acesso, tal como verificado no sistema de informação criado no âmbito do trabalho desenvolvido.

A jusante de uma base de informação robusta, a disponibilização da capacidade de simulação dos processos complexos associados à hidrologia, hidrodinâmica e qualidade da água na rede de transporte e nos meios recetores, permite testar com um custo relativamente baixo diferentes alternativas de operação e avaliar eventuais impactos de operação deficiente dos sistemas de drenagem e tratamento. Foi possível calibrar um modelo hidrológico do rio Vizela, e um modelo hidrodinâmico da rede de drenagem com o trabalho desenvolvido. Estes modelos permitem realizar simulações em modo *hindcast* e *forecast*, essenciais para realização de diagnósticos de disfunções do sistema e antecipação de situações anómalas com a consequente adoção de medidas de mitigação dos impactos esperados. Foram já detetadas 16 ligações indevidas e evitados um número elevado de derrames indesejados durante a fase de desenvolvimento do SAD.

Os resultados preliminares obtidos com o modelo de qualidade da água dos rios Ave e Vizela permitem antecipar um impacto considerável em termos de poluição bacteriológica e aceitável em termos de poluição por matéria orgânica nos diferentes cenários analisados. O conjunto de resultados obtidos permite concluir que as tecnologias introduzidas como auxílio a gestão operacional podem ser muito úteis tanto no controlo da qualidade das águas superficiais recetoras de descargas de águas residuais como no apoio à gestão de sistemas de tratamento de águas residuais, permitindo às entidades gestoras prever o impacto causado pelas descargas de efluentes em meio hídrico, em diferentes cenários de exploração destas infraestruturas.

A plataforma FEWS permitiu aceder, integrar e processar um conjunto de informação relevante que constitui uma mais valia para os operadores do sistema, salientando-se o acesso a resultados de modelos de previsão meteorológica. Destes, as previsões de precipitação permitem, por exemplo, antecipar a programação de intervenções das equipas de manutenção sempre que as condições meteorológicas assim o exigem. Foi ainda possível integrar informação histórica relativa a estimativas contínuas de precipitação na bacia do rio Ave, processada a partir de dados de radar meteorológico. A partir das medições de refletividade obtêm-se estimativas de precipitação. Estas estimativas apresentam uma elevada correlação com os valores medidos (coeficiente de correlação de 0.97), depois do ajuste dos parâmetros utilizados na equação de transformação.

A avaliação da incerteza associada aos resultados de previsões dos modelos WRF, GFS e GEFS para diferentes horizontes de previsão (de um a quatro dias) permitiu concluir que o modelo WRF apresenta o melhor desempenho. O erro relativo das precipitações diárias é da ordem de 10% para o modelo WRF para horizontes de dois dias, mas sobe para valores entre 30% a 40% para horizontes de quatro dias nas três fontes de previsão analisadas. Salienta-se o interesse do sistema implementado do ponto de vista operacional, ao permitir antecipar com antecedência de dois dias eventos extremos com um nível de incerteza razoável.

É possível obter a partir dos dados de monitorização contínua padrões diários de variação dos caudais transportados nos coletores em tempo seco e em tempo húmido. Estes padrões permitem conhecer em tempo real, o estado de funcionamento do sistema de drenagem e emitir alarmes sempre que o funcionamento se desvia dos padrões normais. O volume transportado nos interceptores chega a duplicar para determinados eventos de precipitação.

Com o sistema de informação criado e recorrendo a técnicas de controlo operacional de estruturas hidráulicas é possível automatizar o respetivo funcionamento, conforme demonstrado com o controlador implementado para uma estação elevatória.

A ferramenta de apoio à decisão desenvolvida para a bacia do Rio Ave constitui uma plataforma tecnológica robusta e eficiente para apoio à gestão de recursos hídricos. Os resultados obtidos mostram que esta nova ferramenta será extremamente eficaz e importante para atingir os objetivos da gestão operacional à escala da bacia hidrográfica. Nos próximos anos, a utilização deste tipo de ferramentas avançadas de controlo operacional será um requisito essencial para todas as entidades responsáveis pela gestão de recursos hídricos, sendo que cada vez mais, gerir este tipo de recursos se torna mais

desafiante e complexo. Este tipo de ferramentas poderão ser uma solução imperiosa. Além disso, uma vez que as autoridades responsáveis pela gestão de recursos hídricos decidirem utilizar este tipo de ferramenta de gestão, evidenciarão, de forma inequívoca, uma melhoria nas capacidades de análise, bem como um fortalecimento tecnológico, permitindo a adoção de uma gestão mais sustentável das políticas da água.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Ao longo do desenvolvimento do trabalho foram inúmeras as perspectivas de se iniciarem novas tarefas, como é usual acontecer com um trabalho pioneiro. No entanto, por limitações de ordem diversa não puderam ser efetivadas. Dessas tarefas, salientam-se as seguintes para desenvolvimentos futuros:

- Completar a aquisição de dados de campo para calibração dos modelos implementados, estendendo a variáveis de qualidade da água nos rios;
- Desenvolvimento de outro tipo de controladores e/ou modelos de gestão operacional, nomeadamente modelos avançados de previsão e controlo (MPC) que incluam algoritmos de otimização;
- Incluir na plataforma FEWS os dados de medição de precipitação por sensores em satélite e operacionalizar e automatizar as simulações com o modelo hidrológico, modelo da rede e o modelo hidrodinâmico e de qualidade da água dos rios Ave e Vizela na referida plataforma;
- Estudar e definir soluções inovadoras de gestão das águas residuais atualmente descarregadas em períodos de precipitação intensa, de modo a minimizar os impactos nos meios recetores;
- Avaliar o potencial de utilização das águas residuais tratadas quer utilizando o sistema de transporte instalado (rede e leitos fluviais) quer sistemas de transporte a instalar;
- Replicar a abordagem desenvolvida a diferentes sistemas de SAR e outras bacias hidrográficas.

## LISTA DE REFERÊNCIAS E RECURSOS WEB

---

- AMIN, M., MASELENO, Andino, K., Shankar, PERUMAL, Eswaran, VIDHYAVATHI, R.M. e SK, Lakshmanaprabu (2018). Active Database System Approach and Rule Based in the Development of Academic Information System. *International Journal of engineering & Technology*, **7**(2.26), 95-101.
- AMORIM, Hélder António Alves de (2007). *Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Dissertação de Mestrado. FEUP, Porto. 117pp.
- ANASTÁCIO, Rita, OOSTERBERK, Luíz e ROSINA, Pierluigi (2015). Gestão integrada do território e do património: a importância dos sistemas de informação geográfica. *SÉMATA, Ciências Sociais e Humanidades*, **27**, 187-197.
- ANDERSON R.M., KOREN V.I. e REED, S.M. (2006) Using SSURGO data to improve Sacramento model a priori parameter estimates. *Journal of Hydrology*, **320**(1), 103–116.
- ARHN (2015). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Ave, Cávado e Leça (RH2). Relatório Técnico. Administração da Região Hidrográfica do Norte, I.P. Porto. Disponível em: <https://apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=834> (Acedido em 11 de maio de 2016).
- AUSTIN, P.M. (1987). Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Monthly Weather Review*. **115**, 1053-1071.
- BARRACK II, W., TRAVIS, J., SHELTON, J. e HAROLD, E. (2016) Inflow and Infiltration Analysis Innovations –Evaluating Actual Reduction of Rainfall Derived Inflow and Infiltration using Control Basin and Hydraulic Modeling Methods. *Proceedings of the WEF Collections Systems Conference 2016; Atlanta, Georgia, May 1-4; Water Environment Federation, Alexandria, Virginia*.
- BAZZOTTI, Cristiane e GARCIA, Elias (2006). A importância do sistema de informação gerencial na gestão empresarial para tomadas de decisões. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/csaemrevista/article/view/368> (Acedido em 4 de maio de 2019).
- BEVEN, K. (1993). Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling - *Advances in Water Resources*, **16**(1), 41-51.
- BEVEN, K. (2001). How far can we go in distributed hydrological modelling? *UK: Hydrology and Earth System Sciences*, **5**(1), 1-12.
- BONITO, António Cordeiro (2014). *INFILTRAÇÕES NA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses*. Dissertação de Mestrado. FEUP, Porto. 169 pp.

- BOUARAFA, Sofia, LASSABATERE, Laurent, LIPEME-KOUYI, Gislain e ANGULO-JARAMILLO, Rafael (2019). Hydrodynamic Characterization of Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) by Using Beerkan Infiltration Experiments. *Water*, **11**, 660; doi:10.3390/w11040660
- BRAUD, I., Fletcher, T.D. e Andrieu, H.(2013) Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modelling. *Journal of Hydrology*, **485**, 1-4.
- BROWN, Casey, LUND, Jay, REED, Patrick, ZAGONA, Edith, OSTFELD, Avi, HALL, Jim, CHARACKLIS, Gregory, YU, Winston e BREKKE, Levi (2015). The future of water resources systems analysis: Toward a scientific framework for sustainable water management. *Water Resources Research*, **51**, 6110-6124.
- BURTON, F.L. e TCHOBANOGLIOUS, G. (2000). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill, Nova Iorque.
- BUTLER, D., e SCHUTZE, M. (2005). Integrating simulation models with a view to optimal control of urban wastewater systems. *Environmental Modelling & Software*, **20**(4), 415-426.
- BUTTS, Michael, PAYNE, Jeffrey, KRISTENSEN, Michael e MADSEN, Henrik (2004) An evaluation of the impact of model structure on hydrological modelling uncertainty for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, **298**, 242-266.
- CAMPISANO, A., PLE, J., MUSCHALLA, D., PLEAU, M. e VANRROLLEGHEM (2013). Potential and limitations of modern equipment for real time control of urban wastewater systems. *Urban Water Journal*, **10**(5), 300-311.
- CÂNDIDO, João Ricardo Souteiro (2013). *Modelação Dinâmica de Sistemas de Drenagem em Meio Urbano*. Dissertação de Mestrado. FCT – UNL, Lisboa. 125 pp.
- CARDOSO, A., PRIGIOBBE, V., GIULIANELLI, M., BAER, E., BÉNÉDITTIS, J. D. e COELHO, S. T. (2005). Assessing the Impact of Infiltration and Exfiltration in Sewer Systems Using Performance Indicators: Case Studies of the APUSS Project. 10ª Conferência Internacional de Saneamento, Copenhaga, Dinamarca.
- CASTRO, Angélica, SOUTO, Michael, AMARO, Venerando e VITAL, Helenice (2003). Desenvolvimento e aplicação de um banco de dados geográficos na elaboração de mapas da morfodinâmica costeira e sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em áreas costeiras localizadas no estado do Rio grande do norte. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(2), 53-64.
- CAVALLINI, Paolo (2010). Free GIS desktop and analyses: QuantumGIS, the easy way. *The Global Geospatial Magazine*. Disponível em: <https://www.geospatialworld.net/article/free-gis-desktop-and-analyses-quantumgis-the-easy-way/> (Acedido em 14 de junho de 2019).
- CELESTE, Alcigeimes e CHAVES, Vanessa Silva. (2014) Avaliação de Algoritmos de Otimização e Funções Objetivo para Calibração Automática Do Modelo Chuva-Vazão. *Ciência e Natura*, **36**(3), 527-537.

- CEMBRANO, G., QUEVEDO, J., PUIG, V., PÉREZ, R., FIGUERAS, J., VERDEJO, J. M., ESCALER, I., RAMÓN, G., BARNET, G., RODRÍGUEZ, P. e CASAS, M. (2011) PLIO: a generic tool for real-time operational predictive optimal control of water networks. *Water Science and Technology*, **64** (2), 448–459.
- Chapra, S. C. (1997). *Surface Water-Quality Modeling*. McGraw-Hill.
- CHEN, Lina, HAN, Longxi, LING, Hong, WU, Junfeng, TAN, Junyi, CHEN, Bo, ZHANG, Fangxiu, LIU, Zixin, FAN, Yubo, ZHOU, Mengtian e LIN, Youren 2019. Allocating Water Environmental Capacity to Meet Water Quality Control by Considering Both Point and Non-Point Source Pollution Using a Mathematical Model: Tidal River Network Case Study. *Water*, **11**, 900; doi:10.3390/w11050900
- CHURCHILL, M.A., ELMORE, H.L. e BUCKINGHAM, R.A (1962). The prediction of stream reaeration rate. *Journal Sanitary Engineering Division, ASCE*, **88** (4), 1-46.
- COELHO, Inês Isabel Ribeiro (2013) - *Variabilidade de aflúências às redes de drenagem de águas residuais causas e efeitos versus sustentabilidade económica um caso de estudo*. Dissertação de Mestrado. FEUP, Porto. 183 pp.
- COROMINAS, L. L., RIEGER, L., TAKÁCS, I., EKAMA, G., HAUDUC, H., VANROLLEGHEM, P. A., OEHMEN, A., GERNAEY, K. V., VAN Loosdrecht, M. C. e COMEAU, Y. (2010) New framework for standardized notation in wastewater treatment modelling. *Water Science and Technology*, **61** (4), 841–857.
- COUTO, Celso Affonso (2018). *Integração entre os sistemas balanced scorecard e enterprise resource planning na indústria atual e na indústria 4.0*. Tese de Doutorado. Universidade Paulista, São Paulo. 218 pp.
- CREACO, E., CAMPISANO, A. e MODICA, C. (2018). Testing behavior and effects of PRVs and RTC valves during hydrant activation scenarios. *Urban Water Journal*, **15**(3), 218-226.
- CRC (2004). User Guide: From Rainfall Runoff Library. Disponível em: [www.toolkit.net.au/rrl](http://www.toolkit.net.au/rrl) (acedido em 21 de dezembro de 2017).
- DANIELMIESSLER (2016). Disponível em: <https://danielmiessler.com/study/ics-scada/> (Acedido em 2 de junho de 2019).
- DAWLEY, Shawn, ZHANG, Yong, LIU, Xiaoting, JIANG, Peng, TICK, Geoffrey, SUN, HongGuang, ZHENG Chunmiao e CHEN, Li (2019). Statistical Analysis of Extreme Events in Precipitation, Stream Discharge, and Groundwater Head Fluctuation: Distribution, Memory, and Correlation. *Water* **11**, 707; doi:10.3390/w11040707
- DELFT3D (2017). Disponível em: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d> (Acedido em 8 de maio de 2017).
- DELTARES. (2011). SOBEK - *Reference Manual*. Delft. Deltares. Delft Hydraulics, Netherlands.



- DELTARES (2017). *RTC-Tools Technical Reference User Manual – Software Tools for Modelling Real-Time Control*. Deltares. Netherlands. Disponível em: <https://www.deltares.nl/en/software/rtc-tools/> (Acedido em 17 de novembro de 2017).
- DELTARES (2018). *Delft-FEWS Configuration Guide*. Netherlands. Disponível em: <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSDOC/Delft-FEWS+Configuration+Guide> (Acedido em 12 de fevereiro de 2018).
- DHONDIA, Juzer, TYRELL, Deborah, TWIGT, Daniel e DUNHILL, Ian. (2014). Prediction And Dissemination Of Bathing Water Quality In England And Wales – A Pilot Study. *11th International Conference on Hydroinformatics* (pp. 1-7). New York, USA: CUNY Academic Works.
- DR 191/93 (1993) - Decreto Regulamentar N° 191/93, de 24 de Maio.
- DR N° 23/95 (1995) - Decreto Regulamentar N° 23/95, de 23 de Agosto.
- DL N° 236/98 (1998) – Decreto-Lei N° 236/98, de 1 de Agosto.
- DR N° 58/2005 (2005) - Decreto Regulamentar N° 58/2005, de 29 de Dezembro.
- DRAKE, James, YOUNG, Mark e STUER, Michael (2009). Lowell's Experience with Real-Time Remote Control to Reduce Overflows. *Proceedings of the Water Environment Federation*, **18**, 235-253.
- DUARTE, A. A. L. S. FERREIRA, C. V. RAMÍLIO, P. J. P. e RODRIGUES, D. S. (2016). Modelação e avaliação da qualidade da água em sistemas hidricos urbanos. O caso da ribeira de couros, em Guimarães (PORTUGAL). *7º Congresso Luso-brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*, Brasil.
- DUONG, Toan, DO, Duc e YASUHARA, Kazuya (2019). Assessing the Effects of Rainfall Intensity and Hydraulic Conductivity on Riverbank Stability. *Water*, **11**, 741; doi:10.3390/w11040741
- EPA. Environmental Protection Agency of United States. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (Acedido em 4 de outubro de 2016).
- FAIR, GEYER e OKUN (2010). *Water and Wastewater Engineering: Water Supply and Wastewater Removal*. John Wiley & Sons, Inc. 3rd Edition.
- FARIA, Rita e PEDROSA, António. (2005). Aplicação SIG na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do Rio Uíma – Santa Maria da Feira. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, (1-13)*, Universidade de São Paulo, Brasil.
- FEITOSA, R.C; ROSMAN, P.C.C.; CARVALHO, J.L.B; CORTES, M.B.V e WASSERMAN, J.C. (2013) Comparative Study of Fecal Bacterial Decay Models for the Simulation of Plumes of Submarine Outfalls. *Water Science & Technology*, **68** (3), 622-631.

- FERREIRA, António Paulo Gonçalves F. (2007) *Sensibilidade às parametrizações físicas do WRF*. Relatório de Estágio em Meteorologia e Oceanografia Física. Universidade de Aveiro - Departamento de Física, Aveiro. 125 pp.
- FERREIRA, Filipa (2006). *Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico, Lisboa. 478pp.
- FERREIRA, João (2016). *Sistema de Previsão e Alerta de Cheias e Inundações para as bacias dos rios Selho e Este*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Guimarães. 136pp.
- FERREIRA, Paulo César Morgado (2014). *Modelação Dinâmica de Sistemas de Drenagem Urbana. Aplicação a um caso de estudo*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. 159pp.
- FLEMING, N., EDGER, M., O'KEEFFE, C., Grant, J. e HAND, M. (2004). *Greater Dublin Strategic Drainage Study*. Disponível em: <http://www.greaterdublindrainage.com/wp-content/uploads/2011/11/GDSDS-Final-Strategy-Report-April-051.pdf> (Acedido a 21 de setembro de 2018).
- FLETCHER, T., ANDRIEU, H., e HAMEL, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters. *Advances in Water Resources*, **51**, 261–279.
- FLUKE (2019). Disponível em: <https://www.fluke.com/pt-pt/produto/camaras-de-imagens-termicas/ti95> (Acedido em 2 de março de 2019).
- FRICKE, Katja, HOPPE, Hoger, HELLMIG, Maren (2016). 10 years spectrometry based P-RTC in Wuppertal - experiences and enhancements. Disponível em: <http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/60461/2C43-163FRI.pdf> (Acedido em 19 de setembro de 2018).
- FUCHS, L., & BEENEKEN, T. (2005). Development and implementation of a real-time control strategy for the sewer system of the city of Vienna. *Water Science and Technology*, **52**(5), 187–194.
- GALVÃO, Ana Fonseca., 2009. "Comportamento Hidráulico e Ambiental de Zonas Húmidas Construídas Para o Tratamento de Águas Residuais", Lisboa: IST. 394 pp.
- GATTERDAM, M., & JONHNSON, R. (2016). Operating a Collection System like a Treatment Plant: A Cost Effective Way to Reduce Overflows. *Proceedings of the 89th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference* (pp. 1853-1868(16)). New Orleans, Louisiana: Water Environment Federation.
- GERALDI, Luciana e BIZELLI, José (2016). Tecnologias de informação e comunicação na educação: conceitos e definições. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301229975> (Acedido em: 2 de fevereiro de 2019).
- GOMES, Marco Filipe (2015) - *Variabilidade de aflúncias indevidas às redes de drenagem urbanas. Causas e efeitos. Estratégias de controlo e redução*. Dissertação de Mestrado. FEUP, Porto. 133 pp.

- HAILING, Wang, YONG, Jiang, FANG, Guo, HAOZHENG, Wang e WEI, Xing (2012). Operational state of mixed sewage interception systems based on GIS and online monitoring. *Water & Wastewater Engineering*. 2012(S1), Disponível em [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTotal-JZJS2012S1134.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-JZJS2012S1134.htm) (Acedido em 11 de fevereiro de 2015).
- HALL, A.; HUNT, C. (2016) How to build the biggest hydraulic model in the world. *Proceedings of Urban Drainage Group Autumn Conference & Exhibition: Blackpool, Lancashire, England, July 17–20, 2016*; Chartered Institution of Water and Environmental Management (CIWEM), London, England.
- HAMIL, Thomas, ALCOTT ,Trevor, ANTOLIK, Mark, BROWN, James, CHARLES, Mike, COLLINS, Dan, FRESH, Mark, GILBERT, Kathryn, GUAN, Hong , HERR, Hank, HOGSETT, Wallace, NOVAK, David, OU , Melissa, RUDACK , David, SCHAFFER, Phillip, SCHEUERER, Michael, WAGNER, Geoff, WAGNER, John, WORKOFF, Tom, WEENHUIS, Bruce e ZHU, Yuejian. (2014). A Recommended Reforecast Configuration for the NCEP Global Ensemble Forecast System. *White paper on NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration*. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/people/tom.hamill/White-paper-reforecast-configuration.pdf> (Acedido em 12 de maio de 2016).
- HAROLD, Eric M. *et al.* (2011). *Prevention and Control of Sewer System Overflows*. 3ª edição. WEF – Water Environment Federation. MC GRAW HILL. Nova Iorque.
- HOSSAIN, Sharif, HEWA, Guana e WELLA-HEWAGE, Subhashini (2019). A Comparison of Continuous and Event-Based Rainfall–Runoff (RR) Modelling Using EPA-SWMM. *Water*, **11**, 611; doi:10.3390/w11030611
- HSU, Yu-Charn e LIU, Ko-Fei (2019). Combining TRIGRS and DEBRIS-2D Models for the Simulation of a Rainfall Infiltration Induced Shallow Landslide and Subsequent Debris Flow. *Water*, **11**, 890; doi:10.3390/w11050890
- IPMA. Instituto Português do Mar e Ambiente. Disponível em: <https://www.ipma.pt/en/> (Acedido em 29 de abril de 2016).
- ISACSON, Jonas (2019). *Network Interconnectivity Prediction from SCADA System Data*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Gestão Industrial, KTH Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management, Estocolmo, Suécia.
- JOSEPH-DURAN, B., CARLOS, O.-M., & CEMBRANO, G. (2014). Hybrid modeling and receding horizon control of sewer networks. *Water Resources Research*, **50**, 8497-8514.
- JUNKES, Guilherme (2014). *Evolução da tecnologia da informação e comunicação (TIC) e seus benefícios para as empresas*. Monografia de Curso. Universidade Extremo Sul Catarinense - UNESC, Brasil. 47 pp.

- KAISER, Ilza Machado (2006). *Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Brasil. 399pp.
- KIM, Byunghyun, CHOI, Senh e HAN, Kun-Yeun (2019). Integrated Real-Time Flood Forecasting and Inundation Analysis in Small–Medium Streams. *Water*, **11**, 919; doi:10.3390/w11050919
- KIM, Hyun, KEUM, Ho e HAN, Kun (2019). Real-Time Urban Inundation Prediction Combining Hydraulic and Probabilistic Methods. *Water*, **11**, 293; doi:10.3390/w11020293
- KOREN, V.I., SMITH, M., WANG, D., ZHANG, Z., (2000) Use of Soil Property Data in the Derivation of Conceptual Rainfall-Runoff Model Parameters. American Meteorological Society 15th Conference on Hydrology, Long Beach, CA, January 9-14.
- KROLL, Stefan, WEEMAES, Marjoleine, IMPE, Jan e WILLEMS, Patrick (2018). A Methodology for the Design of RTC Strategies for Combined Sewer Networks. *Water*, **10**, 1675; doi:10.3390/w10111675
- KUBERA, Lukasz, MALECKA-ADAMOWICZ, Marta, JANKOWIAK, Emilia, DEMBOWSKA, Ewa, PERLINSKI, Piotr e HEJZE, Karolina (2019). Influence of Environmental and Anthropogenic Factors on Microbial Ecology and Sanitary Threat in the Final Stretch of the Brda River. *Water*, **11**, 922; doi:10.3390/w11050922
- KURDI, N., K. (2005). *Rancang Bangun Sistem Administrasi Akademik (SIKAD-2004) Berbasis Intranet Untuk Universitas Lampung*. Dissertação de Mestrado em ciências da computação. Universidade de Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonésia
- GARCIA, L., BARREIRO-GOMEZ, J., ESCOBAR, E., TÉLLEZ, D., QUIJANO, N., e OCAMPO-MARTINEZ, C. (2015). Modelling and Real-Time Control of Urban Drainage Systems. A Review. *Advances in Water Resources*, **85**, 120-132.
- LACROIX Sofrel (2016). Disponível em: <https://www.lacroix-sofrel.com/offer/data-logger-lx/sofrel-lt-us/> (Acedido em 2 de fevereiro de 2016).
- LE, Viet Thang, QUAN, Nguyen, LOC, Ho, DUYEN, Nguyen, DUNG, Tran, NGUYEN, Hiep e DO, Quang (2019). A Multidisciplinary Approach for Evaluating Spatial and Temporal Variations in Water Quality. *Water*, **11**, 853; doi:10.3390/w11040853
- LEE, Eui, CHOI, Young e KIN, Joong (2019). Real-Time Integrated Operation for Urban Streams with Centralized and Decentralized Reservoirs to Improve System Resilience. *Water*, **11**, 69; doi:10.3390/w11010069
- LEUTNANT, Dominik, MUSCHALLA, Dirk e UHL, Mathias (2018). Distribution-Based Calibration of a Stormwater Quality Model. *Water*, **10**, 1027; doi:10.3390/w10081027
- LEWIS, R. M., TORCZON, V., & TROSSET, M. W. (2000). Direct search methods: Then and Now. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **124**, 191-207.

- LIMA, João Pedroso, MARTINS Cristina, MENDES, Maria, ABREU, José, ALMEIDA, José, LIMA, João e LIMA, Isabel (2010). Edição: ERSAR – Universidade de Coimbra. Lisboa.
- LOWE, R., VEZZARO, L., STEEN, P., e GRUM., M. (2016). Probabilistic runoff volume forecasting in risk-based optimization for RTC of urban drainage systems. *Environmental Modelling Software*, **80**, 143-158.
- MACHADO, R. B., RAMOS NETO, M. B., PEREIRA, P. G. P., CALDAS, E. F., GONÇALVES, D. A., SANTOS, N. S., TABOR, K., STEININGER, M. (2004). Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. *Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional*, Brasília, Brasil. Disponível em: <http://cmbbc.cpac.embrapa.br/RelatDesmatamCerrado%20CIBrasil%20JUL2004.pdf> (Acedido em 2 de fevereiro de 2017).
- MARQUES, Miguel Ângelo Ferreira. (2010). *Metodologia Para Aplicação dos Princípios do Ciclo de Vida a Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 131pp.
- MARSHALL, J.S. and PALMER, W.McK. (1948). The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, **5**, 165-166.
- MARTENS, G.; RAJAN, R.; MYERS, D.; FAN, H.; MIDGETTE, J.(2016) Hydrologic and Hydraulic Modeling Methods Developed for Philadelphia’s Long-Term CSO Control Program - Green City, Clean Waters. *Proceedings of the WEF Collections Systems Conference 2016; Atlanta, Georgia, May 1-4; Water Environment Federation*: Alexandria, Virginia.
- MARTINHO, R.; VARAJÃO, J.; CUNHA, M.; BALLONI, A. (2014) – Tecnologias e Sistemas de Informação em entidades hospitalares – Dois casos de hospitais portugueses. In Por Que GESITI, GEStão de Sstemas e Tecnologias da Informação em Hospitais – Panoramas, tendências e perspetivas em saúde, Ministério da Saúde do Brasil. (1-12 pp), Brasil.
- MARTINS, José Manuel (2014). *Controlo em tempo real de estruturas hidráulicas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Guimarães. 78pp.
- MENDES, B. e OLIVEIRA, J. F. (2004). *Qualidade de Água para Consumo Humano*. LIDEL, Lisboa.
- MENG, Fanlin, FU, Guangtao e BUTLER, David (2017). Cost-Effective River Water Quality Management using Integrated Real-Time Control Technology. *Environmental Science & Technology*, **51**, 9876-9886, doi: 10.1021/acs.est.7b01727
- METCALF, L., EDDY, H. e TCHOBANOGLIOUS, G. (2004). *Wastewater engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill, Nova Iorque.
- METEOGALICIA. Meteogalicia. Disponível em: <http://www.meteogalicia.es/web/index.action> (Acedido em 20 de abril de 2016).

- MEYER, Marilyn, BABER, Roberta e PFAFFENBERGER, Bryan (2000). *Nosso futuro e o computador*. Edição: Bookman. Porto Alegre, Brasil.
- MOREIRA, Itamar Adilson (2005). *Modelagem Hidrológica Chuva-Vazão Com Dados de Radar e Pluviômetros*. Dissertação de Mestrado. UFP Curitiba, Brasil. 99pp.
- MORGAN, M., HUBBARD, P.; MARTZ, R., MOORE, C., WITTENBERG, M., SHERMAN, B. (2016) Multi-scale Collection System Performance Assessment using the Hampton Roads Regional Hydraulic Model. *Proceedings of the WEF Collections Systems Conference 2016; Atlanta, Georgia, May 1-4*; Water Environment Federation: Alexandria, Virginia.
- MWMO (2019). Disponível em: <https://www.mwmo.org/projects/watershed-modeling/swmm-image-for-webpage/> (Acedido em 22 de maio de 2019).
- NETO, Gervásio, BAYMA, Adriana, NETO, Stefano e MENEZES, Paulo (2015). Análise da susceptibilidade a alagamento na bacia hidrográfica do riacho fundo – Distrito federal por meio de sistemas de informação geográfica – SIG. *Territorium*, **24**, 77-87.
- NOAA (2015). National Centers for Environmental Information (GFS). Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>. (Acedido em 19 de abril de 2015).
- NOAA (2015 a). National Centers for Environmental Information (GEFS). Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-ensemble-forecast-system-gefs> (Acedido em 19 de abril de 2015).
- NOAA (2015 b). National Centers for Environmental Information (CFS). Disponível em: NOAA. National Centers for Environmental Information (GFS). Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>. (Acedido em 21 de abril de 2015).
- OCAMPO-MARTINEZ, Carlos; PUIG, Vicenç; CEMBRANO, Gabriela e QUEVEDO, Joseba. (2013). Application of Predictive Control Strategies to the Management of Complex Networks in the Urban Water Cycle. US: *IEEE Control Systems Magazine*, **33**(1), 15-41.
- O'CONNOR, D.J. e DOBBINS, W.E. (1958). Mechanism of reaeration in natural streams. *Journal Sanitary Engineering Division*. ASCE, **123**, 641-666.
- OLIVEIRA, F. (2000). *Course of Hydraulic Engineering Design*. Center for Research in Water Resources (CRWR), University of Texas at Austin.
- OWENS, M.; EDWARDS, R.W. e GIBBS, J.W. (1964). Some reaeration studies in streams, *International Journal Air Water Pollution*. **8**, 469-486.
- PANISIUK, Oleksandr, HEDSTROM, Annelie, LANGEVELD, Jeroen, LIEFTING, Erik, SCHILPEROORT, Remy, HAAN, Coronelis e VIKLANDER, Maria (2017). Methods for localization and volume estimation of the

infiltration and inflow: Comparative study. " in *Proceedings of 14th IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage, ICUD 2017*, Prague, Czech Republic.

PASQUAL, Ana Lucia K., LIPOSKI, Jhonatan e CORSO, Leandro Luis (2016). Aplicação de Cadeias de Markov para Determinação de Probabilidades de Estados Climáticos na Cidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

PCE-FWS (2017). Disponível em: <https://www.pce-medidores.com.pt/fichas-dados/estacao-meteorologica-pce-fws20.htm> (Acedido em 12 de novembro de 2017).

PENSAAR 2020: Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Águas Residuais 2020. Volumes I a III. Disponível em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=1098> (Acedido a 12 de agosto de 2018).

PEREIRA, A., PINHO, J. L., e FARIA., R. (2016). Rede de monitorização das infraestruturas de drenagem e tratamento geridas pela TRATAVE SA. (Monitoring network of TRATAVE S. A. sewer system and treatment infrastructures). *17º ENASB – Encontro Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental*, (pp. 1-8). Guimarães, Portugal: Livro de Atas da APESB

PEREIRA, A., PINHO, J. L., e FARIA., R. (2017). Sistema de Suporte à Decisão para a Gestão Operacional de Redes de Drenagem em Condições de Incerteza. *ENEG2017 – Encontro Nacional de Entidades Gestoras*, (pp. 1-20). Évora, Portugal: Livro de Atas da APDA.

PEREIRA, A., PINHO, J., FARIA, R., e VIEIRA., J. (2018a). A DSS for operational management of. HIC 2018. *13th International Conference on Hydroinformatics* (pp. 1616-1623). Palermo, Italy: EPiC Series in Engineering.

PEREIRA, A., PINHO, J. L., e FARIA., R. (2018b). An evaluation supported by Delft-FEWS platform of undue inflows in river Ave basin wastewaters. *18ENASB/SILUBESA– Encontro Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental*, página 121 (8 pp.). Porto, Portugal: Bebrightbook - Livro de Atas da APESB.

PEREIRA, A., PINHO, J., FARIA, R., VIEIRA., J. e COSTA, C. (2019a). Improving operational management of wastewater systems. A case study. *Water Science and Technology*, **8** (1), 173-183.

PEREIRA, A., PINHO, J. L., e FARIA., R. (2019b). Otimização de redes de drenagem de águas residuais e de tratamento suportada por ferramentas RTC – O caso de estudo da TRATAVE. *ENEG2019 – Encontro Nacional de Entidades Gestoras*, página 60 (21 pp.). Aveiro, Portugal: Bebrightbook - Livro de Atas da APDA.

PEREIRA, A., PINHO, J. L., e FARIA., R. (2019c). Avaliação das previsões de precipitação dos modelos atmosféricos WRF, GFS e GEFS para a bacia do Ave. *ENEG2019 – Encontro Nacional de Entidades Gestoras*, página 134 (16pp.). Aveiro, Portugal: Bebrightbook - Livro de Atas da APDA.

PESSOA, M.L. (1986). *Modelo hidrológico para previsão de enchentes através de radar meteorológico*. Dissertação de Mestrado. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Brasil. 128pp.



- PINHO, J. L., VIEIRA, J.M., PINHO, R. P., & ARAÚJO, J. P. (2011). Plataforma Web de suporte ao sistema de modelação da rede hidrográfica da bacia do rio Ave. (Web based technological platform to support river basin modelling system). *Revista Recursos Hídricos (Portuguese Water Resources Journal)*, **32** (1), 13-28.
- PINHO, J. L., e VIEIRA., J. M. (2014). A web-based hydroinformatic platform for water quality modelling in a river basin. *11th International Conference on Hydroinformatics* (pp. 1-8). New York, USA: CUNY Academic Works.
- PÖPEL, H.J. (1979). *Aeration and Gas Transfer*. 2. Ed. Delft, Delft University of Technology. 169 pp.
- PORTAL Educação. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/farmacia/a-evolucao-do-ti-ate-os-dias-atuais/56111> (Acedido em 2 de março de 2019).
- POUSA, Raphael, COSTA, Marcos, PIMENTA, Fernando, FONTES, Vitor, BRITO, Vinicius e CASTRO, Marina (2019). Climate Change and Intense Irrigation Growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring. *Water*, **10**, 933; doi:10.3390/w11050933
- PUIG, V. C. (2009). Predictive optimal control of sewer networks using CORAL tool: application to Riera Blanca catchment in Barcelona. *Water Science and Technology*, **60** (4), 869-878.
- QFIELD (2019). Disponível em: <https://qfield.org/> (Acedido em 15 de julho de 2019).
- QGIS (2019). Disponível em: <https://qgis.org/en/site/about/index.html> (Acedido em 12 de janeiro de 2019).
- QUADRO, Mario F. Leal; DIAS, M. Assunção, HERDIES, Dirceu L. e GONÇALVES, Luís Gustavo G. (2012). Análise Climatológica da Precipitação e do transporte de Umidade na Região da ZCAS através da Nova Geração de Reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia* – **27** (2), 152-162.
- RAMAMURTHY, A. (2016) Data Integration – Jefferson County's Journey to Compile, Track, and Report on Key Performance Indicators (KPI). *Proceedings of the 89th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference; New Orleans, Louisiana, Sep 24 – Sep 28; Water Environment Federation: Alexandria, Virginia*.
- REN, Ze, QU, Xiaodong, PENG, Wenqi, YU, Yang e ZHANG, Min (2019). Nutrients Drive the Structures of Bacterial Communities in Sediments and Surface Waters in the River-Lake System of Poyang Lake. *Water*, **11**, 930; doi:10.3390/w11050930
- REZAIÉ-BALF, Nowbandegani, SAJAD, Fani, SAMADI, S., FALLAH, Hossein e ALAGHMAND, Sina (2019). An Ensemble Decomposition-Based Artificial Intelligence Approach for Daily Streamflow Prediction. *Water*, **11**, 709; doi:10.3390/w11040709
- RODRIGUES, Vera de Almeida (2013). *Avaliação de Infiltração em Drenagem Urbana Recorrendo a Métodos Convencionais e não Convencionais. - Aplicação ao Caneiro de Alcântara*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa. 183pp.



- ROMERO, David e VERNADAT, François (2016). Enterprise information systems state of the art. *Journal Computers in Industry*, 79(C), 3-13.
- RWI (2017). Disponível em: <http://rwi.adasistemas.com/delft-fews-a-fully-flexible-and-extendable-data-handling-platform/> (Acedido em 2 de março de 2017).
- SANTOS, Raimundo Nonato (2000). Métodos e ferramentas para gestão de inteligência e conhecimento. *Perspectivas em ciência de informação.*, 5 (2), 205-2015.
- SANTOS, S., MONTEIRO, A., MOURATO, S. e FERNANDEZ, P. (2006) Os sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica. *XII Congresso Nacional de Tecnologias de La Información Geográfica. Granada*, 2006. “El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas”. p. 465-479.
- SARAIVA, Maria da Graça Neto. (1999). *O Rio como paisagem – Gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território*. Edição: Fundação Calouste Gulbenkian – FCT do Ministério da Ciência e Tecnologia, Lisboa.
- SHI, Pengfei, YANG, Tao, YONH, Bin, LI, Zhenya, XU, Chong-Yu, SHAO, Quanxi, WANG, Xiaoyan, ZHOU, Xudong e QIN, Youwei (2019). A New Uncertainty Measure for Assessing the Uncertainty Existing in Hydrological Simulation. *Water*, 11, 812; doi:10.3390/w11040812
- SHISHEGAR, S., DUCHESNE, S., e PELLETIER, G. (2018). Optimization methods applied to stormwater management problems: a review. *Urban Water*, 15 (3), 276-286.
- SCHMIDT, Marcio Augusto Reolon ; SALLA, Marcio Ricardo; CHUERUBIM, Maria Lígia; COSTA, Emiliano Silva (2014). Planejamento e gestão de recursos hídricos: Dificuldades conceituais e de compilação de dados. *Revista Monografias Ambientais*, 13(5), <http://dx.doi.org/10.5902/2236130814701>
- SILVA, Gustavo Rodrigues e MACHADO, Humberto César (2016). Tomada de Decisão em condições meteorológicas adversas. São Paulo: Revista Brasileira de Geografia Física - Vols. 09 n°05; 1335-1345.
- SMITH, P.L. *et al.* (1975). Derivation of a R-Z relationship by computer optimization and its use measuring daily areal rainfall. *16th Radar Meteorology Conference* (pp. 461-466). Houston, Texas.
- SNIRH. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://snirh.apambiente.pt> (Acedido em 22 outubro 2017).
- SOLA, Kristin, BJERKHOLT, Jarle, LINDHOLM, Oddvar e RATNAWEERA, Harsha (2018). Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland. *Water*. 10, 1696; doi:10.3390/w10111696
- SOUSA, Rávila, CRISPIM, Diogo e FORMIGA, Klebber (2012). Estudo comparative entre os modelos SWMM eHEC-HMS para simulação de escoamento superficial – Caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*. 5(2), 1-11.

SRENG, Zeljko, LONCAR, Goran e GRUBISIC, Marin (2019). Methodology for Determining the Die-Off Coefficient of Enterococci in the Conditions of Transport through the Karst Aquifer—Case Study: Bokanjac–Policnik Catchment. *Water*, **11**, 820; doi:10.3390/w11040820

SPILLER, Marc, VREEBURG, Jan, LEUSBROCK, Ingo e ZEEMAN, Grietje (2015) Flexible design in water and wastewater engineering – definitions, literature and decision guide. *Journal of Environmental Management*, **149**(0), 271-281.

TELEDYNEISCO (2018). *User manual LaserFlow*. Disponível em: <https://www.teledyneisco.com/en-us/waterandwastewater/Flow%20Meter%20Documents/Manuals/LaserFlow%20Ex%20User%20Manual.pdf> (Acedido em 14 de abril de 2018).

TERRA GES (2017). Disponível em: [http://terrages.pt/loja/index.php?route=product/category&path=87\\_103](http://terrages.pt/loja/index.php?route=product/category&path=87_103) (Acedido em 7 de janeiro de 2017).

Thomann, R.V.; Mueller, J.A. (1987). *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. Harper International Edition.

TROVATI, L.R. (1988). *Modelos de comparações entre o fator de refletividade do radar de vazões para estabelecer alertas de cheias*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos das Universidade de São Paulo, Brasil. 156pp.

TYC GIS (2018). Disponível em: <https://www.giscourse.com/what-is-hec-ras-and-what-is-it-useful-for/> (Acedido em 14 de maio de 2018).

UNRIC. (2019). Disponível em: <https://www.unric.org/pt/17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> (Acedido em 2 de maio de 2019).

USACE. (2016). *HEC-RAS Reference Manual*. USACE, U.S. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> (Acedido em 2 de março de 2019).

VAN DAAL-ROMBOUITS, P. d., LANGEVELD, J., e CLEMENS, F. (2016). Integrated real time control of influent pumping station and primary settling tanks at WWTP Eindhoven. *In SPN8: Proceedings of the 8th International Conference on Sewer Processes and Networks*, (pp. 1-4). Rotterdam, the Netherlands.

VAZ, Carla (2004). *As redes como um modelo de dados geográfico em evolução: Caso prático num SIG*. Lisboa: ESRI, 2004. Acedido em 12 de dezembro de 2016 em: [http://www.apgeo.pt/files/docs/CD\\_IV\\_Congresso\\_APG/Actas\\_CD/Comunica/cart\\_tecn/redes.pdf](http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_IV_Congresso_APG/Actas_CD/Comunica/cart_tecn/redes.pdf)

VIEIRA, José M.P. e PINHO José L.S. (2008). Sistema de Suporte à Decisão para a Gestão da Qualidade da Água em Alqueva. *Engenharia Civil – Universidade do Minho*, **Nº33**. Guimarães.

VIEIRA, Luis. e PINHO, J. L. (2014). Calibração e validação de um modelo hidrológico para a bacia do rio Lima. *2º Congresso da Água do 16º ENASB/SILUBESA – Encontro Nacional de Engenharia Sanitária e*

*Ambiental e do XVI Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (pp. 1-14). Lisboa, Portugal.*

VON SPERLING, M.; VON SPERLING, E. (2013) Coliforms and Challenges for Bathing in Rivers. *Water Science & Technology* **67**(11), 2534-2542.

WEI, Zhongqing, HUANG, Xiangfeng, LU, Lijun, SHANGGUAN, Haidong, CHEN, Zhong, ZHAN, Jiajun e FAN, Gongduan (2019). Strategy of Rainwater Discharge in Combined Sewage Intercepting Manhole Based on Water Quality Control. *Water*. **11**, 898; doi:10.3390/w11050898

WERNER, M., SCHELLEKENS, J., GIJSBERS, P., DIJK, M., AKKER, O. e HEYNERT, K. (2013). The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling & software*, **40**, 65-77.

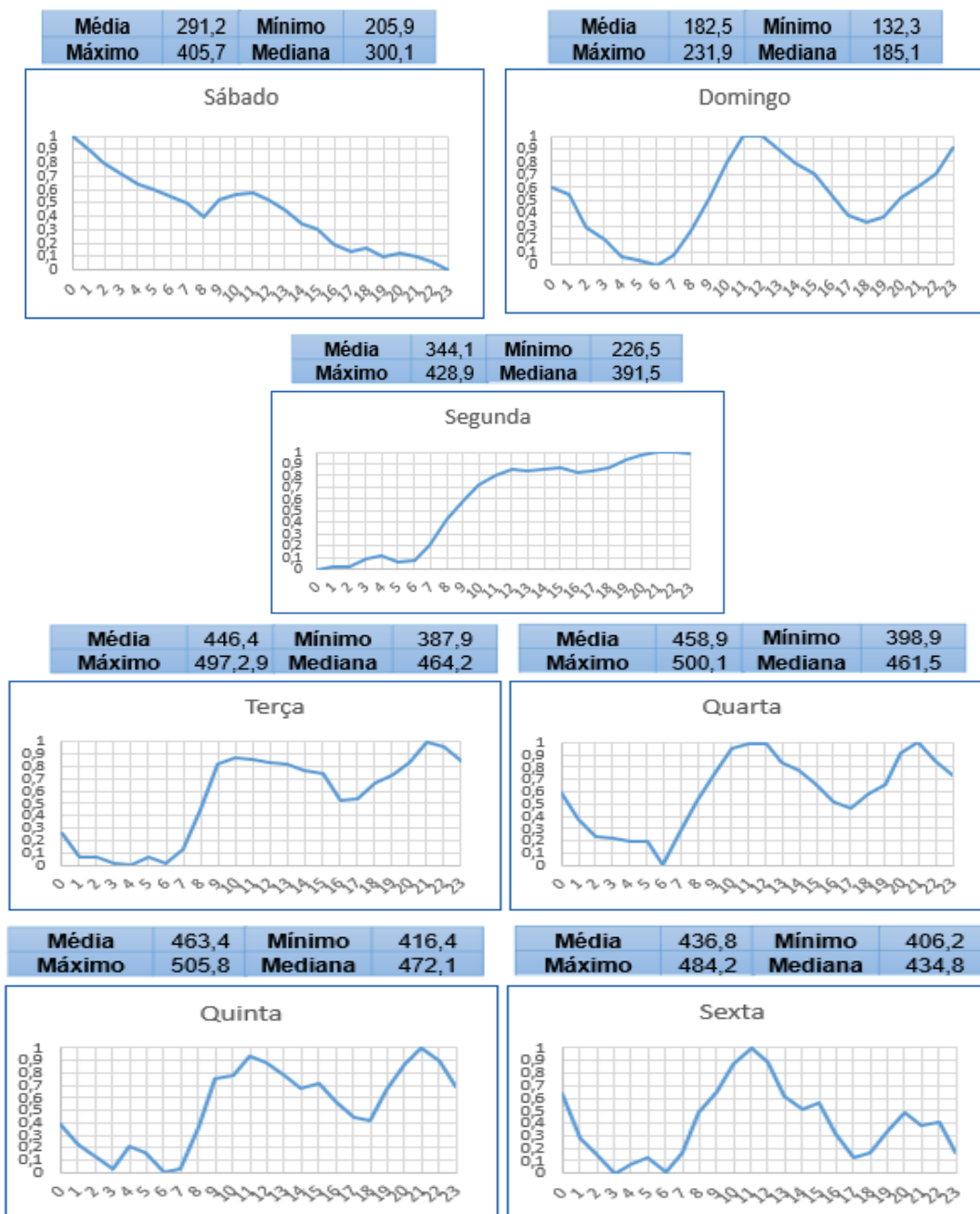
WONDERWARE. Disponível em: <https://www.wonderware.com/pt-br/hmi-scada/what-is-scada/> (Acedido em 19 de novembro de 2018).

ZEFERINO, João António (2011). *Optimization models for wastewater systems planning at regional level: deterministic and robust approaches*. Tese de doutoramento em engenharia civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra. Coimbra. 247 pp.

# ANEXOS

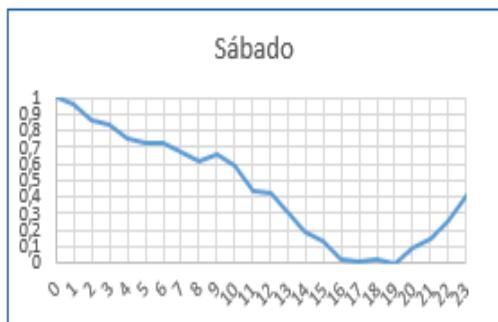
## ANEXOS

Anexo 1 – Caudais normalizados a partir de padrões de tempo seco para os diferentes dias de semana – Intercetor de Nespereira.

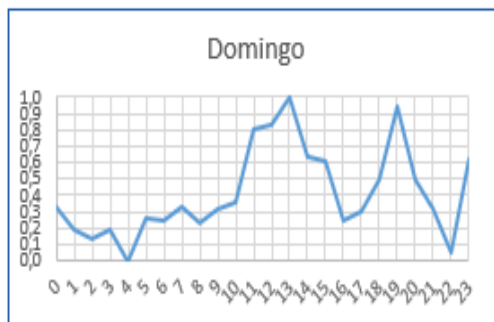


Anexo 2 – Caudais normalizados a partir de padrões de tempo seco para os diferentes dias de semana – Intercetor de Vizela (FD4+FD6).

<b>Média</b>	454,1	<b>Mínimo</b>	308,9
<b>Máximo</b>	631,1	<b>Mediana</b>	446,1



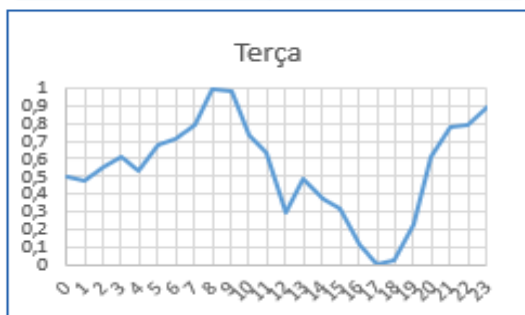
<b>Média</b>	445,6	<b>Mínimo</b>	406,3
<b>Máximo</b>	501,5	<b>Mediana</b>	437,2



<b>Média</b>	918,3	<b>Mínimo</b>	908,7
<b>Máximo</b>	1007,6	<b>Mediana</b>	920,5



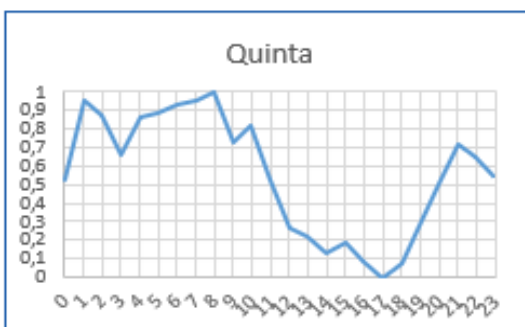
<b>Média</b>	1010,8	<b>Mínimo</b>	908,7
<b>Máximo</b>	1095,3	<b>Mediana</b>	1017,2



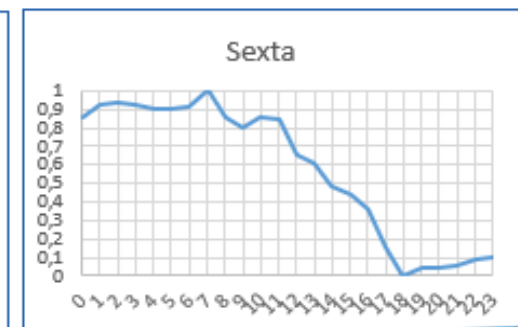
<b>Média</b>	1055,7	<b>Mínimo</b>	923,9
<b>Máximo</b>	1127,6	<b>Mediana</b>	1071,2



<b>Média</b>	1034,8	<b>Mínimo</b>	918,6
<b>Máximo</b>	1127,8	<b>Mediana</b>	1041,9



<b>Média</b>	887,9	<b>Mínimo</b>	587,2
<b>Máximo</b>	1112,3	<b>Mediana</b>	968,8



Anexo 3 – Caudais normalizados a partir de padrões de tempo seco para os diferentes dias de semana – Intercetor do Ave.

<b>Média</b>	178,9	<b>Mínimo</b>	115,7
<b>Máximo</b>	253,1	<b>Mediana</b>	188,0



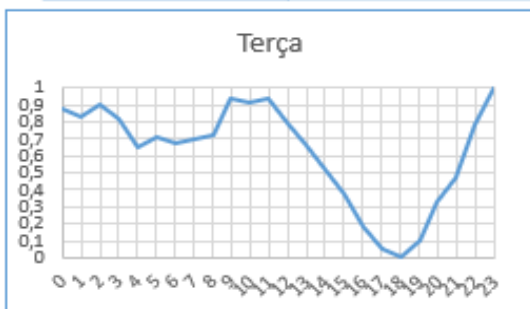
<b>Média</b>	168,4	<b>Mínimo</b>	121,2
<b>Máximo</b>	251,4	<b>Mediana</b>	159,8



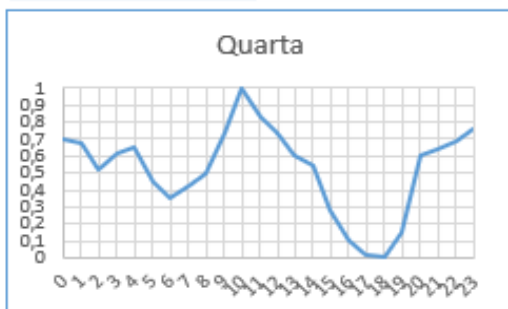
<b>Média</b>	302,7	<b>Mínimo</b>	264,9
<b>Máximo</b>	351,7	<b>Mediana</b>	295,8



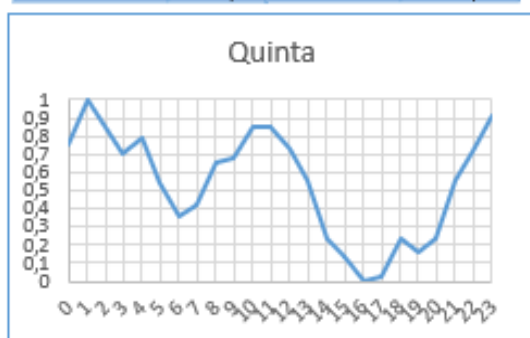
<b>Média</b>	333,5	<b>Mínimo</b>	280,4
<b>Máximo</b>	365,7	<b>Mediana</b>	340,7



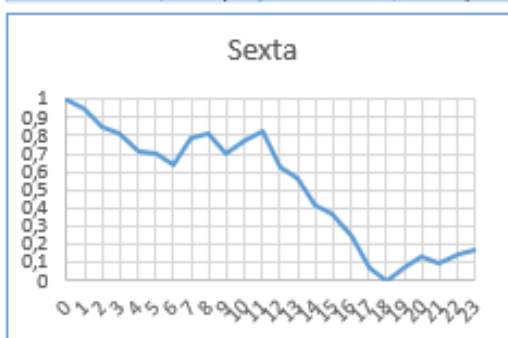
<b>Média</b>	342,6	<b>Mínimo</b>	290,3
<b>Máximo</b>	390,1	<b>Mediana</b>	350,5



<b>Média</b>	334,8	<b>Mínimo</b>	294,1
<b>Máximo</b>	369,6	<b>Mediana</b>	339,7

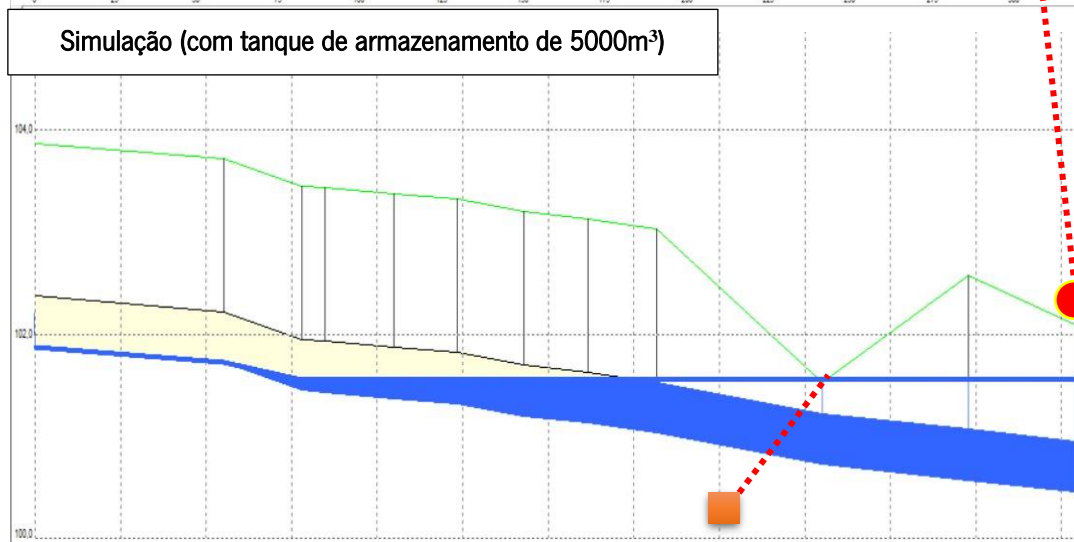
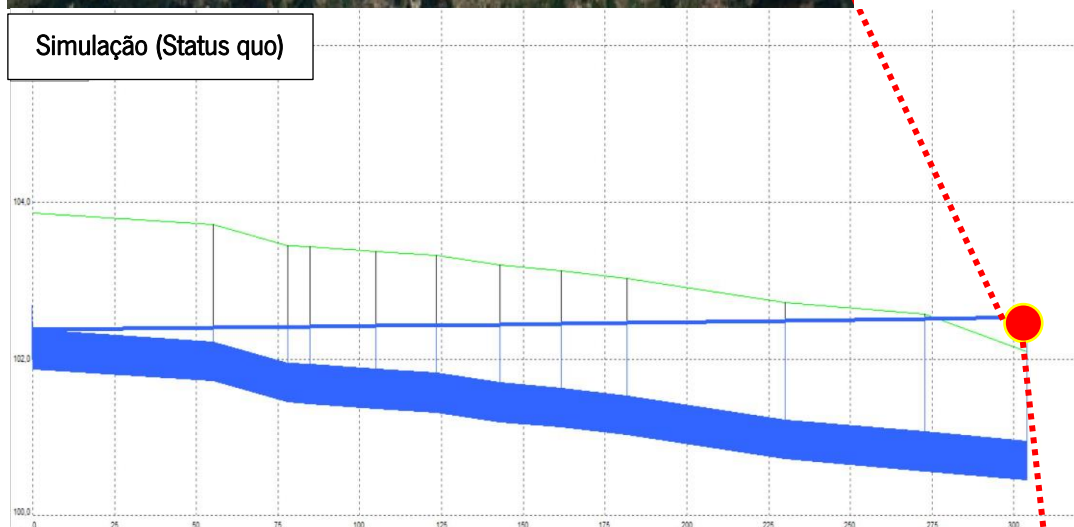


<b>Média</b>	299,6	<b>Mínimo</b>	227,1
<b>Máximo</b>	366,6	<b>Mediana</b>	315,2





Anexo 4 – Simulação hidrodinâmica (9.0mm de precipitação) - Intercetor de Vizela.



Anexo 5 – Simulação hidrodinâmica (9.0mm de precipitação) - Intercetor do Ave.

