



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

## **Estudo Temporal de uma Bacia Urbana**

**Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente**

**Autor**

**Joana Filipa de Melo e Castro Paiva Bidarra**

**Orientador**

**Maria Rita Lacerda Morgado Fernandes de Carvalho**

**Pedro Manuel Pinheiro Veloso Lopes Tavares**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Julho, 2013**

## AGRADECIMENTOS

A presente dissertação é o culminar de um longo percurso académico e só foi possível graças à colaboração de diversas pessoas e entidades às quais gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus orientadores, Professora Rita de Carvalho e Professor Pedro Tavares, por me terem aceite como sua orientanda, por toda a disponibilidade, apoio e paciência demonstrada ao longo de todo este trabalho e por todas as sugestões e esclarecimentos prestados.

À Engenheira Ana Silva, pela ajuda preciosa no início deste trabalho, pela partilha de conhecimentos e por todo o seu interesse e apoio na realização desta dissertação.

À *Luságua*, na pessoa da Dra. Maria Miguel, por todos os dados fornecidos que foram essenciais neste trabalho. Agradeço também às *Águas de Coimbra*, na pessoa da Dra. Cláudia Brás e a Eng<sup>a</sup>. Sandra Pina, por ter disponibilizado tão prontamente, o ficheiro da bacia de drenagem de Coimbra a estudar nesta dissertação.

A todos os meus amigos e colegas, por todo apoio e incentivo que demonstraram ter comigo, pela paciência, amizade, por terem tornado a minha vida académica inesquecível e que jamais esquecerei os momentos que passámos juntos.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer aos meus Pais e Irmão, fonte de toda a motivação e apoio incondicional. Sem a vossa paciência, ajuda, o vosso esforço e dedicação nada disto teria sido possível.

A todos, o meu sincero obrigado!

## RESUMO

A gestão e exploração adequada de estações de tratamento de águas residuais (ETAR), condicionada pela legislação e pelo destino final das águas residuais, são fundamentais para a manutenção da qualidade da água nos meios recetores. Contudo, o crescimento urbano e consequente acréscimo de caudais verificado nas últimas décadas, associado ao agravamento de eventos de precipitação, tem mostrado a fragilidade dos sistemas de drenagem (SD). Tais situações são suscetíveis de fomentar o risco de inundações e descarga direta de caudais, sem qualquer tipo de tratamento, o que resulta em repercussões ao nível da segurança, saúde pública e qualidade da água nos meios recetores.

Neste contexto, apesar da legislação exigir a recuperação dos SD e limites nos parâmetros, é importante um estudo e planeamento adequado das bacias de drenagem existentes defendendo conceitos de sustentabilidade e o desenvolvimento de ferramentas e tecnologias que permitam a monitorização, o controlo e a previsão de situações anómalas nos SD.

Esta dissertação centra-se num estudo de uma bacia de drenagem de Coimbra e sua evolução ao longo de 10 anos com base em dados cartográficos, de população, de precipitação e de quantidade e qualidade de água à entrada de uma ETAR. A metodologia aplicada no presente trabalho tem por base a determinação de parâmetros que permitem a caracterização da bacia, aplicando o *software* ArcGis e a relação da precipitação e dos caudais afluentes à ETAR em termos de quantificação e caracterização.

Os resultados obtidos permitiram verificar, como esperado, uma relação entre a precipitação e o caudal afluente à ETAR e permitiram estimar situações de descarga de água residual não tratada no meio recetor.

**Palavras-chave:** Estações de tratamento de águas residuais; Bacia/Sistema de drenagem; Meio recetor, Qualidade de água.

## ABSTRACT

The proper management and exploration of the wastewater treatment plants (WWTP), constrained by legislation and by the final destiny of the residual/waste water, are critical to maintain the water quality in the receivers. However, with the urban growth observed in the last decades, sanitation systems and residual water drainage systems are not often prepared to receive the additional flows. The recent precipitation events have been showing the fragility of the drainage systems (DS). Such situations are likely to increase the flooding risk and direct discharge of untreated flows, which cause an impact on the safety, public health and water quality on the receivers.

In this context, although the legislation demands the DS recovery and limits on parameters, is necessary to study and proper planning of the drainage basins that already exist advocating sustainability concepts and the development of tools and technologies that allow the monitoring and forecasting of DS.

This dissertation focuses on a study of a drainage basin of Coimbra and its evolution over 10 years, based on cartographic data, population, precipitation and the quality and quantity of water at the entrance of a WWTP. The methods applied in this work are based on the determination of parameters that allow the characterization of the basin, applying ArcGis software and the relation of the precipitation and the flow affluent to the ETAR in terms of quantification and characterization.

The data showed a relationship between ETAR affluent and the precipitation, which allow estimating discharge situations of untreated water into the receivers.

**Key words:** wastewater treatment plants, drainage basins/system, water receivers, water quality.

---

## ÍNDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....   | 1  |
| 1.1   | Enquadramento e Motivação .....                                     | 1  |
| 1.2   | Objetivos.....  | 2  |
| 1.3   | Estrutura da Dissertação .....                                      | 2  |
| 2     | ESTADO DA ARTE .....  | 4  |
| 2.1   | Drenagem Urbana .....   | 4  |
| 2.1.1 | Considerações gerais .....  | 4  |
| 2.1.2 | Tipos de sistema de drenagem e principais componentes .....         | 5  |
| 2.1.3 | Problemas e tendências.....   | 6  |
| 2.1.4 | Drenagem urbana e sustentabilidade .....                            | 8  |
| 2.2   | Impacto da Zona Urbana no Meio Recetor.....                         | 9  |
| 2.2.1 | Caracterização da zona urbana – Enquadramento legal .....           | 10 |
| 2.2.2 | Qualidade da água no meio recetor e principais problemas .....      | 11 |
| 2.2.3 | Impacto das alterações climáticas em estações de tratamento .....   | 13 |
| 3     | CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....                              | 14 |
| 3.1   | Metodologia Utilizada .....   | 14 |
| 3.2   | Descrição da Bacia em Estudo.....                                   | 15 |
| 3.3   | Caracterização Geral da Bacia .....                                 | 17 |
| 3.3.1 | Características da ocupação do solo .....                           | 18 |
| 3.3.2 | Características climáticas – ocupação hidrometeorológica .....      | 21 |
| 3.3.3 | Características hidrográficas .....                                 | 24 |
| 3.4   | Componentes do Sistema de Drenagem da Bacia da ETAR do Choupal..... | 26 |
| 4     | ANÁLISE DE DADOS .....  | 29 |
| 4.1   | Análise de Dados da ETAR .....                                      | 29 |
| 4.1.1 | Tempo seco.....   | 29 |
| 4.1.2 | Tempo húmido.....   | 38 |
| 4.2   | Estimativa de Caudais Pluviais – Aplicação do Método Racional.....  | 53 |
| 4.3   | Comparação de Resultados .....                                      | 56 |
| 4.3.1 | Caudal pluvial com “precipitações de projeto” .....                 | 56 |
| 4.3.2 | Caudal pluvial com precipitação real .....                          | 57 |
| 5     | CONCLUSÕES .....  | 62 |
| 5.1   | Considerações Finais .....  | 62 |

---

|     |                                  |     |
|-----|----------------------------------|-----|
| 5.2 | Prosseguimentos de Estudo .....  | 64  |
|     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 65  |
|     | ANEXO A .....                    | A-1 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Interface entre o público e o ambiente (adaptado de Butler e Davies, 2004) .....                                       | 4  |
| Figura 3.1 – Metodologia aplicada para o estudo da bacia de drenagem afluyente à ETAR do Choupal.....                               | 14 |
| Figura 3.2 – Bacia afluyente à ETAR do Choupal .....  | 16 |
| Figura 3.3 – Diagrama processual das fases líquida e sólida da ETAR do Choupal ( <i>Águas do Mondego @</i> , 2013) .....            | 17 |
| Figura 3.4 – Bacia afluyente à ETAR do Choupal: à esquerda – ortoimagem (ArcGis@ 2013); à direita – carta da ocupação do solo ..... | 20 |
| Figura 3.5 – Áreas de influência para a bacia afluyente à ETAR do Choupal / Método de Thiessen .....                                | 22 |
| Figura 3.6 – Áreas de influência para a bacia afluyente à ETAR do Choupal / Método de Thiessen: IGUC-Trouxemil e IGUC-Coimbra ..... | 23 |
| Figura 3.7 – Precipitação vs Caudal médio horário nos dias 8 e 9 de Junho de 2011.....  | 26 |
| Figura 3.8 – Base de dados para a bacia da ETAR do Choupal (retirado do ArcGis) .....   | 27 |
| Figura 4.1 – Variação do caudal médio horário em tempo seco (Junho de 2006) .....   | 30 |
| Figura 4.2 – Variação do caudal médio horário em tempo seco (Maio de 2011) .....  | 31 |
| Figura 4.3 – Caudais médios diários anuais em tempo seco .....  | 33 |
| Figura 4.4 – Caudais médios diários anuais por mês .....  | 34 |
| Figura 4.5 – Valores médios anuais da CBO em tempo seco.....  | 35 |
| Figura 4.6 – Valores médios anuais da CQO em tempo seco .....   | 35 |
| Figura 4.7 – Valores médios anuais dos SST em tempo seco .....  | 36 |
| Figura 4.8 – Parâmetros analíticos vs Caudal médio diário anual em tempo seco .....   | 37 |
| Figura 4.9 – Registo de precipitação em janeiro de 2001 .....   | 39 |
| Figura 4.10 – Precipitação média vs Caudal diário em janeiro de 2001 .....  | 39 |
| Figura 4.11 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em janeiro de 2001 .....   | 40 |
| Figura 4.12 – Registo de precipitação em agosto de 2003 .....   | 41 |
| Figura 4.13 – Precipitação média vs Caudal diário em agosto de 2003.....  | 41 |
| Figura 4.14 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em agosto de 2003 .....  | 42 |
| Figura 4.15 – Registo de precipitação em dezembro de 2006.....  | 43 |

---

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.16 – Precipitação média vs Caudal diário em dezembro de 2006.....          | 43 |
| Figura 4.17 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em dezembro de 2006.....       | 44 |
| Figura 4.18 – Registo de precipitação em fevereiro de 2007 .....                    | 45 |
| Figura 4.19 – Precipitação média vs Caudal diário em fevereiro de 2007 .....        | 45 |
| Figura 4.20 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em fevereiro de 2007 .....     | 46 |
| Figura 4.21 – Registo de precipitação em janeiro de 2008 .....                      | 47 |
| Figura 4.22 – Precipitação média vs Caudal diário em janeiro de 2008 .....          | 48 |
| Figura 4.23 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em janeiro de 2008 .....       | 48 |
| Figura 4.24 – Registo de precipitação em janeiro de 2009 .....                      | 49 |
| Figura 4.25 – Precipitação média vs Caudal diário em janeiro de 2009 .....          | 50 |
| Figura 4.26 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em janeiro de 2009 .....       | 50 |
| Figura 4.27 – Precipitação vs Caudal diário em fevereiro de 2010.....               | 51 |
| Figura 4.28 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em fevereiro de 2010 .....     | 52 |
| Figura 4.29 – Precipitação máxima vs Caudal máximo no dia 18 de Abril de 2008 ..... | 60 |

---

## ÍNDICE DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 2.1 – Identificação de zonas sensíveis e menos sensíveis pelo DL nº 152/97.....                                    | 10 |
| Quadro 2.2 – Requisitos de descarga pelo DL nº 152/97 .....   | 11 |
| Quadro 2.3 – Resultados obtidos do estudo feito por Mines Jr. <i>et al.</i> (2006) .....                                  | 12 |
| Quadro 3.1 – Valores de coeficiente de escoamento (adaptado de Lencastre e Franco, 1992 e Hipólito e Vaz, 2011) .....     | 18 |
| Quadro 3.2 – Áreas de influência da bacia afluenta à ETAR do Choupal .....  | 22 |
| Quadro 3.3 – Áreas de influência da bacia afluenta à ETAR do Choupal para os postos IGUC – Trouxemil e IGUC- Coimbra..... | 24 |
| Quadro 3.4 – Tempo de concentração da bacia afluenta à ETAR do Choupal .....  | 25 |
| Quadro 4.1 – Caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal durante a semana .....                                    | 31 |
| Quadro 4.2 – Caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal durante o fim de semana... ..                             | 32 |
| Quadro 4.3 – Caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal em tempo seco.....  | 32 |
| Quadro 4.4 – Valores ponderados de coeficiente de escoamento .....  | 54 |
| Quadro 4.5 – Áreas de ocupação .....  | 54 |
| Quadro 4.6 – Coeficiente de escoamento ponderado .....  | 55 |
| Quadro 4.7 – Intensidade de precipitação para as curvas IDF .....   | 56 |
| Quadro 4.8 – Caudal de ponta para diferentes períodos de retorno .....  | 57 |
| Quadro 4.9 – Caudal de ponta para os diferentes anos em estudo .....  | 58 |
| Quadro 4.10 – Caudal máximo afluenta à ETAR do Choupal para os anos em estudo .....                                       | 58 |
| Quadro 4.11 – Volume máximo afluenta à ETAR para os anos em estudo .....  | 59 |
| Quadro 4.12 – Caudal máximo diário, em 4 horas afluenta à ETAR para os anos em estudo .....                               | 60 |
| Quadro 4.13 – Caudal descarregado para o meio recetor .....   | 61 |

## ABREVIATURAS

BD – Bacia de Drenagem

BH – Bacia Hidrográfica

C – Coeficiente de escoamento

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

CQO – Carência Química de Oxigénio

CSO – Combined Sewer Overflows

DL – Decreto - Lei

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FG – File Geodatabase

IDF – Intensidade-Duração-Frequência

IGUC - Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra

INAG – Instituto Nacional da Água

PVC – Policloreto de Vinilo

SD – Sistemas de Drenagem

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SSO – Separate Sewer Overflows

SST – Sólidos Suspensos Totais

WWF – Wet Weather Flow

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e Motivação

Nas últimas décadas assistiu-se a uma alteração nos recursos hídricos, devido a inúmeros fatores, nomeadamente o crescimento urbano e alterações climáticas. Novas necessidades refletiram-se em novas preocupações, afetando a qualidade e quantidade de água a saúde pública e a degradação do ambiente. É neste âmbito que surge o conceito de Desenvolvimento Sustentável, procurando adaptar as necessidades da população sem comprometer as necessidades das gerações futuras e garantido o equilíbrio com base em três princípios: equidade social, crescimento económico e proteção do ambiente.

Um tema central da gestão dos recursos hídricos é a degradação do ambiente devido à contaminação por águas residuais urbanas não tratadas. De facto, no século XX assistiu-se a uma explosão demográfica, associada à concentração da população em áreas urbanas e à crescente impermeabilização de superfícies, que se traduziu numa exigência acrescida aos sistemas de drenagem existentes, perturbando o seu equilíbrio e capacidade de resposta.

As redes de drenagem não se encontram frequentemente dimensionadas para as novas solicitações sendo comum a ocorrência de sistemas unitários e de ligações indevidas entre as redes de drenagem doméstica e as redes pluviais. Assim, em casos de eventos de precipitação mais gravosos, tem-se verificado um aumento do risco de inundações e de descarga direta de excedentes, com consequências a nível de segurança, saúde pública e qualidade de água nos meios recetores. Consequentemente, as descargas dos sistemas de drenagem urbana podem ser uma das principais fontes de poluição dos meios hídricos superficiais. A construção de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) tem sido uma das medidas utilizadas para a diminuição do problema. No entanto, a monitorização de estações de tratamento de águas residuais tem revelado que existe uma forte relação entre a ocorrência de eventos pluviométricos e o aumento dos volumes afluentes à ETAR, que pode revelar-se prejudicial no âmbito de uma boa operação dos sistemas. Comprometendo os objetivos de qualidade estabelecidos para estes, exige-se uma operação em tempo real mais cuidada no sentido de respeitar os valores limite dos parâmetros analíticos a serem avaliados.

É neste contexto que surge esta dissertação, que consiste num estudo de uma bacia de drenagem existente e, ao mesmo tempo, num desenvolvimento de ferramentas e tecnologias que permitem o estudo e a previsão de ocorrência nos sistemas de drenagem (SD).

## 1.2 Objetivos

Nesta dissertação pretende-se estudar uma bacia de drenagem (BD) de Coimbra, a bacia da ETAR do Choupal, e sua evolução ao longo de um período de 10 anos. A partir dos dados cartográficos da área contribuinte, de população e de precipitação, analisa-se a relação entre eventos de precipitação e os caudais afluentes à ETAR, não só em termos quantitativos como também em termos de qualidade da água. Podem-se distinguir, especificamente, quatro objetivos:

- Determinação de parâmetros que caracterizem a bacia de drenagem, classificação da ocupação do solo pelo método de classificação supervisionada e criação da carta representativa do coeficiente de escoamento (C);
- Desenvolvimento de uma base de dados num sistema de informação geográfica (SIG) que caracterize a bacia ao longo de 10 anos, em termos de componentes do sistema de drenagem, áreas contribuintes;
- Análise de dados existentes e verificação de relações entre precipitação, caudal e sua qualidade do afluente à ETAR;
- Aplicação do Método Racional para estimativa de caudais gerados a partir de dados de precipitação e de volume descarregado sem tratamento.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos principais.

O capítulo I, *Introdução*, apresenta uma introdução à temática subjacente a este estudo, a par do enquadramento e da motivação que dá origem a este trabalho. Deste modo, apresenta-se de uma forma geral as razões que levam à necessidade da concretização deste estudo e identifica-se, de modo conciso, os objetivos a que se propõe esta dissertação.

No segundo capítulo, *Estado da Arte*, apresenta-se uma revisão bibliográfica de estudos desenvolvidos nesta área. Procura-se fornecer uma ideia de conceitos teóricos ligados à drenagem urbana, bem como identificar os seus principais problemas e modos de como atuar.

É feito um breve enquadramento legislativo em vigor em Portugal relativo ao impacto da zona urbana no meio recetor. Apresentam-se alguns conceitos sobre qualidade da água e problemas associados ao meio recetor, bem como o impacto das alterações climáticas em estações de tratamento de águas residuais.

No terceiro capítulo, “*Caracterização do Caso de Estudo*”, descreve-se o caso de estudo, definindo uma metodologia a aplicar. Inicialmente faz-se uma breve descrição da bacia a estudar e desenvolve-se uma base de dados em SIG para caracterizar as componentes do sistema de drenagem da bacia. Posteriormente procedeu-se à caracterização geral da bacia, determinando os parâmetros mais relevantes neste estudo como a ocupação do solo e as características climáticas e hidrográficas.

O quarto capítulo, “*Análise de Dados*”, apresenta uma análise rigorosa dos dados deste estudo. A análise é referente ao caudal afluente à ETAR bem como à qualidade da água, distinguindo tempo seco e tempo húmido. Neste último, fez-se uma análise de forma estruturada, com a descrição da precipitação da bacia, tentando-se estimar volumes de águas residuais e pluviais.

Por fim, no quinto capítulo, *Conclusões*, apresentam-se as principais conclusões obtidas do trabalho e são sugeridos alguns desenvolvimentos futuros para este estudo.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Drenagem Urbana

#### 2.1.1 Considerações gerais

No mundo atual, a água, cuja qualidade e quantidade deve ser protegida, assume uma elevada importância estratégica. Nesse âmbito, a gestão dos recursos hídricos exige um tratamento em conformidade com o seu uso, a preservação e melhoria da qualidade do ambiente.

O planeamento de sistemas de drenagem é necessário em áreas urbanas, devido à interação entre a atividade humana e o ciclo de água natural. Esta interação tem duas formas principais: as águas residuais domésticas e a cobertura do solo com superfícies impermeáveis que desviam as águas provenientes de precipitação. Os sistemas de águas residuais domésticas e águas pluviais podem ser drenados em sistemas separativos e unitários. Os sistemas de drenagem urbana lidam com estes dois tipos de água com o objetivo de minimizar os problemas causados à vida humana e ao meio ambiente. Assim, a drenagem urbana tem duas interfaces principais: com o público e com o meio ambiente (Butler e Davies, 2004). A Figura 2.1 ilustra a interface do sistema de drenagem urbana, englobando o público e o meio ambiente.



Figura 2.1 – Interface entre o público e o ambiente (adaptado de Butler e Davies, 2004)

### 2.1.2 Tipos de sistema de drenagem e principais componentes

Os tipos de sistema de drenagem urbana sofreram algumas alterações ao longo dos tempos. Os primeiros sistemas de drenagem têm cerca de 3 a 5 mil anos e eram constituídos por drenagem residual e sistemas de drenos para retirar água das estradas. Algumas civilizações antigas construíram sistemas de drenagem superficial eficientes sendo que alguns incluíam o transporte de resíduos sanitários (Carvalho, 2009 e Hipólito e Vaz, 2011).

Com o crescimento populacional e desenvolvimento industrial nas grandes cidades no século XIX, foi autorizada a ligação da água residual doméstica às redes de drenagem pluvial, agravando as condições de higiene devido à qualidade da rede (Carvalho, 2009).

A partir da década de setenta do séc XX, gerou-se uma tendência nas áreas urbanas para uma crescente impermeabilização, obrigando à implementação de colectores de maiores diâmetros, maiores custos de manutenção e alguns problemas relacionados com inundações nos centros urbanos (Tucci *et al.*, 1995 e Carvalho, 2009). Desde então começou a haver uma crescente preocupação com inundações e prejuízos recorrentes, levando a questões como a restrição à ocupação do solo e ao tipo de obras.

A finalidade dos sistemas de drenagem é recolher, transportar e rejeitar nos meios recetores, em condições apropriadas, as águas residuais domésticas, comerciais e/ou industriais e as águas pluviais. Atualmente, os sistemas de drenagem de águas residuais podem ser classificados em sistemas separativos, sistemas unitários, sistemas pseudo-separativos e sistemas mistos.

Os sistemas separativos integram duas redes de drenagem distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e/ou industriais e outra destinada às águas pluviais ou similares, e constituem o tipo de sistema atualmente recomendado para as redes de saneamento. As águas residuais domésticas são conduzidas para uma ETAR, onde após tratamento adequado são descarregadas no meio recetor, enquanto que as águas pluviais não sofrem em geral nenhum tipo de tratamento e são descarregadas no meio recetor.

Os sistemas unitários são constituídos por uma única rede de coletores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais. As estações de tratamento que servem os sistemas unitários estão dimensionados para receber caudais da ordem de 3 a 6 vezes o caudal médio diário em tempo seco (David, 2004 in Amaral, 2011).

Relativamente aos sistemas separativos parciais ou pseudo-separativos, admite-se, em condições excepcionais, a ligação de águas pluviais, por exemplo, de pátios interiores aos coletores de águas residuais domésticas. De facto, em Portugal, tal como noutros países do

mundo, apesar dos sistemas serem tendencialmente concebidos como separativos, por vezes funcionam como se fossem pseudo-separativos (Vieira, 2006 citado por Amaral, 2011).

Nos sistemas mistos, parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo.

Os principais componentes de um sistema de drenagem de águas residuais e pluviais são constituídos, essencialmente, por uma rede de coletores e órgãos acessórios e complementares.

Os principais órgãos constituintes da rede de coletores são:

- Dispositivos de entrada de água – correspondem aos órgãos que recebem ou captam as águas e as conduzem aos coletores enterrados. Em sistemas pluviais referem-se a sumidouros e sarjetas e em sistemas residuais domésticos e unitários referem-se a ramais de ligação que asseguram a condução das águas residuais desde as câmaras de ramal de ligação até à rede pública;
- Coletores – a rede de coletores é um conjunto de canalizações que assegura o transporte dos caudais de águas residuais afluentes desde os dispositivos de entrada até ao destino final;
- Caixas de visita – facilitam o acesso aos coletores, para observação e prática de operação e manutenção e verificação de características do escoamento e da qualidade de água (Carvalho, 2009).

Grande parte dos sistemas de drenagem urbana em Portugal e na Europa são sistemas unitários. A existência de sistemas unitários provoca problemas de operação às entidades gestoras nas redes de saneamento e tratamento, quando ocorrem eventos de precipitação. Quando os sistemas não estão devidamente concebidos para lidar com estes fenómenos, sucedem-se focos de poluição.

### **2.1.3 Problemas e tendências**

Os problemas inerentes à drenagem urbana estão relacionados maioritariamente com inundações e descargas de águas provenientes de áreas urbanas com qualidade da água inapropriada no meio recetor, principalmente dos sistemas unitários.

Em tempo seco, as águas residuais são transportadas para uma estação de tratamento onde, após tratamento apropriado, são descarregados para o meio recetor. No entanto, quando

ocorrem eventos de precipitação, verifica-se um aumento dos caudais e das cargas poluentes a eles associados, devido à afluência das escorrências pluviais aos sistemas, que são muitas vezes desviadas por descarregadores de tempestade para o meio recetor. Em termos de tratamento, o aumento de caudais afluentes às ETAR pode representar uma sobrecarga, o que se traduz numa diminuição da eficiência e em efluentes finais poluídos. Em particular, nos sistemas unitários os volumes são descarregados diretamente nos meios recetores, com impactos relevantes (Butler *et al.*, 2008).

Os caudais excedentes de sistema de drenagem apresentam características poluentes que refletem a contaminação associada às escorrências pluviais afluentes à rede de coletores que escoam no sistema em períodos de precipitação. A qualidade das descargas de excedentes apresenta grande variabilidade, que depende essencialmente de fatores como o desenvolvimento residencial e industrial, o período de tempo seco antecedente e a intensidade e duração da precipitação.

A variação temporal das concentrações dos poluentes durante um determinado evento de precipitação segue por vezes, um padrão designado por “primeiro fluxo” (*first flush* em terminologia anglo-saxónica), que traduz o facto dos primeiros volumes transportarem uma carga poluente superior aos volumes seguintes (Amaral, 2011). O fenómeno de *first flush* pode ter, de facto, grande influência nas flutuações da qualidade das descargas de excedentes (Krebs *et al.*, 1999 in Amaral, 2011). Este fluxo inicial é, geralmente, concedido ao efeito de lavagem dos pavimentos rodoviários e parques de estacionamento combinado com o arrastamento das substâncias depositadas nos coletores que são removidas e transportadas em suspensão pela onda de cheia, se a precipitação for intensa (USEPA, 2004). O efeito de *first flush* de compostos orgânicos não foi comprovado em nenhum evento de descarga de excedentes em campanhas de monitorização realizadas na Eslováquia (Sztruhár *et al.*, 2002). Os resultados do estudo de Saget *et al.* (1996) (in Amaral, 2011), apontam para que este efeito não deve ser tido em conta. Cada sistema reage de forma particular a cada evento de precipitação, sendo que os efeitos registados em dadas secções de drenagem não resultam necessariamente num efeito de *first flush* no sistema principal.

O tempo de concentração da bacia tem um papel fulcral na ocorrência ou não ocorrência do fenómeno de *first flush* (Stotz e Krauth, 1984 in Sztruhár *et al.*, 2002). O potencial efeito é atenuado devido ao longo tempo de percurso e transporte contínuo de sedimentos, quando a bacia de drenagem é grande. Bacias de drenagem relativamente pequenas e de inclinação média são aquelas em que o efeito é mais sentido (Krebs *et al.*, 1999 citado por Amaral 2011). Estas considerações são relevantes na medida em que a existência de *first flush* tem implicações na conceção das estruturas de tratamento (Kang *et al.*, 2008). Os programas de controlo de descargas de excedentes têm sido dimensionados para tratar os primeiros volumes descarregados (USEPA, 2004).

A Califórnia apresenta um clima com características similares às de um país mediterrânico. Entre 1999 e 2003, foram elaboradas campanhas de monitorização e revelaram um efeito de *seasonal first flush*, isto é, as concentrações dos poluentes no período inicial da época de chuva variam entre 1,2 a 20 vezes as concentrações verificadas no final da mesma. Após estes resultados, Lee *et al.* (2004) sugeriram a aplicação de práticas de tratamento de caudais excedentes em especial neste período crítico.

#### 2.1.4 Drenagem urbana e sustentabilidade

O relatório de Brutland considera o desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades” (Novotny, 2008). A perspetiva de sustentabilidade em relação à drenagem urbana introduz novas formas de ação, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre o ecossistema natural, o sistema urbano artificial e a sociedade (Pompêo, 2000). Esta posição exige que a drenagem e o controlo de inundação em áreas urbanas englobam todas as componentes do sistema de drenagem, eventualmente associadas a técnicas de monitorização.

O controlo da poluição de efluentes em tempo de chuva é cada vez mais essencial, uma vez que constitui uma fonte intermitente de poluição e de degradação dos meios recetores.

O dimensionamento de ETAR de sistemas unitários que entrem em linha de conta com os caudais de ponta afluentes, em períodos de precipitação, é técnica e economicamente inviável. No entanto, diversas metodologias podem contribuir para alcançar os objetivos de qualidade pretendidos para os meios recetores, designadamente o controlo na origem (na terminologia anglo-saxónica *source control*), o controlo no sistema de drenagem (*collection system control*) e o tratamento em fim de linha (*end-of-pipe control*) (Amaral, 2011).

As tecnologias de controlo na origem são correntes, particularmente nos países mais desenvolvidos, e podem integrar meios importantes para a redução das aflúncias pluviais e de carga poluente aos sistemas de coletores, mas a sua implementação está frequentemente limitada pelo desenvolvimento urbano (Vieira, 2006 in Amaral, 2011).

As soluções de controlo na origem incluem trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, poços absorventes ou de infiltração, valas revestidas com coberto vegetal e bacias de retenção. Estas técnicas atuam, essencialmente, através de sistemas de retenção, de modo a desfazer os caudais resultantes da precipitação, permitindo o seu escoamento num intervalo de tempo mais longo, e através de sistemas que promovem a infiltração da precipitação no local onde ela ocorre, evitando assim que a totalidade do escoamento pluvial afluja à rede de drenagem (Matos *et al.*, 2007 citado por Amaral, 2011).

A redução das afluências pluviais ao sistema de coletores poderá também ser conseguida recorrendo a práticas que conduzam à redução de áreas impermeáveis ligadas aos sistemas de coletores, nomeadamente o desvio da drenagem de pátios e coberturas para áreas permeáveis. A abordagem para uma gestão sustentável das águas pluviais deve ser flexível e considerar aspetos económicos, sociais e ambientais. Os conceitos de sustentabilidade devem ser vistos como uma oportunidade para o desenvolvimento e melhoria da vida social com condições ambientais, em áreas urbanizadas, requerendo uma perspectiva ampla e a participação das partes interessadas (Barbosa *et al.*, 2012).

Em relação ao controlo no sistema de drenagem destacam-se as soluções que beneficiam o armazenamento dos caudais escoados em estruturas construídas, recorrendo a válvulas e comportas automatizadas e, frequentemente, controladas em tempo real. De facto, em áreas densamente urbanizadas, a detenção no sistema de drenagem tem sido uma das medidas mais utilizadas para reduzir as descargas de excedentes, o que exige a construção de estruturas de armazenamento enterradas ao longo da rede de coletores e, em muitos casos, a melhoria da capacidade de armazenamento dos coletores através de técnicas de controlo em tempo real (David e Matos, 2005 in Amaral, 2011).

Por fim também se pode optar por medidas de tratamento em fim de linha, com tecnologias de tratamento adicional a fim de tratar os caudais excedentes, em vez de serem descarregados diretamente no meio recetor. Quando os coletores não apresentam capacidade para transportar a totalidade do caudal para a ETAR, estas tecnologias podem fornecer o tratamento junto da localização das descargas e envolver a construção de uma linha de tratamento suplementar, a montante da ETAR existente. Pode-se ainda instalar uma linha de tratamento paralela na ETAR, para funcionar quando necessário, durante o tempo húmido (USEPA, 2004).

## **2.2 Impacto da Zona Urbana no Meio Recetor**

Esta secção pretende apresentar noções sobre o impacto da zona urbana no meio recetor, mencionando a legislação existente. Pretende também, fornecer uma ideia de conceitos teóricos sobre parâmetros de qualidade da água e principais problemas, bem como mostrar o impacto das alterações climáticas em estações de tratamento.

### 2.2.1 Caracterização da zona urbana – Enquadramento legal

A legislação portuguesa existente permite caracterizar a zona urbana consoante os tipos de meio recetores e valores limite de descarga dos diversos parâmetros de qualidade.

O Decreto-Lei (DL) nº 152/97 tem como objetivo “proteger o ambiente dos efeitos nefastos das descargas das águas residuais urbanas e das águas residuais de determinados sectores industriais, através da fixação de critérios para o processo de recolha, tratamento e descarga das mesmas.”

Os tipos de meio recetores podem ser classificados como zonas sensíveis e zonas menos sensíveis e encontram-se resumidas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Identificação de zonas sensíveis e menos sensíveis pelo DL nº 152/97

|                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| <b>Zonas sensíveis</b>       | Lagoas naturais de água doce     |
|                              | Estuários                        |
|                              | Águas costeiras                  |
| <b>Zonas menos sensíveis</b> | Extensão ou zona de água marinha |

Em relação aos parâmetros de qualidade, o DL nº 152/97 assume que as descargas das águas residuais devem, consoante as características do meio recetor, respeitar os requisitos constantes do Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Requisitos de descarga pelo DL nº 152/97

| Requisitos de descargas  |   |                               |
|--|---|-------------------------------|
| Parâmetros   | Concentração                                  | Percentagem mínima de redução |
| Carência bioquímica de oxigénio (CBO <sub>5</sub> a 20°)<br>sem nitrificação | 25 mg/l O <sub>2</sub>                        | 70-90%                        |
| Carência química de oxigénio (CQO)   | 125 mg/l O <sub>2</sub>                       | 75%                           |
| Sólidos Suspensos Totais (SST)   | 35 mg/l O <sub>2</sub><br>(10000-100000 e.p.) | 90%                           |
|  | 1 mg/l N<br>(> 100000 e.p.)                   |                               |
| Fósforo total*<br>*Para o efluente final em zonas sensíveis                  | 2 mg/l P<br>(10000-100000 e.p.)               | 80%                           |
|  | 1 mg/l P<br>(> 100000 e.p.)                   |                               |
| Azoto total*<br>*Para o efluente final em zonas sensíveis                    | 15 mg/l N<br>(10000-100000ep)                 | 70-80%                        |
|  | 10 mg/l N<br>(> 100000 e.p.)                  |                               |

### 2.2.2 Qualidade da água no meio recetor e principais problemas

A qualidade da água pode ser determinada através de vários parâmetros. Entre eles, destacam-se:

- Parâmetros Químicos:
  - Carência Bioquímica do Oxigénio (CBO) – mede a quantidade de oxigénio necessária à oxidação da matéria orgânica biodegradável (presente numa amostra de água) através de reações bioquímicas em meio aeróbio;
  - Carência Química da Oxigénio (CQO) – mede a quantidade de oxigénio necessária para oxidar quimicamente, em determinadas condições, a matéria orgânica presente numa água;
  - Sólidos Suspensos Totais (SST) – matéria sólida em suspensão;
  - Azoto – é essencial para os sistemas biológicos, de tal forma que o tratamento biológico de águas residuais não pode ter êxito se não existir azoto suficiente para o desenvolvimento dos microrganismos. As formas de azoto podem-se dividir em:

- Azoto orgânico – azoto sob a forma de proteínas;
- Amónia – azoto sob a forma de sais do ião amónia;
- Nitritos – azoto que corresponde a um estágio intermédio de oxidação;
- Nitratos - azoto que corresponde a um produto final de oxidação. (Temido, 2010)

Nas últimas décadas, a atenção tem sido focada na qualidade, controlo e tratamento de *wet weather flow* (WWF) e o seu impacto nos meios recetores. “Os WWF são constituídos por *combined sewer overflows* (CSOs), *sanitary sewer overflows* (SSOs) e descargas de águas pluviais” (Mines Jr. et al., 2006). De modo a obter os requisitos exigidos para o controlo dos WWF, a descarga de efluentes residuais para as águas superficiais tem sido mais rigorosa (Mines Jr. et al., 2006). O estudo feito por Mines Jr. et al. (2006), teve como base a avaliação de dados afluentes e efluentes de 24 ETAR no estado da Geórgia (EUA). O principal objetivo do estudo foi determinar a relação entre a intensidade de precipitação e o caudal e a concentração afluente em termos da CBO bem como dos SST. Posteriormente foi analisada a relação entre a intensidade média mensal de precipitação e as concentrações afluentes de CBO e SST. Os resultados mostraram fortes correlações entre a intensidade de precipitação, caudal e os parâmetros CBO e SST. O Quadro 2.3 apresenta, em síntese, os resultados obtidos deste estudo.

Quadro 2.3 – Resultados obtidos do estudo feito por Mines Jr. et al. (2006)

|                     | <b>Caudal</b>   | <b>CBO afluente</b>  | <b>SST afluente</b>  |
|---------------------|---|--|--|
| <b>Precipitação</b> | Aumento da precipitação com o aumento do caudal                             | Aumento da precipitação, diminuição da CBO afluente (concentrações de CBO mais diluídas) | Aumento da intensidade de precipitação, diminuição da concentração de SST afluente |
| <b>CBO afluente</b> | Diminuição da concentração da CBO afluente com o aumento do caudal afluente |  |  |
| <b>SST</b>          | Diminuição da concentração de SST afluente com o aumento do caudal afluente |  |  |

A relação entre os vários parâmetros forneceu informações essenciais que podem ser úteis para a operação de ETAR, assegurando um melhor desempenho e evitando problemas de qualidade de água.

Os meios recetores podem assimilar resíduos, dependendo da sua capacidade de auto-purificação natural. Os problemas surgem quando as cargas de poluentes excedem esta capacidade, prejudicando assim, a ecologia aquática e restringindo o uso potencial da água. As descargas em zonas urbanas podem ser permanentes ou intermitentes, dependendo da sua origem. Assim, o objetivo dos sistemas de drenagem urbana é equilibrar os efeitos destas descargas contra a capacidade de absorção dos meios recetores, de modo a otimizar a qualidade da água e minimizar os custos de tratamento (Butler e Davies, 2004).

### **2.2.3 Impacto das alterações climáticas em estações de tratamento**

Nas últimas décadas, as alterações climáticas tornaram-se num dos principais desafios em sistemas de águas residuais urbanas. Segundo Langeveld *et al.* (2013), o impacto das mudanças climáticas no desempenho em ETAR requer novas propostas para as infraestruturas de águas residuais urbanas, tais como: novos critérios de projeto para sistemas de drenagem, sistemas de drenagem mais apropriados, estratégias inovadoras e descentralizadas ou estratégias de adaptação

As alterações climáticas estão associadas a mudanças nos padrões espaciais e temporais da precipitação, com eventos pluviométricos mais curtos e de maior intensidade (de Lima *et al.*, 2013) e à subida do nível do mar. A subida do nível do mar e o aumento dos extremos hidrológicos, previstos para algumas regiões, terão implicações importantes no desempenho dos sistemas de drenagem urbana existentes, bem como na conceção de novos sistemas. A combinação destes efeitos irá afetar particularmente os sistemas de drenagem localizados em zonas costeiras ou estuarinas, com o aumento do risco de:

- excedência da capacidade de bombagem e de tratamento;
- inundação e redução da eficiência do tratamento nas ETAR;
- aumento de afluências pluviais às redes de drenagem bem como o aumento da descarga de excedentes de sistemas unitários;
- redução da qualidade da água em meios recetores (David e Cardoso, 2012).

Consequentemente esperam-se maiores exigências na gestão e tratamento de águas residuais, com o acréscimo das necessidades de proteção e dos requisitos de infraestruturas (CH2M Hill, 2009 in David e Cardoso, 2012).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

#### 3.1 Metodologia Utilizada

A metodologia envolvida neste estudo baseia-se fundamentalmente na caracterização da bacia e na análise de dados que permitem a sua caracterização.

Com vista à definição de estratégias para a caracterização da bacia implementaram-se os seguintes procedimentos apresentados na Figura 3.1.

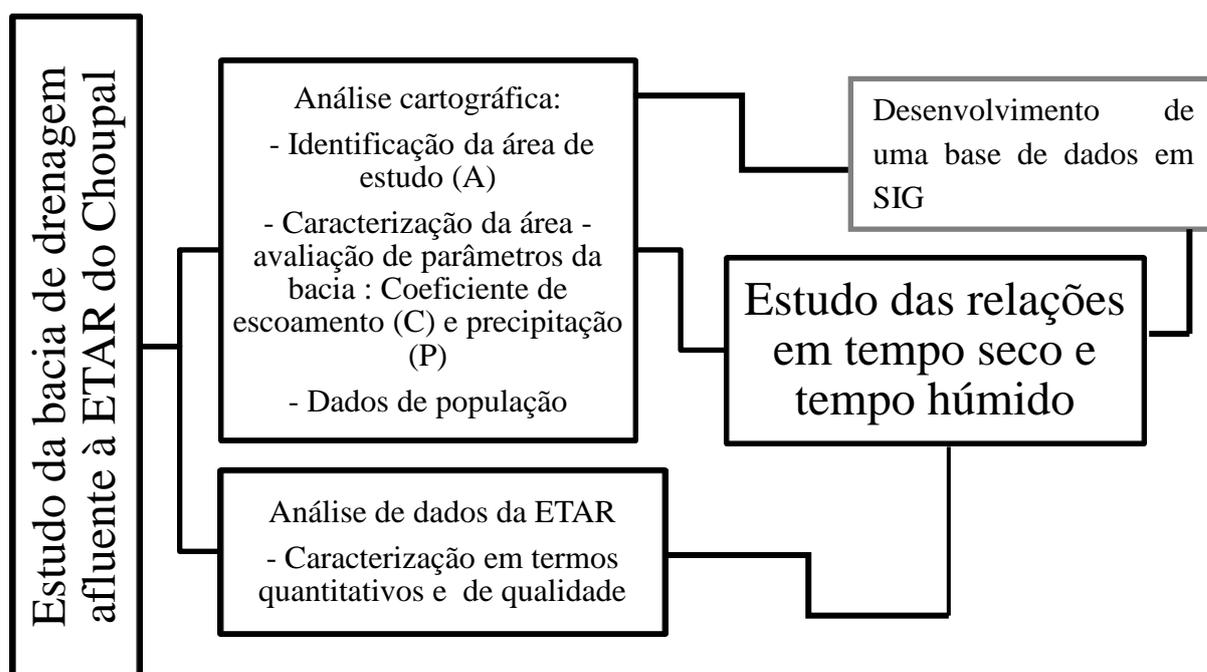


Figura 3.1 – Metodologia aplicada para o estudo da bacia de drenagem afluyente à ETAR do Choupal

Na fase inicial foi desenvolvida uma base de dados em SIG de modo a caracterizar os diferentes componentes do sistema de drenagem da bacia e separar as diferentes áreas contribuintes ao longo do período em estudo. Deste modo foi possível separar sistemas unitários e separativos, os tipos de materiais que constituem a bacia e os respetivos anos de construção.

Seguidamente procedeu-se à caracterização geral da bacia, através de duas fases distintas. Primeiro, criou-se uma carta de ocupação do solo, aplicando o *software* ArcGis que nos permitiu obter o coeficiente de escoamento da bacia. Posteriormente avaliaram-se parâmetros que caracterizam a bacia, nomeadamente a precipitação. Aplicou-se o Método de *Thiessen*, para determinar as áreas de influência da bacia. Por fim, determinou-se as características hidrográficas, particularmente o tempo de concentração da bacia.

Foi possível analisar o caudal afluente à ETAR em termos quantitativos e qualitativos. Esta análise foi feita para tempo seco e para tempo húmido. Neste último fez-se uma análise mais pormenorizada através da descrição da precipitação da bacia, tentando-se estimar volumes de águas residuais e pluviais.

### 3.2 Descrição da Bacia em Estudo

O sistema de drenagem do concelho de Coimbra torna-se complexo, uma vez que é constituído por diferentes sistemas de drenagem, separativos e unitários com as respetivas estações de tratamento de águas residuais que descarregam em diferentes locais. Esta dissertação estuda a bacia de drenagem da ETAR do Choupal, que abrange a maior parte da cidade, ocupando uma área de 8120 ha. A Figura 3.2 ilustra a bacia afluente à ETAR do Choupal<sup>1</sup>. Fornecida pelas *Águas de Coimbra*, a bacia apresenta o cadastro da rede de saneamento residual e pluvial, afluente à ETAR do Choupal.

A ETAR do Choupal, enquadrada numa zona verde, recebe as águas residuais domésticas da cidade de Coimbra, margem direita e parte da margem esquerda do Rio Mondego. Considerada a mais antiga e maior infraestrutura, a ETAR funciona desde 1993 e é dotada de um tratamento secundário biológico dos efluentes domésticos através de leitos percoladores. A ETAR do Choupal está projetada para servir uma população de 213.350 habitantes. Em 2002 a ETAR servia uma população de 73.780 habitantes (INAG, 2007), em 2009, 86.000 habitantes (INAG, 2011) e em 2012, 160.000 habitantes. A gestão do ciclo urbano das águas pluviais e residuais na cidade de Coimbra está ligada ao rio Mondego, enquanto meio recetor para estes efluentes.

---

<sup>1</sup> Utilização autorizada para fins académicos

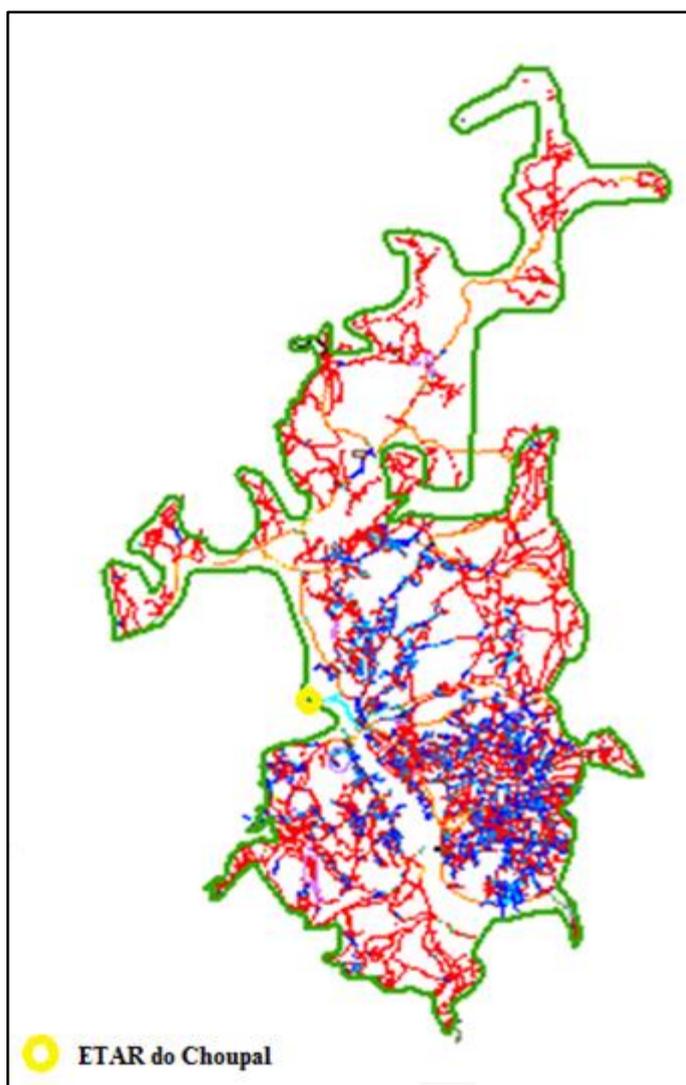


Figura 3.2 – Bacia afluente à ETAR do Choupal

Analisando a Figura 3.2 pode-se constatar que a bacia afluente apresenta várias sub-bacias, algumas alongadas, outras arredondadas. É constituída pela rede de drenagem doméstica e pluvial, bem como estações elevatórias, emissários, entre outros. Mostra também as várias componentes que um sistema de drenagem deve conter, tais como caixas de visita, coletores, dispositivos de entrada de água, ramais de ligação, descarregadores.

Os tipos de sistema de drenagem existentes na bacia são:

- Separativos, constituídos por duas redes de coletores destinados às águas residuais domésticas (representada a vermelho na Figura 3.2) e águas pluviais (representada a azul na Figura 3.2);
- Unitários, representada a vermelho na Figura 3.2.

Na Figura 3.3 é apresentado, esquematicamente, o diagrama de funcionamento processual da ETAR do Choupal.

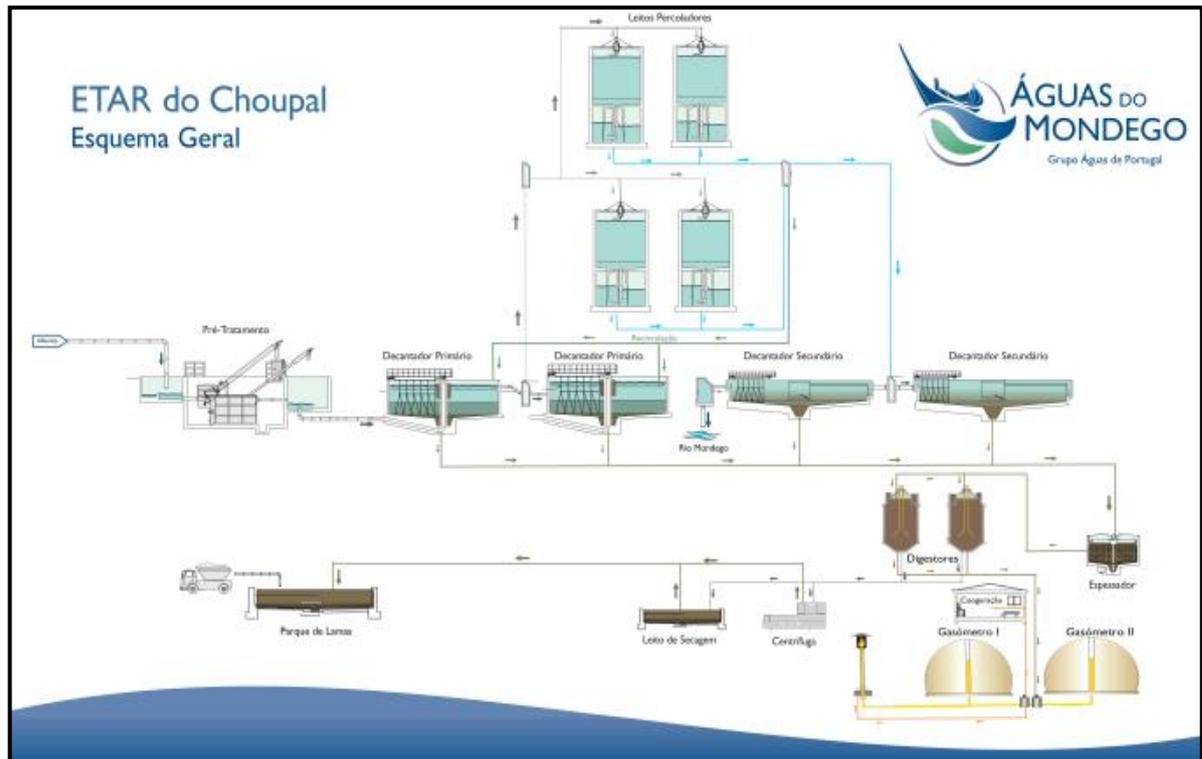


Figura 3.3 – Diagrama processual das fases líquida e sólida da ETAR do Choupal (Águas do Mondego @, 2013)

### 3.3 Caracterização Geral da Bacia

Caracterizar uma Bacia Hidrográfica (BH) requer conhecimentos da sua situação geográfica e da sua carta topográfica. Através da carta topográfica é possível conhecer as principais características fisiográficas da BH, que compreendem diferentes tipos: morfológicas (geometria), topográficas (relevo), geológicas (geologia), de cobertura vegetal e ocupação do solo (solos e vegetação) e climáticas (Carvalho e Tavares, 2010).

Para esta dissertação, torna-se relevante caracterizar a bacia de drenagem em termos de ocupação do solo e climáticos. Na caracterização da bacia a estudar, utilizou-se o *software* ArcGis.

### 3.3.1 Características da ocupação do solo

A precipitação que contribui para o escoamento superficial depende fortemente do tipo e ocupação do solo que vai condicionando, com maior ou menor dificuldade, os caminhos da água até atingir as linhas de água, ou neste caso, os coletores. Assim, a ocupação do solo e a determinação dos coeficientes de escoamento têm uma influência determinante. O coeficiente de escoamento da fórmula racional (C) é determinado em função do tipo de solo e sua ocupação, entre outros. Na determinação do coeficiente de escoamento, é necessário ter em conta possíveis alterações nas bacias de drenagem. Em bacias urbanas há em geral uma redução da capacidade de retenção superficial, devido ao aumento da impermeabilização e consequente aumento do coeficiente de escoamento (Carvalho e Tavares, 2010). A bacia de drenagem afluente à ETAR do Choupal, classificada como bacia urbana, é maioritariamente constituída por áreas urbanas. Contudo, existem áreas constituídas por espaços verdes e solos baldios. Para este estudo consideraram-se os valores de coeficiente de escoamento para espaços verdes, solos baldios, estradas, telhados de habitação e de indústria. O Quadro 3.1 mostra os valores de coeficiente de escoamento para áreas urbanas, propostos por Lencastre e Franco (1992) e Hipólito e Vaz (2011).

Quadro 3.1 – Valores de coeficiente de escoamento (adaptado de Lencastre e Franco, 1992 e Hipólito e Vaz, 2011)

| <b>Áreas Urbanas</b> (Valores válidos para um período de retorno, T, compreendido entre 5 e 10 anos) |                       |
|--|-----------------------|
| <b>Tipo de ocupação</b>  | <b>Coefficiente C</b> |
| <b>Zonas verdes</b>  |                       |
| relvados em solos arenosos   | 0,05 - 0,20           |
| relvados em solos pesados  | 0,15 - 0,35           |
| parques e cemitérios   | 0,10 - 0,25           |
| campos desportivos   | 0,20 - 0,35           |
| <b>Zonas comerciais</b>  |                       |
| centro da cidade   | 0,70 - 0,95           |
| periferia  | 0,50 - 0,70           |
| <b>Zonas residenciais</b>  |                       |
| vivendas no centro da cidade   | 0,30 - 0,50           |
| vivendas na periferia  | 0,25 - 0,40           |
| prédios de apartamentos  | 0,50 - 0,70           |
| <b>Zonas industriais</b>   |                       |
| indústria dispersa   | 0,50 - 0,80           |
| indústria concentrada  | 0,60 - 0,90           |
| <b>Vias férreas</b>  | 0,20 - 0,40           |
| <b>Ruas e estradas</b>   |                       |
| asfaltadas   | 0,70 - 0,95           |
| de betão   | 0,80 - 0,95           |
| de tijolo  | 0,70 - 0,85           |
| <b>Passeios</b>  | 0,75 - 0,85           |
| <b>Telhados</b>  | 0,75 - 0,95           |
| <b>Baldios</b>   | 0,10 - 0,30           |

Para caracterizar a superfície do terreno, utilizou-se uma carta de coeficiente de escoamento da bacia que caracterize o tipo e uso do solo, utilizando o *software* ArcGIS e, posteriormente, definiu-se os respetivos valores de coeficiente de escoamento.

Os SIG têm mostrado uma grande utilidade para determinar o parâmetro C em função da manipulação da carta geológica e da carta da ocupação do solo. Existem vários métodos para determinar a ocupação do solo, desde fotografias aéreas a interpretação de mapas de uso do solo. As técnicas de deteção remota que extraem informação temática através de imagens de satélite, têm-se revelado um meio eficaz na obtenção de informação atualizada acerca da superfície da terra, assumindo um papel fundamental na classificação de imagens. Estas técnicas de classificação estão normalmente incorporadas num SIG, o que facilita em muita a obtenção da respetiva informação.

A classificação pode ser efetuada utilizando o método da classificação supervisionada ou não supervisionada. Para esta dissertação utilizou-se o método de classificação supervisionada. Este método é o mais usado em deteção remota, consistindo na atribuição de *pixels* com resposta espectral idêntica a uma determinada classe, com o auxílio de um operador. O método decide as diferentes classes de ocupação do solo, identificando-as e localizando-as na imagem através de áreas de treino. Uma escolha correta das áreas de treino é essencial para que o classificador obtenha parâmetros descritivos das várias classes que se pretendem identificar na imagem de forma a poderem ser melhoradas para parâmetros aceitáveis. Os algoritmos de classificação supervisionada podem ser utilizados para atribuir um dado *pixel* à classe. O ArcGis utiliza o algoritmo da máxima verosimilhança que define-se como um classificador paramétrico na medida em que associa à assinatura espectral uma distribuição normal (Silva, 2013).

Para a classificação do solo na bacia de drenagem afluente à ETAR do Choupal, todos os processos foram realizados no ArcGis, utilizando o algoritmo de máxima verosimilhança.

Numa primeira abordagem procedeu-se à elaboração de georreferenciação, fotografias aéreas e construção do mosaico. As ortoimagens foram retiradas do ArcGis @ (2013) e por ser uma bacia extensa, a escala para a construção do mosaico foi de 1: 150 000. De seguida aplicou-se diretamente o algoritmo da máxima verosimilhança, obtendo-se a classificação do solo tal como desejado. Contudo, foram aplicados vários filtros que permitem uma melhor delimitação e homogeneização dos limites das classes. Por fim, obteve-se a carta representativa de C reclassificando estas classes com o número de C.

Em síntese, a metodologia aplicada para obtenção da carta de coeficiente de escoamento foi a seguinte:

1. Processo de georreferenciação;
2. Classificação da ocupação do solo pelo método da classificação supervisionada, utilizando o algoritmo da máxima verosimilhança;
  - a. Definição de classes;
  - b. Desenho das áreas de treino;
  - c. Definição da assinatura espectral;
  - d. Classificação, com aplicação dos filtros.
3. Obtenção da carta representativa dos coeficientes de escoamento, reclassificando as respectivas classes com o número de coeficientes de escoamento correspondente.

A Figura 3.4 ilustra a ortoimagem e a carta final da ocupação do solo da bacia afluyente à ETAR do Choupal.

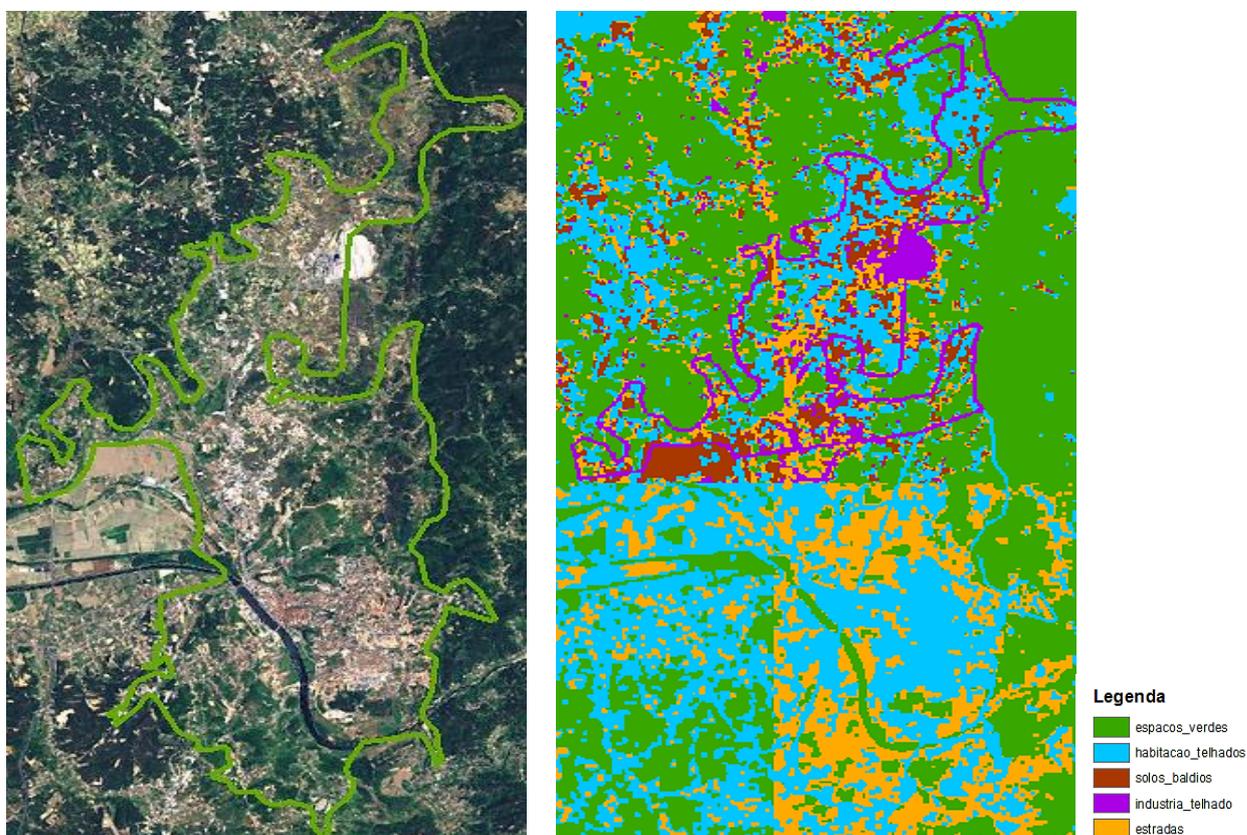


Figura 3.4 – Bacia afluyente à ETAR do Choupal: à esquerda – ortoimagem (ArcGis@ 2013); à direita – carta da ocupação do solo

Da análise da Figura 3.4 pode-se constatar que a bacia apresenta uma área significativa de habitações. Porém, existe também uma área extensa constituída por espaços verdes.

### 3.3.2 Características climáticas – ocupação hidrometeorológica

A caracterização climática de uma bacia hidrográfica compreende o aspeto climático relativo aos fatores meteorológicos precipitação, evaporação/evapotranspiração, temperatura e insolação. O fator meteorológico relevante a ser estudado nesta bacia é a precipitação, de forma a compreender a uniformidade da distribuição da precipitação em toda a área da bacia.

Para a análise da precipitação considera-se os valores de precipitações e respetiva localização (de acordo com o posto udométrico). A caracterização pode ser complementada pela aplicação dos métodos de precipitação média (Método de *Thiessen* ou das áreas de influência). Este método baseia-se no traçado de polígonos (polígonos de *Thiessen*) formados pelas mediatrizes dos lados dos triângulos com vértices nos postos udométricos. O polígono que contém um posto udométrico limita a área de influência desse posto dentro da qual se considera a precipitação uniforme e igual à que nele se observa.

O Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH), do Instituto da Água (INAG) disponibiliza informação diversa relacionada com os recursos hídricos em Portugal. Para a bacia em estudo, as estações meteorológicas predominantes são Trouxemil, Coimbra e o Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC). Como tal, a partir das estações meteorológicas, analisou-se a informação registada pela rede do SNIRH (SNIRH@, 2013) através da página WEB, disponibilizada pelo INAG<sup>2</sup>. A precipitação média da bacia afluente à ETAR do Choupal foi determinada pelo Método de *Thiessen* de forma automática através do *software* ArcGis. Assim, com a ferramenta “*Analyst tools*”, traçou-se os polígonos de *Thiessen* para a bacia, limitando a área de influência para cada posto udométrico. A Figura 3.5 apresenta a bacia da ETAR do Choupal, com a representação dos postos udométricos e respetivas áreas de influência calculadas pelo Método de *Thiessen*. Da análise da Figura 3.5 pode-se determinar a área de influência para cada posto udométrico para o cálculo da precipitação média na bacia. A partir das estações meteorológicas predominantes na bacia, analisou-se a informação registada e através do Método de *Thiessen*, determinou-se as áreas de influência de cada posto udométrico, como se pode observar na Figura 3.5. O Quadro 3.2 apresenta as áreas de influência de cada posto.

---

<sup>2</sup> Disponível em <http://snirh.inag.pt>

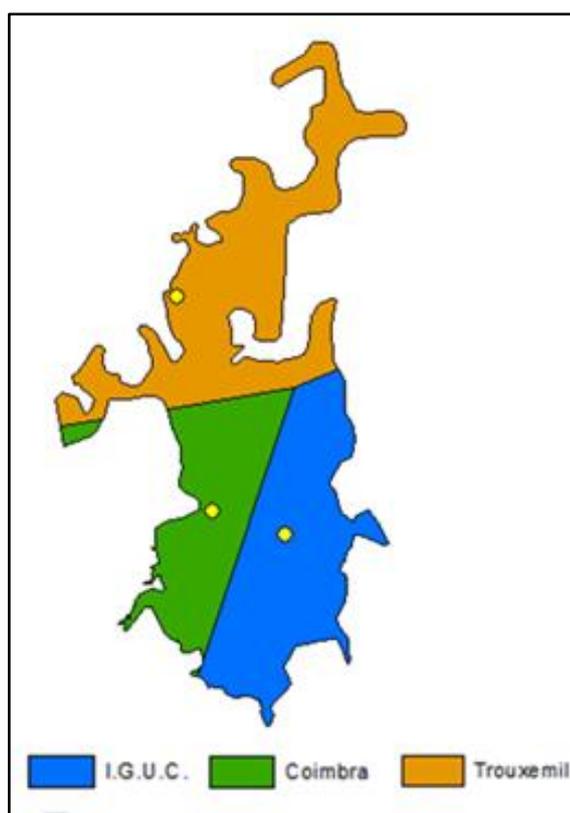


Figura 3.5 – Áreas de influência para a bacia afluyente à ETAR do Choupal / Método de *Thiessen*

Quadro 3.2 – Áreas de influência da bacia afluyente à ETAR do Choupal

| Postos       | Área de influência (km <sup>2</sup> ) | Área de influência (%) |
|--------------|---------------------------------------|------------------------|
| I.G.U.C.     | 28,3                                  | 35%                    |
| Trouxemil    | 32,9                                  | 41%                    |
| Coimbra      | 20,1                                  | 25%                    |
| <b>Total</b> | <b>81,2</b>                           | <b>100%</b>            |

Da análise do Quadro 3.2 pode-se constatar que Trouxemil é o posto que apresenta maior influência na bacia, com 41% de influência, seguido do IGUC, com 35% de influência e por fim Coimbra, com 25% de influência. Aplicado o Método de *Thiessen* na bacia, analisou-se os dados de precipitação para os três postos influentes no período em estudo, e calculou-se a precipitação média ponderada através da seguinte expressão:

$$P_{média} = \frac{P_{IGUC} * A_{IGUC} + P_{Trouwemil} * A_{Trouwemil} + P_{Coimbra} * A_{Coimbra}}{A_{Total}} \quad (1)$$

No período em estudo verificou-se, por vezes, a inexistência de dados de precipitação em alguns postos udométricos pertencentes à bacia. As estações apresentaram falhas nos seus registos, possivelmente devido à ineficiência dos instrumentos. Deste modo, aplicou-se igualmente o Método de *Thiessen* e utilizou-se novamente o *software* ArcGis para os casos em que existiam apenas dois postos udométricos. Optou-se por determinar as áreas de influência IGUC - Trouxemil e IGUC - Coimbra, por serem áreas que no seu conjunto são mais predominantes na bacia. As áreas de influência dos postos IGUC – Trouxemil e IGUC – Coimbra para a bacia afluente à ETAR do Choupal estão representados na Figura 3.6.

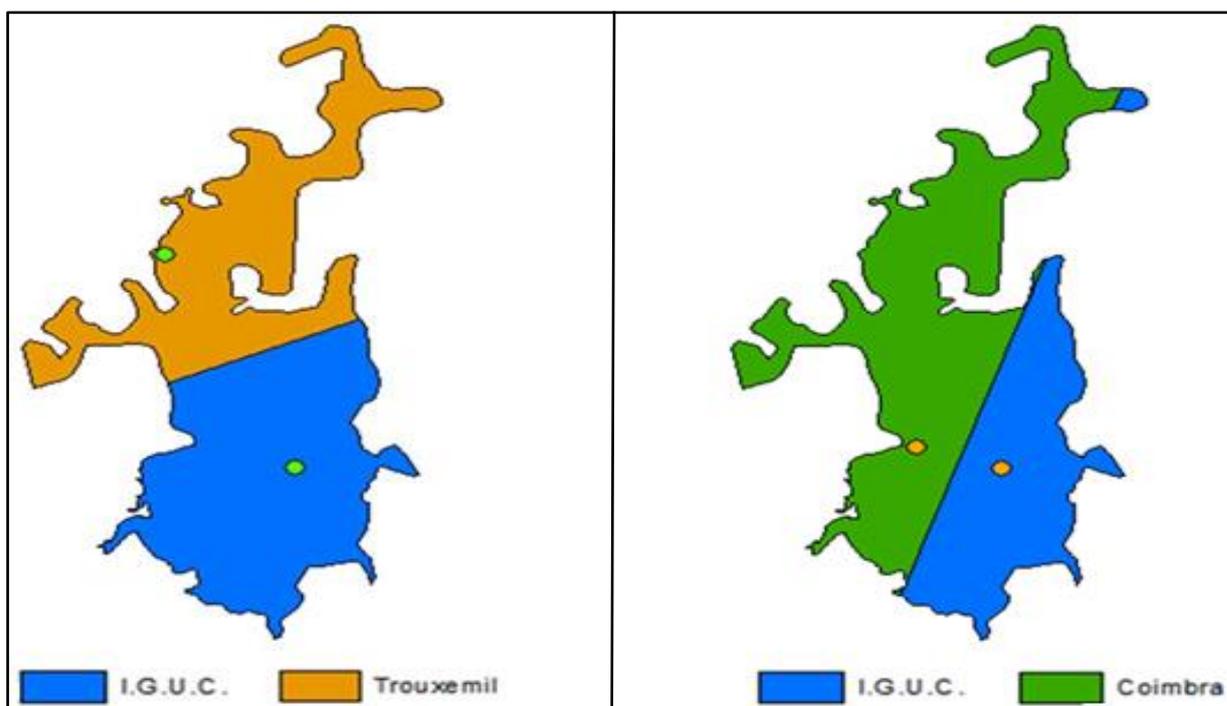


Figura 3.6 – Áreas de influência para a bacia afluente à ETAR do Choupal / Método de Thiessen: IGUC-Trouwemil e IGUC-Coimbra

Após aplicação do método de *Thiessen* determinou-se as áreas de influência para IGUC - Trouxemil e IGUC - Coimbra. O Quadro 3.3 indica as áreas de influência para cada posto.

Quadro 3.3 – Áreas de influência da bacia afluente à ETAR do Choupal para os postos IGUC – Trouxemil e IGUC- Coimbra

| Postos             | I.G.U.C                               |                        | Coimbra                               |                        | Trouxemil                             |                        |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|
|                    | Área de influência (km <sup>2</sup> ) | Área de Influência (%) | Área de influência (km <sup>2</sup> ) | Área de Influência (%) | Área de influência (km <sup>2</sup> ) | Área de Influência (%) |
| I.G.U.C. Trouxemil | 45,8                                  | 56%                    | -                                     | -                      | 35,4                                  | 44%                    |
| I.G.U.C. Coimbra   | 30,6                                  | 38%                    | 50,6                                  | 62%                    | -                                     | -                      |

Da análise do Quadro 3.3 pode-se verificar que quando os postos são IGUC - Trouxemil, a área para o posto de Trouxemil é menor, com 44% de influência. Quando se tem IGUC - Coimbra, o posto com maior influência é Coimbra, com 62% de influência.

Em suma, para caracterizar a precipitação e estudar a relação de caudais afluentes à ETAR, utilizou-se três situações distintas: análise de precipitação para os três postos influentes Coimbra – IGUC – Trouxemil e análise de precipitação para dois postos influentes IGUC - Coimbra e IGUC - Trouxemil. Na ausência de informação udográfica para a cidade de Coimbra, foram utilizados dados de precipitações existentes no IGUC, único posto na zona de Coimbra onde existem pluviógrafos. Deste modo, atendendo aos dados disponíveis para o estudo das precipitações diárias, foram selecionados os dados pretendidos para o período em estudo, de janeiro de 2001 a julho de 2012. De notar que os dados diários referem-se a períodos de 24 horas, com início às 9 horas do dia anterior ao dia que identifica o valor da precipitação.

A análise da precipitação permitiu observar, em termos gerais, quais os anos que mostraram ser tempo húmido. De acordo com os dados registados, pode-se constatar que os anos com mais eventos de precipitação foram de 2005 até 2011.

### 3.3.3 Características hidrográficas

A caracterização hidrográfica compreende vários aspetos, incluindo as divisões da bacia e pode ser complementada com a descrição da rede hidrométrica – nº de estações e respetivas características (localização, área da BH drenada, período de observação), entre outros (Carvalho e Tavares, 2010).

A característica hidrográfica mais importante a estudar nesta bacia é o tempo de concentração. O tempo de concentração define-se como o tempo de equilíbrio ou instante a partir do qual toda a área da bacia contribui para o escoamento na secção de referência. O tempo de

concentração é uma característica de cada bacia hidrográfica e depende essencialmente da área, forma, declive, da rede de drenagem e ocupação do solo (Carvalho e Tavares, 2010). Para determinar o tempo de concentração com rigor, deve fazer-se o somatório dos tempos de escoamento ao longo dos vários troços de drenagem de uma dada bacia.

O cálculo do tempo de concentração para a bacia de drenagem da ETAR do Choupal expressa-se da seguinte forma:

$$t_c (\text{min}) = t_p + t_e \quad (2)$$

em que  $t_p$  é o tempo de percurso inicial com o valor de 5 min para áreas urbanizadas;  $t_e$  é o tempo de escoamento dado por:

$$t_e = \frac{L}{V} \quad (3)$$

onde  $L$  (m) representa o comprimento do maior coletor pertencente à bacia e  $V$  (m/s) a velocidade máxima de escoamento para águas pluviais. De acordo com o RGSPDADAR, a velocidade de escoamento para águas pluviais pode variar entre 0,9 m/s a 5 m/s.

O Quadro 3.4 mostra o tempo de concentração da bacia de drenagem da ETAR do Choupal

Quadro 3.4 – Tempo de concentração da bacia afluyente à ETAR do Choupal

| <b>Velocidade (m/s)</b>          | <b>0,9</b> | <b>1,5</b> | <b>3</b> | <b>5</b> |
|----------------------------------|------------|------------|----------|----------|
| Comprimento do maior coletor (m) | 22070      | 22070      | 22070    | 22070    |
| <b>Tempo de concentração (h)</b> | 6,89       | 4,17       | 2,13     | 1,31     |

Da análise do Quadro 3.4 pode-se concluir que o tempo que toda a área da bacia atualmente contribui para o escoamento pode variar entre 1,3 a 6,9 horas, aproximadamente. Para se ter uma noção de quais os tempos de concentração mais apropriados, analisou-se o caudal afluyente à ETAR quando ocorreu com um evento de curta duração e comparou-se com um dia consecutivo em tempo seco. A Figura 3.7 ilustra a variação do caudal ao longo do dia em tempo seco (dia 8 de Junho de 2006, dia útil) e ao longo do dia da precipitação (dia 9 de Junho de 2006, dia útil). Visto que o registo da maior precipitação ocorre entre as 13 e 14 horas e o valor máximo do caudal afluyente à ETAR ocorre, aproximadamente, às 18h (Figura 3.7), considerou-se o tempo de concentração de 4 horas.

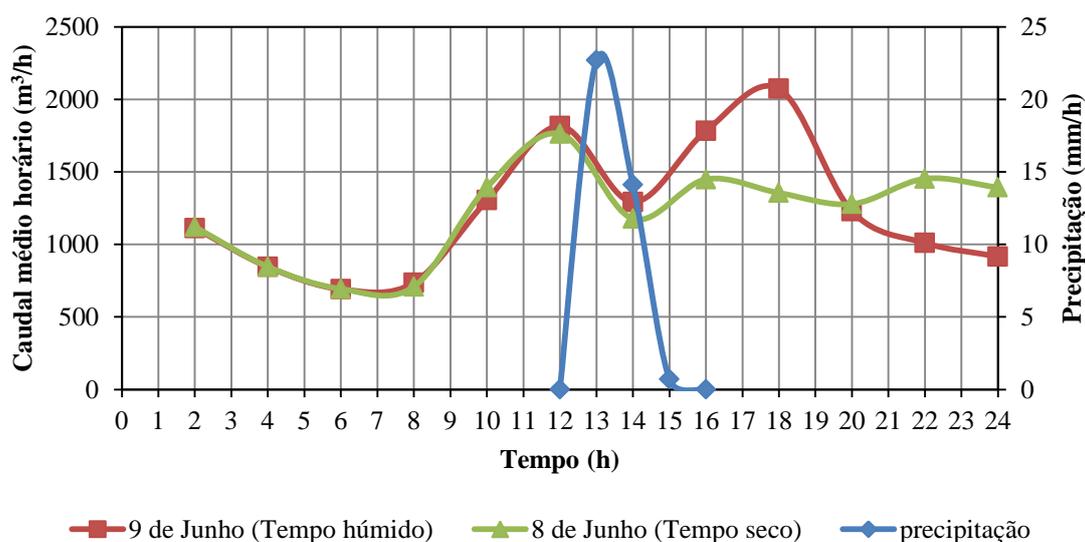


Figura 3.7 – Precipitação vs Caudal médio horário nos dias 8 e 9 de Junho de 2011

### 3.4 Componentes do Sistema de Drenagem da Bacia da ETAR do Choupal

Os sistemas de águas residuais sejam separativos ou unitários, dispõem de um conjunto de componentes principais que incluem ramais de ligação à rede de drenagem pública, coletores, câmaras de visita, sarjetas e, sumidouros, entre outros.

O ficheiro fornecido, em Autocad, apresenta a bacia da ETAR do Choupal com todos os sistemas de drenagem, separativos e unitários, e as componentes principais.

Para este estudo torna-se relevante analisar os coletores de águas residuais e pluviais, estações elevatórias e emissários existentes na bacia, bem como as principais características (diâmetro, tipo de coletor e o ano de construção), de forma a compreender a evolução da bacia ao longo do período em estudo. Assim, a partir do ficheiro fornecido, utilizou-se o *software* ArcGis e criou-se uma base de dados para organizar os coletores existentes na bacia por anos.

O procedimento para elaborar uma base de dados em formato SIG foi feito do seguinte modo:

- Criação de uma *File Geodatabase* (FG), armazenando todos os dados e criação de vários conjuntos de dados dentro da FG (*feature datasets*), partilhando o mesmo sistema de coordenadas;
- Introdução do ficheiro da bacia em formato AutoCAD para o *software* e extração dos dados pretendidos para o estudo (neste caso, as componentes do sistema de drenagem);

- Organização e preenchimento da base de dados que contém o diâmetro, material e ano de construção para as diferentes componentes do sistema de drenagem sendo elas, condutas da rede doméstica e pluvial, emissários e estações elevatória. A Figura 3.8 ilustra um exemplo da organização da base de dados para a bacia da ETAR do Choupal.

| OBJECTID * | Shape *    | Entity     | Layer          | Color | Linetype   | Elevation | LineWt | RefName | ADMAPKEY | Shape Length | Ano  | Diametro | Material |
|------------|------------|------------|----------------|-------|------------|-----------|--------|---------|----------|--------------|------|----------|----------|
| 11613      | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 13,405352    | 2001 | 450      | BETAO    |
| 11615      | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 13,04682     | 2001 | 450      | BETAO    |
| 11616      | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 6,537037     | 2001 | 200      | PVC      |
| 11617      | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 9,068423     | 2001 | 250      | BETAO    |
| 11650      | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 144,673565   | 2001 | 200      | PVC      |
| 11957      | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 5,513009     | 2001 | 200      | PVC      |
| 3787       | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 40,234669    | 2002 | 250      | PVC      |
| 3862       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 37,858069    | 2002 | 200      | PVC      |
| 3863       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 33,98243     | 2002 | 200      | PVC      |
| 4498       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 54           | 2002 | 200      | PVC      |
| 4574       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 50,916215    | 2002 | 200      | PVC      |
| 4817       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 43,550456    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8539       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 60,735195    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8587       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 29,743124    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8589       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 30,350656    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8591       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 29,676731    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8593       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 59,986706    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8594       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 39,756362    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8596       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 60,348078    | 2002 | 200      | PVC      |
| 8598       | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 59,779091    | 2002 | 200      | PVC      |
| 10051      | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 32,054631    | 2002 | 200      | PVC      |
| 10053      | Polyline Z | LWPolyline | etar coimbra   | 1     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 60,064254    | 2002 | 200      | PVC      |
| 11782      | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 43,438107    | 2002 | 300      | BETAO    |
| 505        | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 105,633338   | 2003 | 400      | BETAO    |
| 506        | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 182,2        | 2003 | 600      | BETAO    |
| 508        | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 73,071682    | 2003 | 700      | BETAO    |
| 860        | Polyline Z | LWPolyline | Rede - Pluvial | 5     | Continuous | 0         | 25     |         | 0        | 44,330612    | 2003 | 400      | BETAO    |

Figura 3.8 – Base de dados para a bacia da ETAR do Choupal (retirado do ArcGis)

Da análise da bacia, previamente extraída para o ArcGis, pode-se constatar que existe informação de 2000 até 2012. Assim, optou-se por estudar a bacia para o período de 11 anos (2001 a 2012). A Figura 3.8 mostra a base de dados das condutas para o ano 2001, 2002 e 2003. Por ser uma base de dados extensa, optou-se por ilustrar apenas um exemplo da sua organização.

A evolução da bacia ao longo do período 2001-2012 encontra-se representada no Anexo A. Da análise da Figura 3.8 e da restante base de dados pode-se verificar que existem diferentes tipos de materiais ao longo dos anos, destacando-se maioritariamente o betão simples para os anos de 2001 a 2007 e o Policloreto de Vinilo (PVC) para os anos 2007 a 2012. Conclui-se que a bacia sofreu uma mudança, no que respeita ao tipo de diâmetros. Através da base de dados pode-se constatar que, em 2007, a bacia sofreu uma evolução significativa em termos de área contribuinte, apresentando maior número de coletores de águas residuais e pluviais.

Analisando as Figuras A.1,A.2 e A.3 apresentadas no Anexo A, pode-se verificar que em 2001 a área contribuinte era pequena. No entanto, a partir de 2003, a área contribuinte aumentou significativamente e em 2007 até 2012, a bacia sofreu uma intervenção ainda mais

significativa, com um aumento de coletores domésticos e pluviais, levando a um aumento da área contribuinte.

Em suma, a bacia de drenagem em estudo sofreu alterações significativas, refletindo-se no aumento da área a drenar até à ETAR.

## 4 ANÁLISE DE DADOS

### 4.1 Análise de Dados da ETAR

A ETAR do Choupal pode ser caracterizada em termos quantitativos (análise dos caudais afluentes à ETAR) e qualitativos (análise da qualidade da água). Para estudar a relação da precipitação com os caudais afluentes, analisa-se os dados da ETAR<sup>3</sup> em tempo seco, distinguindo dias úteis de dias de semana, de forma a compreender o comportamento dos caudais de origem doméstica ao longo do dia e análise diária, bem como a qualidade da água. Seguidamente analisam-se os dados diários quando ocorrem eventos de precipitação em diferentes períodos ao longo dos 10 anos.

#### 4.1.1 Tempo seco

A análise dos caudais afluentes de origem doméstica foi realizada com base nos registos de caudais medidos na ETAR em períodos secos. Admite-se tempo seco quando não há influência de precipitação, sendo o caudal afluente à rede predominantemente de origem doméstica (note-se que pode haver igualmente descargas de origem industrial). Considera-se um período seco, um período sem ocorrência de precipitação ou com registos horários inferiores a 0,5 mm. Para determinar os caudais médios diários em tempo seco, foi feita uma análise rigorosa dos dados de precipitação e de caudal. Consideraram-se períodos secos, meses em que houve mais de 15 dias seguidos sem precipitação. Assim, ao comparar os valores dos respetivos anos, determinou-se os períodos com tempo seco, calculando a média dos caudais nesses períodos. De um modo geral, os caudais de origem doméstica apresentam uma forte variabilidade ao longo do dia, da semana e até ao longo do ano. Na Figura 4.1 apresenta-se uma análise de caudais médios horários, em vários dias da semana e fim de semana, em tempo seco.

---

<sup>3</sup> Utilização autorizada para fins académicos

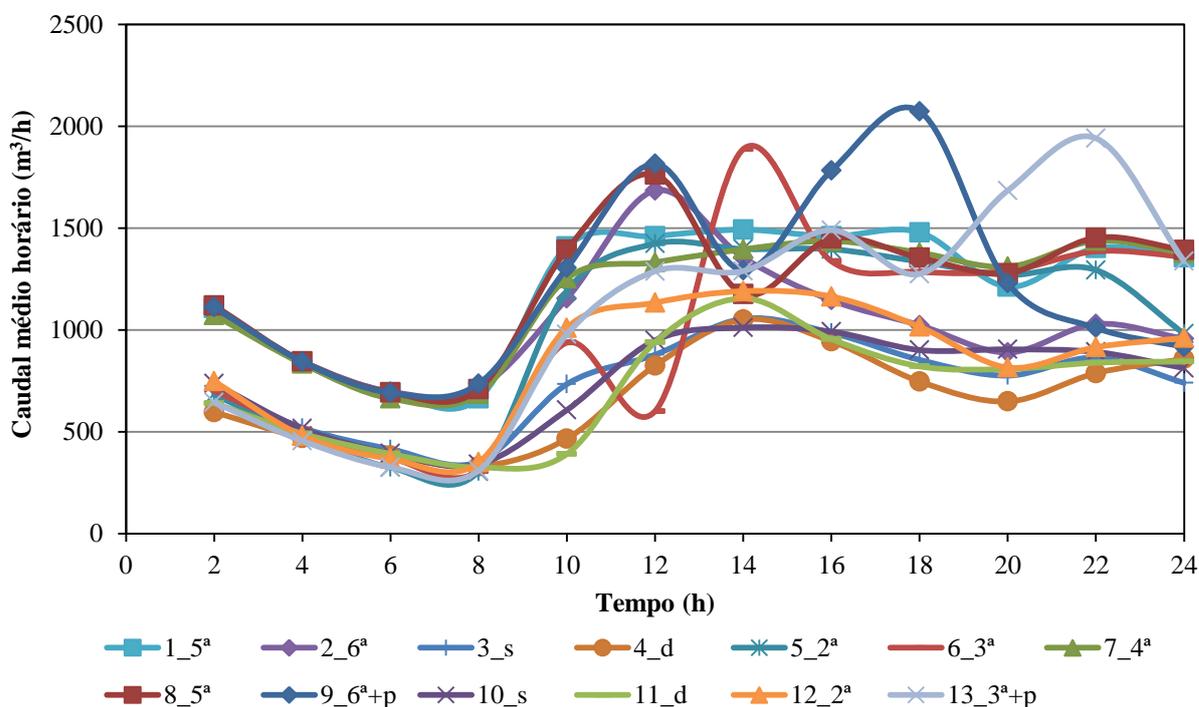


Figura 4.1 – Variação do caudal médio horário em tempo seco (Junho de 2006)

Da análise da Figura 4.1 pode-se constatar que os fins de semana e os dias úteis apresentam um comportamento similar (os dias úteis, por vezes, apresentam umas exceções pontuais). Verifica-se que na sexta-feira o comportamento do caudal no início do dia é igual aos dias úteis mas no final do dia já apresenta um comportamento igual ao fim de semana. À segunda-feira e por vezes à terça-feira, o comportamento do caudal no início do dia é igual ao fim de semana, mas no fim do dia já apresenta um comportamento igual à semana. De notar que no dia 6, o comportamento do caudal é diferente para os outros dias, o que pode ser justificado por uma possível anomalia no início. Para simplificação considerou-se ainda a divisão em dias úteis e fins de semana. A Figura 4.2 ilustra a variação do caudal ao longo de vários dias úteis e de um fim de semana, escolhidos aleatoriamente. Durante este período registou-se para os dias úteis o maior valor horário entre 345 a 360 l/s, que ocorreu às 12 horas e no fim de semana um valor entre 318 e 347 l/s que ocorreu às 14 horas.

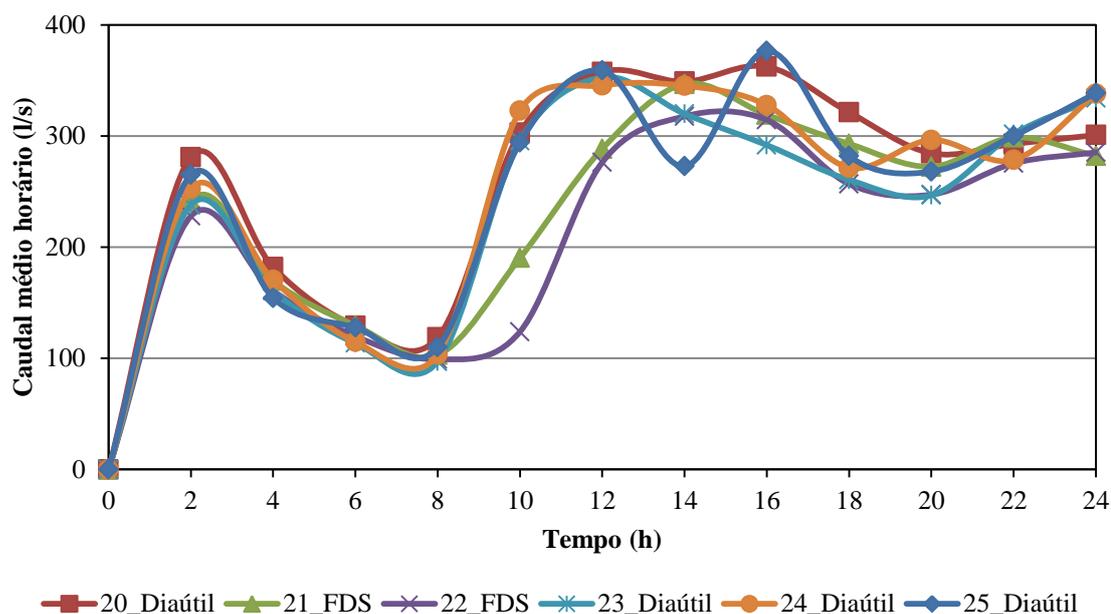


Figura 4.2 – Variação do caudal médio horário em tempo seco (Maio de 2011)

Nos Quadros 4.1 e 4.2 estão representados os caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal, para os dias úteis e fins de semana, respetivamente. Os dados apresentados correspondem ao período em estudo, de janeiro de 2001 a julho de 2012. Salienta-se, como descrito anteriormente, que a bacia sofreu alterações durante o período em análise, destacando-se o aumento da área afluente à ETAR em 2007.

Quadro 4.1 – Caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal durante a semana

| Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /dia) | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Janeiro</b>                            | 1428 | 681  | 1018 | 1031 | 1016 | 1174 | 994  | 1702 | 1675 | 1801 | 1247 | 900  |
| <b>Fevereiro</b>                          | 881  | 1096 | 1144 | 924  | 1032 | 1036 | 1287 | 1289 | 1289 | 2229 | 1546 | 870  |
| <b>Março</b>                              | 1122 | 827  | 1159 | 886  | 1103 | 1321 | 1082 | 1227 | 1168 | 1766 | 1166 | 848  |
| <b>Abril</b>                              | 777  | 862  | 986  | 1243 | 1220 | 1258 | 1082 | 2191 | 1434 | 1237 | 1247 | 1233 |
| <b>Maio</b>                               | 847  | 868  | 981  | 1288 | 1254 | 1170 | 779  | 1502 | 1188 | 1379 | 1111 | 1227 |
| <b>Junho</b>                              | 832  | 800  | 917  | 1284 | 1257 | 1198 | 1268 | 1218 | 1224 | 1253 | 1127 | 943  |
| <b>Julho</b>                              | 879  | 749  | 871  | 1227 | 1170 | 1226 | 997  | 1151 | 1103 | 1013 | 1185 | 917  |
| <b>Agosto</b>                             | 705  | 528  | 773  | 756  | 862  | 959  | 858  | 1310 | 864  | 1042 | 1025 | -    |
| <b>Setembro</b>                           | 871  | 769  | 727  | 906  | 1080 | 836  | 978  | 1233 | 1275 | 1034 | 1205 | -    |
| <b>Outubro</b>                            | 970  | 867  | 996  | 1377 | 1459 | 1763 | 1004 | 1351 | 1506 | 1215 | 1196 | -    |
| <b>Novembro</b>                           | 864  | 1147 | 971  | 1165 | 1419 | 2210 | 1187 | 1196 | 1833 | 1585 | 1723 | -    |
| <b>Dezembro</b>                           | 787  | 1628 | 735  | 1063 | 1270 | 2017 | 1688 | 1557 | 2256 | 2324 | 1077 | -    |

Quadro 4.2 – Caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal durante o fim de semana

| Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /dia) | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Janeiro</b>                            | 1196 | 630  | 932  | 1047 | 904  | 1116 | 947  | 1792 | 1303 | 1764 | 1179 | 902  |
| <b>Fevereiro</b>                          | 802  | 1050 | 966  | 899  | 936  | 1085 | 1126 | 1313 | 1109 | 2266 | 1401 | 822  |
| <b>Março</b>                              | 1044 | 716  | 1149 | 772  | 1070 | 1835 | 1150 | 1169 | 1163 | 1753 | 1110 | 811  |
| <b>Abril</b>                              | 545  | 819  | 959  | 1313 | 1240 | 1688 | 922  | 2270 | 1402 | 1134 | 1347 | 1152 |
| <b>Maió</b>                               | 802  | 815  | 873  | 1304 | 1309 | 1223 | 543  | 1302 | 1123 | 1446 | 1147 | 1024 |
| <b>Junho</b>                              | 891  | 888  | 987  | 1310 | 1164 | 857  | 1228 | 1166 | 1411 | 1212 | 1051 | 908  |
| <b>Julho</b>                              | 802  | 810  | 915  | 1233 | 1112 | 1086 | 1054 | 1101 | 985  | 952  | 1043 | 862  |
| <b>Agosto</b>                             | 733  | 569  | 778  | 733  | 909  | 989  | 856  | 1005 | 840  | 1004 | 1043 | -    |
| <b>Setembro</b>                           | 843  | 675  | 795  | 955  | 1101 | 727  | 943  | 1330 | 1288 | 979  | 1172 | -    |
| <b>Outubro</b>                            | 996  | 1004 | 1136 | 1370 | 1861 | 1768 | 1247 | 1250 | 1251 | 1325 | 1194 | -    |
| <b>Novembro</b>                           | 811  | 1164 | 936  | 1231 | 1395 | 2224 | 957  | 1254 | 1807 | 1575 | 1568 | -    |
| <b>Dezembro</b>                           | 772  | 1498 | 814  | 1116 | 1678 | 2011 | 1061 | 2008 | 1611 | 1571 | 1335 | -    |

Através dos registos de caudais médios diários indicados nos Quadros 4.1 e 4.2, constata-se, no geral, que existe uma variação de caudais durante a semana e ao fim de semana. Pode-se verificar que durante a semana os valores de caudais são significativamente maiores que ao fim de semana, uma vez que existem diferenças na população de Coimbra ao longo do ano (diferenças significativas entre população presente e residente).

Uma vez que se pretender analisar o caudal afluente à ETAR em tempo seco, no Quadro 4.3 estão resumidas os caudais médios diários afluentes à ETAR durante o tempo seco.

Quadro 4.3 – Caudais médios diários afluentes à ETAR do Choupal em tempo seco

| Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /dia) | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Janeiro</b>                            | -    | -    | -    | -    | 1193 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 931  |
| <b>Fevereiro</b>                          | -    | -    | -    | -    | 1018 | -    | -    | 1500 | 1314 | -    | -    | 911  |
| <b>Março</b>                              | -    | 681  | -    | -    | 1033 | -    | -    | -    | 1135 | 1409 | -    | 950  |
| <b>Abril</b>                              | 684  | 784  | -    | 1133 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1158 | -    |
| <b>Maió</b>                               | 847  | -    | 946  | -    | -    | 1352 | -    | -    | 1135 | 1370 | -    | 1414 |
| <b>Junho</b>                              | 854  | -    | -    | 1258 | 1241 | 1164 | -    | 1184 | 1215 | 1140 | 1088 | 1019 |
| <b>Julho</b>                              | -    | 735  | -    | 1259 | 1176 | 1199 | 1050 | 1146 | 1125 | 1042 | 1159 | 975  |
| <b>Agosto</b>                             | 717  | 532  | 756  | 686  | 858  | 859  | 863  | 1509 | 766  | 980  | 1027 | -    |
| <b>Setembro</b>                           | 830  | -    | 770  | -    | -    | 908  | -    | -    | 1232 | 1011 | 1157 | -    |
| <b>Outubro</b>                            | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 990  | -    | 1316 | 1156 | 1183 | -    |
| <b>Novembro</b>                           | 846  | -    | -    | 1165 | -    | -    | 947  | 1034 | -    | -    | -    | -    |
| <b>Dezembro</b>                           | 817  | -    | -    | -    | 1214 | -    | 1093 | -    | -    | 1565 | 885  | -    |

Da análise do Quadro 4.3 pode verificar-se que a ETAR, em tempo seco, apresenta valores de caudais entre cerca de 500 m<sup>3</sup>/dia (agosto de 2002) a cerca de 1500 m<sup>3</sup>/dia (dezembro de 2010). Analisando o período de 2001 a 2012, observa-se que, com exceção do ano de 2008, há uma diminuição dos valores médios do caudal mensal nos meses de Verão, como seria de esperar. A representação dos caudais médios diários, em termos anuais está representada na Figura 4.2.

A Figura 4.3 representa o diagrama de caixa (em terminologia anglo-saxónica *box plot*) dos valores médios, mínimos e máximos dos caudais médios diários, para cada ano. O processo para a construção do diagrama de caixa passa por:

- Cálculo da mediana e dos quartis (o quartil inferior contém 25% (1/4) dos menores valores e o quartil superior 75% (3/4) de todos os valores);
- Construção do diagrama onde se localiza a mediana; a base representa o quartil inferior dos menores valores e o topo da caixa o quartil superior dos valores observados, concentrados na tendência central dos valores, eliminando os 25% menores valores e 25% maiores valores;
- Marcação do segmento de reta vertical que liga o topo da caixa ao maior valor observado e outro segmento liga a base da caixa ao menor valor observado.

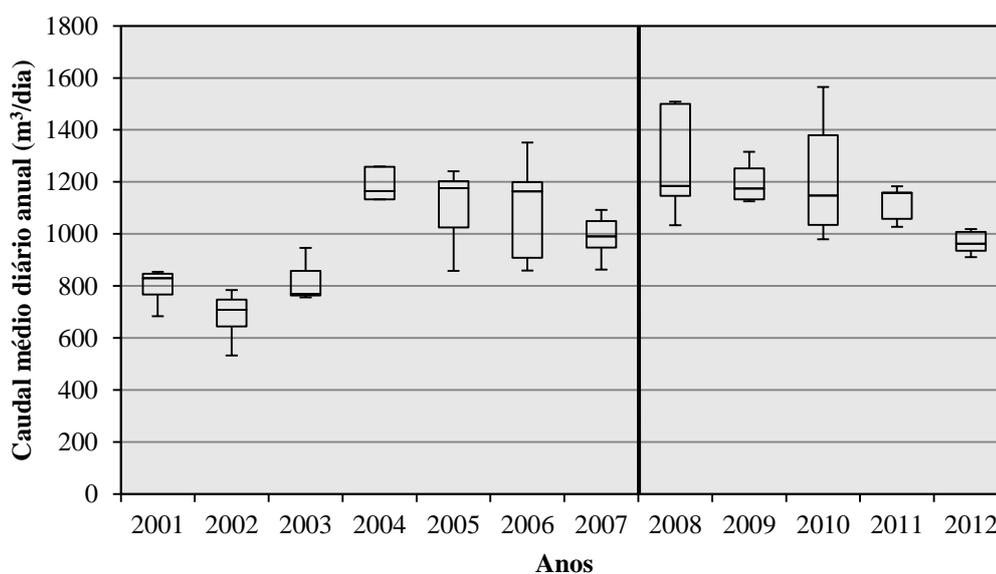


Figura 4.3 – Caudais médios diários anuais em tempo seco

O diagrama indica a gama de valores médios possíveis que o caudal pode assumir, representando também o valor limite superior e inferior, para cada ano<sup>4</sup>. Da análise da Figura 4.3, pode-se observar que nos anos 2005, 2006, 2008 e 2010, o valor do caudal médio diário apresentou uma maior variação, assumindo valores diferentes ao longo de cada ano. Nos restantes anos, os valores do caudal médio diário encontram-se mais próximos do valor da mediana, verificando uma relação constante. Pode-se ainda constatar que a partir de 2007 houve um aumento significativo no valor dos caudais médios diários anuais, confirmando o

<sup>4</sup> Note-se que não foi possível analisar por completo o ano 2012, por falta de dados.

aumento da área a drenar para a ETAR. Na Figura 4.4 estão representados os caudais médios diários anuais por mês.

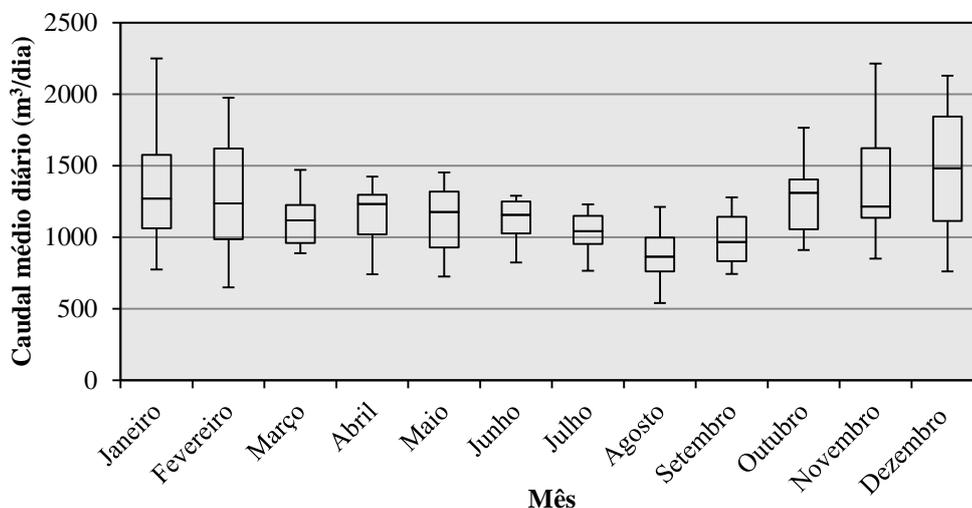


Figura 4.4 – Caudais médios diários anuais por mês

Da análise da Figura 4.4, pode-se verificar que os meses de Inverno apresentam uma maior variação de caudais. Em agosto, pode-se comprovar novamente que existe uma menor variação, por ser um mês seco e por haver menos população residente em Coimbra.

Após análise da caracterização quantitativa da ETAR em tempo seco, é feita a análise qualitativa. A análise da qualidade de água foi realizada com base nos registos dos resultados analíticos da ETAR. Os parâmetros analíticos a serem analisados para o efluente bruto em tempo seco são Carência Bioquímica do Oxigénio (CBO), Carência Química do Oxigénio (CQO) e Sólidos Suspensos Totais (SST). Após análise dos caudais afluentes em tempo seco, foi também determinado, para os mesmos períodos, os valores médios dos parâmetros a analisar. Na Figura 4.5 está representado o diagrama de caixa dos valores médios, mínimos e máximos da CBO registados à entrada da ETAR, para o período considerado.

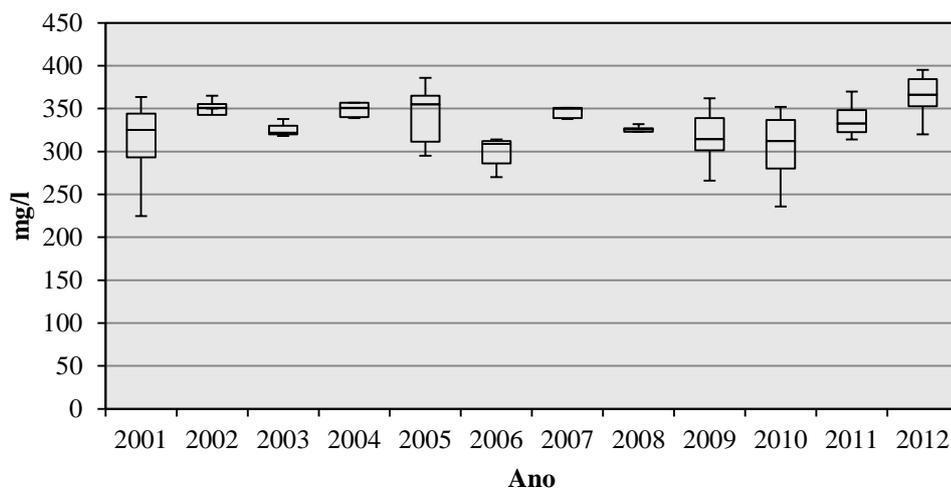


Figura 4.5 – Valores médios anuais da CBO em tempo seco

Para a análise dos parâmetros analíticos foi utilizado o mesmo processo de construção do diagrama dos caudais afluentes. Em relação aos valores médios da CBO, pode-se constatar uma relação constante ao longo do tempo, com valores entre 200 e 400 mg/l. Através da Figura 4.5 pode-se verificar que para os anos 2002, 2003, 2004, 2007 e 2008, os valores médios da CBO estão mais próximos da mediana. Nos restantes anos, a variação dos valores é maior, assumindo diferentes valores ao longo de cada ano.

O diagrama em caixa dos valores médios, mínimos e máximos da CQO registados à entrada da ETAR, para o período considerado, estão representados na Figura 4.6.

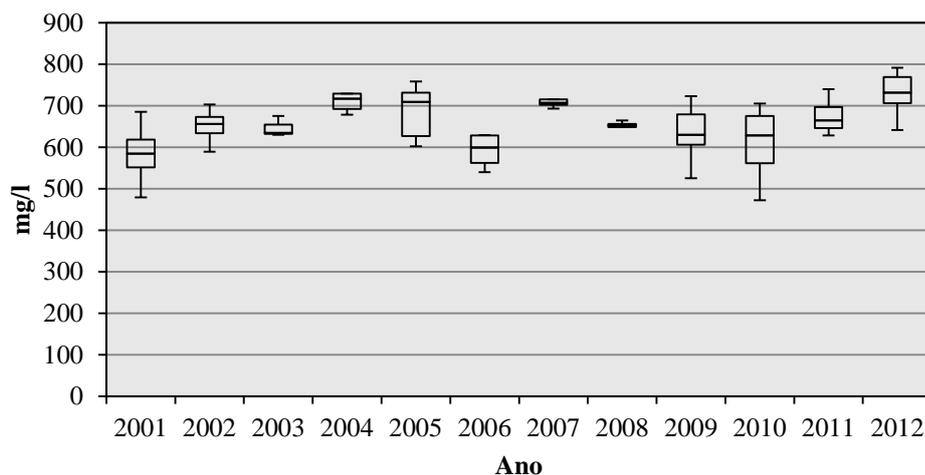


Figura 4.6 – Valores médios anuais da CQO em tempo seco

À semelhança do que se pode observar na Figura 4.5, também na Figura 4.6 se verifica uma relação constante dos valores médios da CQO, variando entre 450 e 800 mg/l. Do mesmo modo que para a CBO, também nos anos 2002, 2003, 2004, 2007 e 2008, os valores médios estão próximos da mediana, não havendo variação. Em relação aos restantes anos, os valores médios da CQO apresentam uma maior variação, assumindo valores distintos ao longo de cada ano.

A Figura 4.7 apresenta o diagrama em caixa dos valores médios, mínimos e máximos dos SST, para o período considerado.

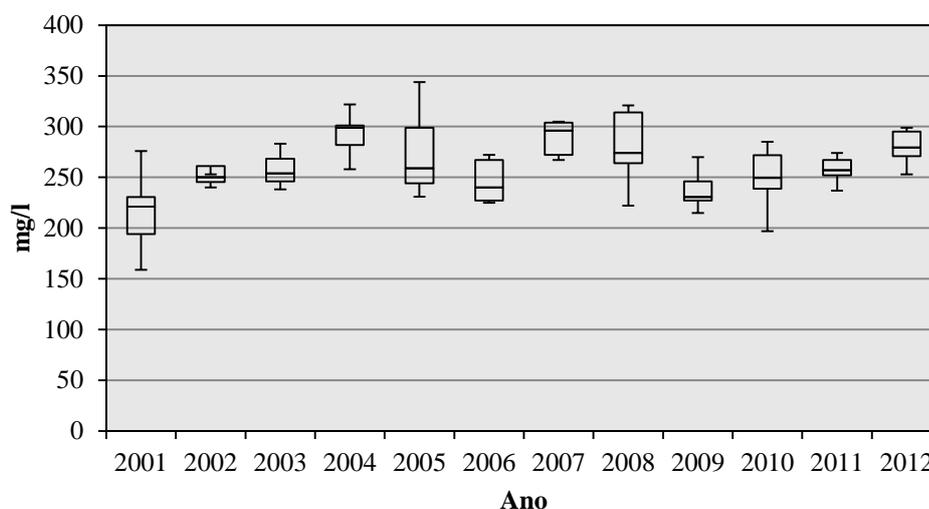


Figura 4.7 – Valores médios anuais dos SST em tempo seco

Os valores médios do parâmetro SST apresentam uma relação constante ao longo dos anos, com valores entre 150 e 350 mg/l. Nos anos 2002 e 2007, os valores estão próximos da mediana, não havendo variação. Nos restantes anos, os valores médios dos SST apresentam uma maior variação, assumindo diferentes conjuntos de valores ao longo de cada ano.

A Figura 4.8 ilustra a evolução ao longo dos anos dos parâmetros analíticos e do caudal médio diário anual (calculado em tempo seco)

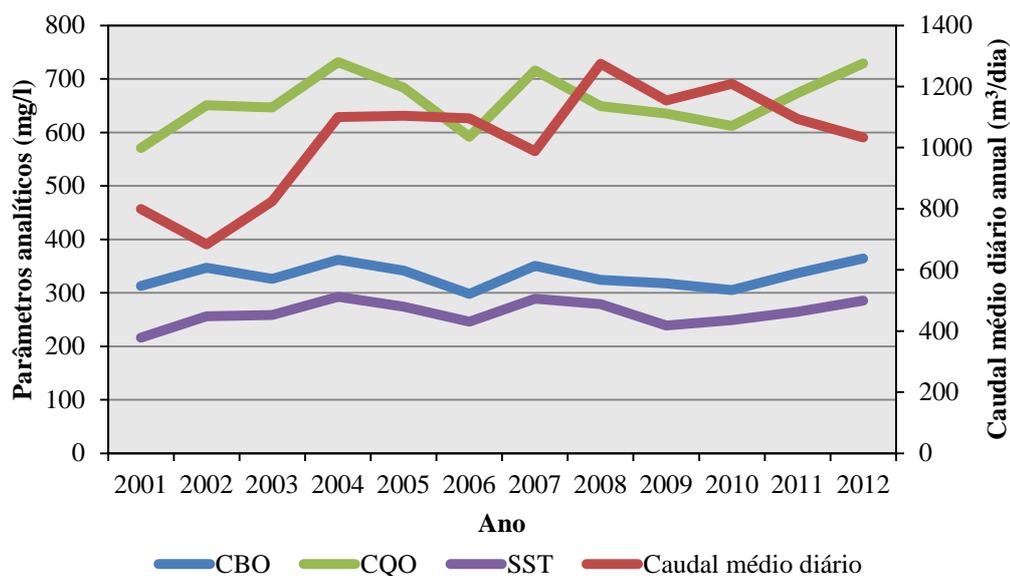


Figura 4.8 – Parâmetros analíticos vs Caudal médio diário anual em tempo seco

Da análise da Figura 4.8, pode-se verificar que:

- Os parâmetros analíticos, em conjunto, seguem uma linha de tendência muito semelhante;
- Não existe uma relação lógica entre a CBO e o caudal afluente. No entanto, quando o caudal aumenta, a CBO aumenta ligeiramente;
- O mesmo acontece para a CQO: apesar de este parâmetro apresentar uma variação maior ao longo dos anos, não existe uma relação direta com o caudal;
- Relativamente à relação entre os sólidos suspensos totais e o caudal, verifica-se o mesmo que nas relações anteriormente analisadas, não existindo uma relação lógica entre o aumento do SST com o aumento do caudal.

### 4.1.2 Tempo húmido

Os sistemas de drenagem unitários ou mistos podem transportar água pluvial para além da água residual de origem doméstica. Os caudais afluentes desse tipo de sistemas apresentam características poluentes que refletem a contaminação associada às escorrências pluviais afluentes na rede de coletores, e às águas residuais que escoam no sistema, em eventos de precipitação. Assim, vão ocorrer variações nos caudais de água residual, nomeadamente aumentos consequentes de precipitação, tendo mais incidência nos meses do ano caracterizados por uma maior pluviosidade.

De acordo com os registos de caudais afluentes na ETAR e da precipitação, contabilizaram-se os dias em que ocorre precipitação, bem como os dias seguintes em que a sua influência se faz sentir. De notar que os dados diários dos caudais referem-se a períodos de 24 horas, com início às 10 horas do dia anterior até as 10 horas do dia seguinte, enquanto que para a precipitação tem início às 9 horas do dia anterior até às 9 horas do dia seguinte.

O registo dos resultados analíticos da ETAR destina-se à análise da qualidade da água dos efluentes brutos, em tempo húmido. Assim, os parâmetros analíticos a serem estudados são novamente a CBO, a CQO e os SST.

Para caracterizar a ETAR em termos quantitativos e qualitativos, analisou-se o período de anos de 2001 a 2012 e foi feita uma recolha de dias em que ocorreu precipitação em diferentes estações do ano, por ordem cronológica no tempo. Da análise global feita para a precipitação, verificou-se que os anos com tempo húmido foram de 2005 até 2012. Como tal, a análise foi feita para o início do estudo, antes de 2007, 2007, após 2007 e no fim de estudo.

#### **Início do estudo – janeiro de 2001**

De forma a compreender o comportamento da ETAR, face à influência da precipitação, escolheu-se analisar o caudal afluente em dias úteis, para diferentes anos. A primeira análise é feita para o ano de 2001, correspondente ao início do estudo da bacia de drenagem.

O registo da precipitação num período de janeiro de 2001 está representado na Figura 4.9. As estações meteorológicas que influenciam a bacia, no ano de 2001, são Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC) e Trouxemil.

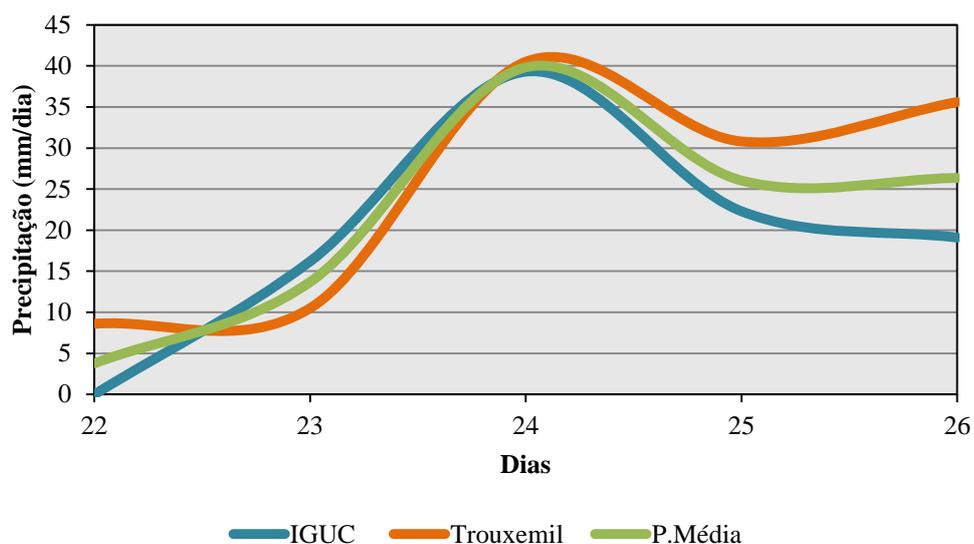


Figura 4.9 – Registo de precipitação em janeiro de 2001

Da análise da Figura 4.9 pode-se constatar que não existem diferenças significativas na informação recolhida das duas estações, à exceção do dia 22 e do dia 26 que apresentam uma ligeira diferença nos valores da precipitação. Os valores absolutos registados são semelhantes, ou seja, os dados das duas estações estão correlacionados. Com a precipitação média de ambos os postos é possível analisar a sua relação com o caudal médio diário afluente à ETAR (Figura 4.10).

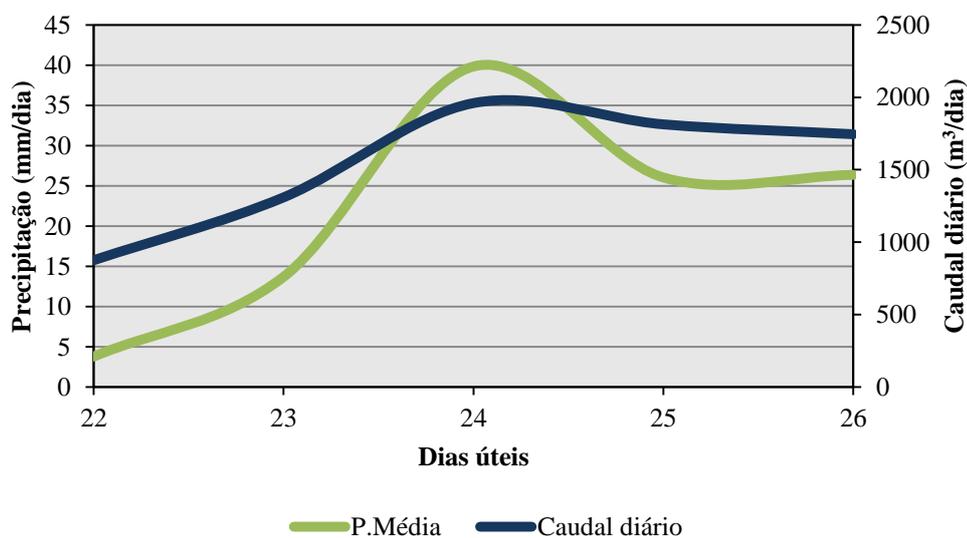


Figura 4.10 – Precipitação média vs Caudal diário em janeiro de 2001

Pela Figura 4.10 é possível verificar que o escoamento proveniente da precipitação contribui de forma muito relevante para o caudal de água residual no sistema de coletores, verificando que o volume de água resultante da precipitação dá origem a um aumento do caudal afluente à ETAR.

Da mesma forma que os caudais de água residual variam consoante a influência da precipitação, também a sua qualidade difere consoante vários fatores. Para janeiro de 2001, em tempo húmido, os parâmetros analíticos apresentaram uma variação de valores menor que em tempo seco. Na Figura 4.11, encontra-se representada a variação da qualidade da água com o caudal diário afluente, para janeiro de 2001.

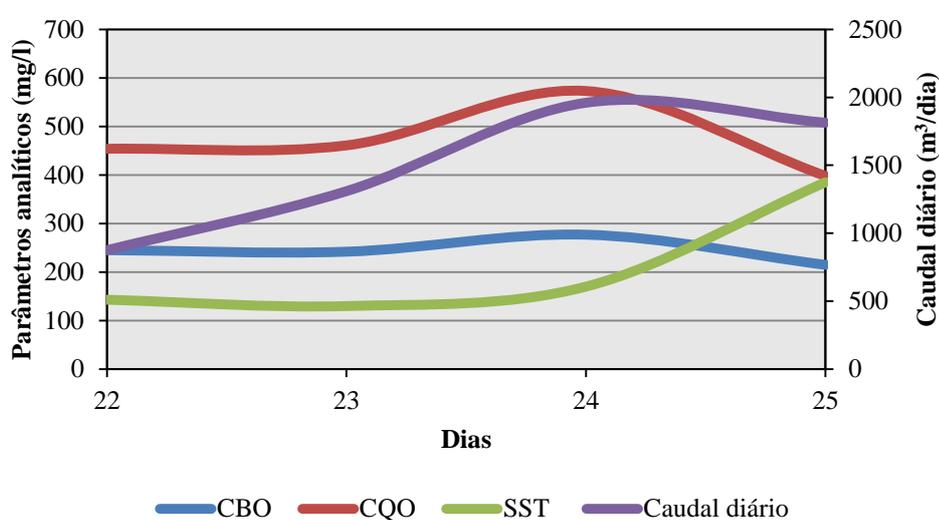


Figura 4.11 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em janeiro de 2001

Nesta situação não foi possível analisar os dias seguintes, por falta de dados dos resultados analíticos da ETAR.

Da análise da Figura 4.11, constata-se que:

- A gama de valores para a CBO varia entre 200 a 300 mg/l;
- A gama de valores para a CQO varia entre 400 a 600 mg/l;
- A gama de valores para os SST varia entre 150 a 400 mg/l;
- Não existe uma relação lógica entre os parâmetros e o caudal afluente. No entanto, a CBO e a CQO seguem a linha do caudal afluente.

### Verão – agosto de 2003

Após a análise da precipitação num período de inverno, é necessário agora compreender a influência da precipitação nos meses de verão.

Os meses de verão do período em estudo revelaram ser meses com tempo mais seco. No entanto, em alguns anos, existiu precipitação que influencia o caudal afluente. Um dos anos em que ocorre precipitação nos meses de verão é em 2003 (agosto) e a sua variação está representada na Figura 4.12.

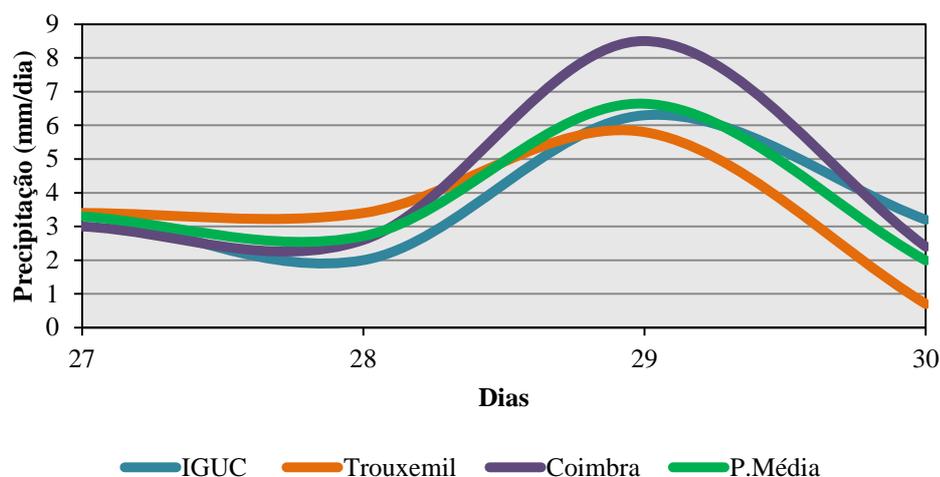


Figura 4.12 – Registo de precipitação em agosto de 2003

A Figura 4.12 mostra que a variação nos três postos influentes é praticamente coincidente e apesar de não ocorrerem grandes eventos de precipitação, o caudal afluente pode ser influenciado. Na Figura 4.13 está representada a relação do caudal afluente com a precipitação registada no mês de agosto.

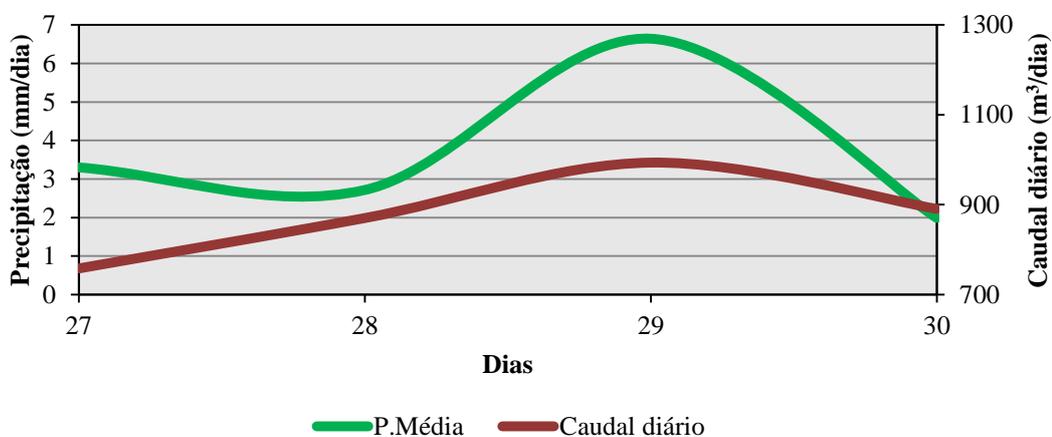


Figura 4.13 – Precipitação média vs Caudal diário em agosto de 2003

Da Figura 4.13 pode-se constatar que em períodos de Verão, existe um aumento significativo do caudal afluente à ETAR, face à influência da precipitação registada. Os caudais mais elevados foram antecedidos de um período de maior precipitação, observando-se ainda um decréscimo do caudal após o final da mesma.

O caudal diário afluente à ETAR pode influenciar a qualidade da água no verão. Em meses secos, a tendência dos valores dos parâmetros que avaliam a qualidade da água é que sejam elevados. Contudo, nesta situação em causa, a tendência é diferente.

A relação da qualidade da água com o caudal diário afluente está representada na Figura 4.14.

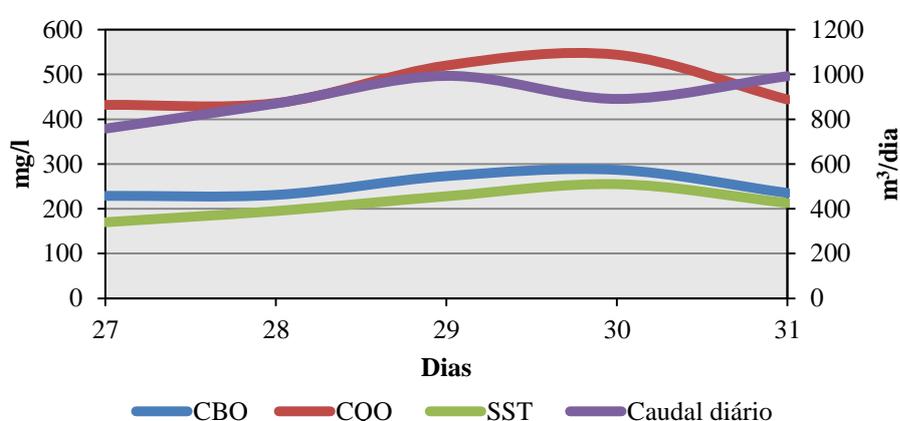


Figura 4.14 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em agosto de 2003

Da análise da Figura 4.14, constata-se que:

- Os parâmetros analíticos seguem, ao longo do tempo, uma linha de tendência semelhante;
- Os valores dos parâmetros que avaliam a qualidade da água, sofreram um ligeiro aumento;
- Existe uma relação entre os parâmetros analíticos e o caudal diário afluente: o aumento da qualidade da água coincide com o aumento do caudal registado.

### **Sem intervenção na bacia – dezembro de 2006**

Nesta análise, o objetivo prende-se com a necessidade de compreender a precipitação antes de ocorrerem intervenções na bacia. Foi feita uma contabilização dos dias em que ocorreu precipitação, bem como dos dias seguintes em que a sua influência se faz sentir. O período escolhido para a análise da precipitação foi em dezembro de 2006 e encontra-se representada

na Figura 4.15. As estações meteorológicas que influenciam a bacia nesse ano são IGUC, Trouxemil e Coimbra.

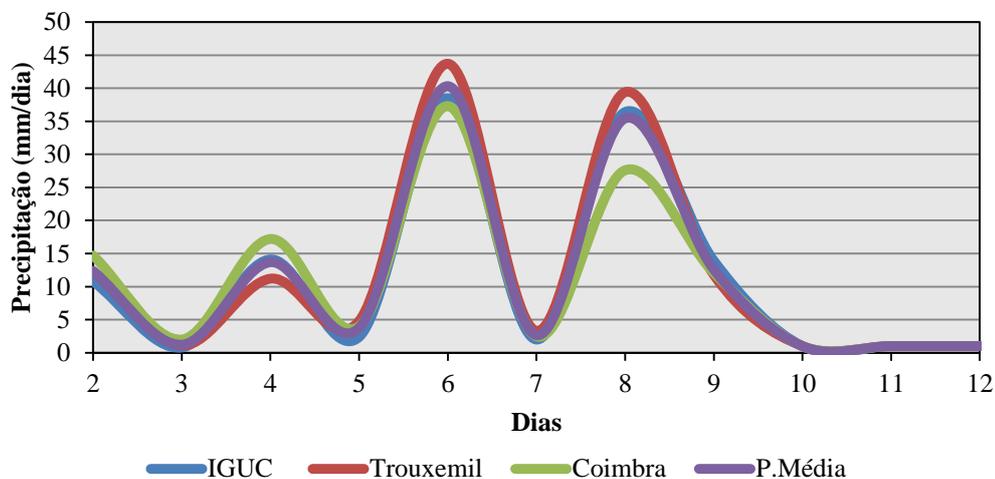


Figura 4.15 – Registro de precipitação em dezembro de 2006

Da análise da Figura 4.15 pode-se constatar que o registro de precipitação dos 3 postos influentes na bacia é coincidente, à exceção do dia 8 que apresenta uma ligeira diferença nos valores da precipitação. No entanto, os valores absolutos são semelhantes, ou seja, os dados das três estações estão correlacionados para dezembro de 2006. A partir do dia 10 até ao dia 12 não ocorreram eventos de precipitação.

A Figura 4.16 ilustra o registro de precipitação média ponderada dos 3 postos e o caudal por este gerado.

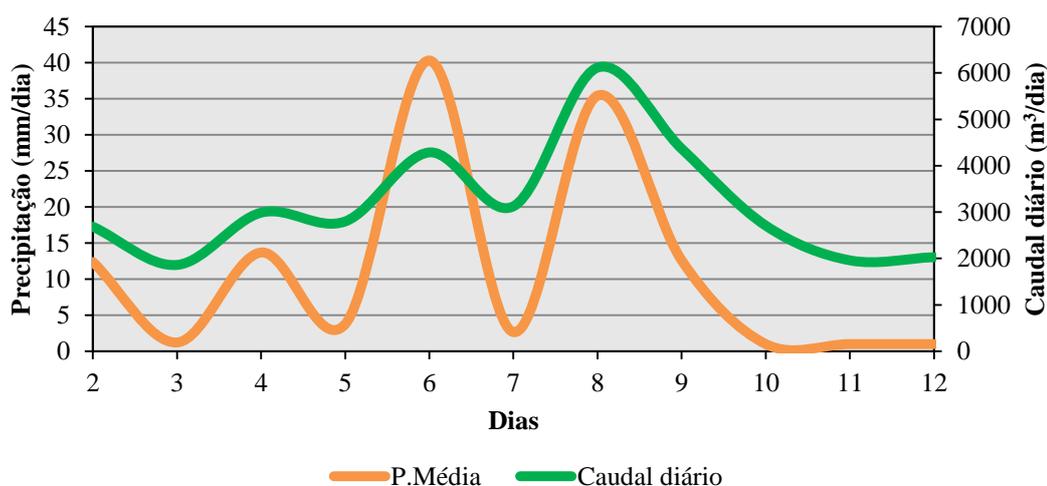


Figura 4.16 – Precipitação média vs Caudal diário em dezembro de 2006

Face à ocorrência de fenómenos de precipitação, pode-se verificar uma alteração visível no caudal afluente à ETAR, deixando de ser evidente o efeito das componentes periódicas, prevalecendo o efeito da precipitação. Através da Figura 4.16 verificou-se a existência de uma relação entre o aumento do valor do caudal e o aumento da precipitação, onde os caudais mais elevados foram antecedidos de um período de maior precipitação, observando-se ainda um decréscimo do caudal após o final da mesma.

Para compreender o comportamento da qualidade da água, face ao caudal afluente à ETAR, analisou-se a variação dos parâmetros analíticos, para o mesmo período.

Na Figura 4.17 está representada a variação da qualidade da água com o caudal diário afluente.

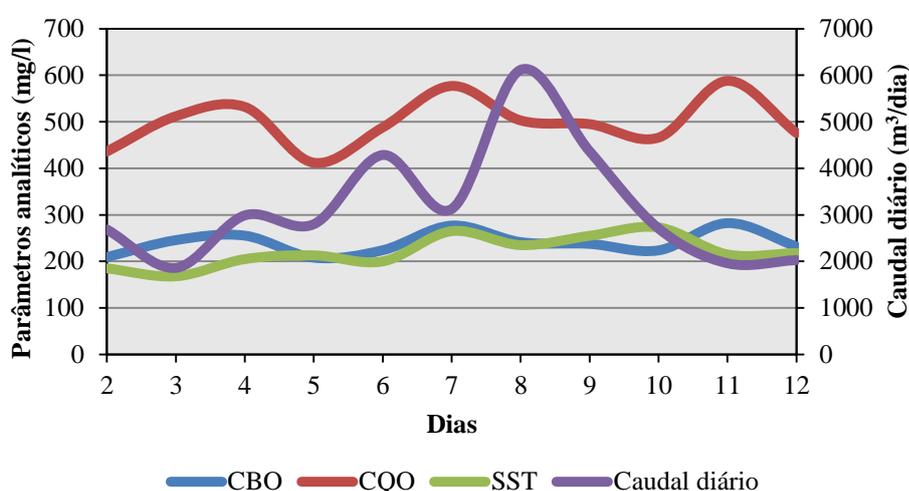


Figura 4.17 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em dezembro de 2006

Da análise da Figura 4.17 pode-se constatar que os três parâmetros seguem, aproximadamente, uma linha de variação semelhante. Quando existe um aumento do caudal, os parâmetros tendem a diminuir, levando a um aumento da qualidade da água à entrada da ETAR.

### **Durante a intervenção na bacia – fevereiro de 2007**

O ano em que ocorreu o aumento de coletores residuais e pluviais foi em 2007. Como tal esta análise é feita durante as intervenções na bacia, de forma a compreender a evolução dos caudais afluentes à bacia de drenagem.

Na Figura 4.18 está representado o registo da precipitação das estações que influenciam a bacia em Fevereiro de 2007: Estação Meteorológica do IGUC, Trouxemil e Coimbra.

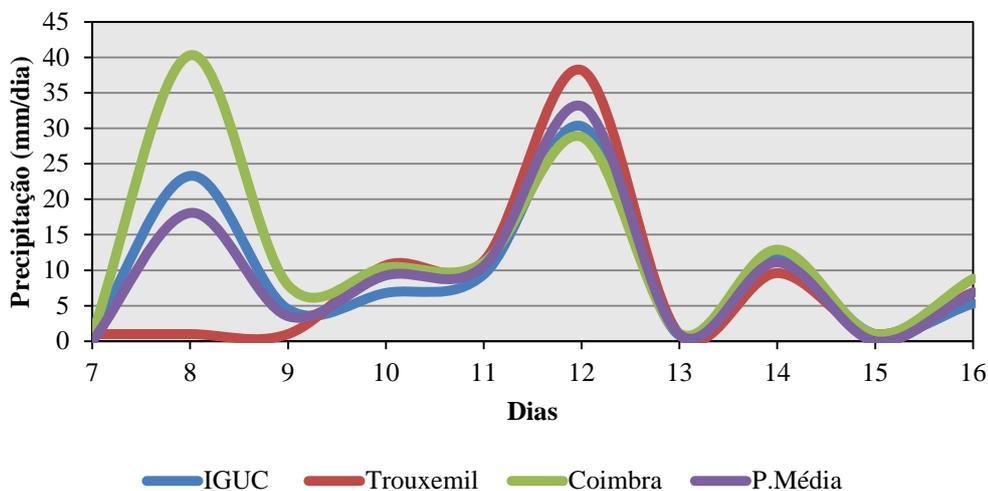


Figura 4.18 – Registo de precipitação em fevereiro de 2007

A partir da Figura 4.18 pode-se concluir que o registo da precipitação dos três postos influentes à bacia é coincidente. As tendências dos valores registados pelas três estações são semelhantes. Assim é possível relacionar o caudal que afluí em fevereiro com a precipitação registada.

O registo de precipitação média para os 3 postos e o caudal afluente à ETAR em fevereiro de 2007 estão representados na Figura 4.19.

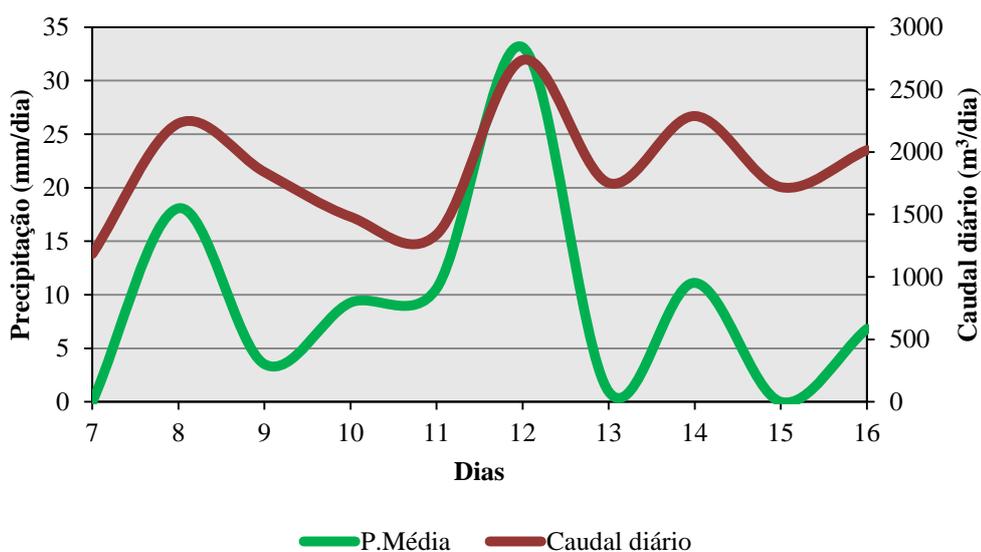


Figura 4.19 – Precipitação média vs Caudal diário em fevereiro de 2007

Através da Figura 4.19 verifica-se que em 2007, o caudal que aflui à ETAR sofreu um ligeiro aumento (os caudais variam entre 2600 e 2000 m<sup>3</sup>/dia), em comparação com o ano de 2001 (a variação dos caudais é de 1000 a 1500 m<sup>3</sup>/dia). Também se pode observar que o caudal diário afluyente segue a linha da precipitação registada, mostrando que o volume de água proveniente da precipitação contribui de forma muito significativa para o caudal de água residual no sistema de coletores.

No que respeita aos registos dos parâmetros analíticos em Fevereiro de 2007 foi feita uma análise para compreender a evolução da qualidade da água, face ao evento de precipitação. A Figura 4.20 ilustra a variação da qualidade da água com o caudal diário afluyente à ETAR.

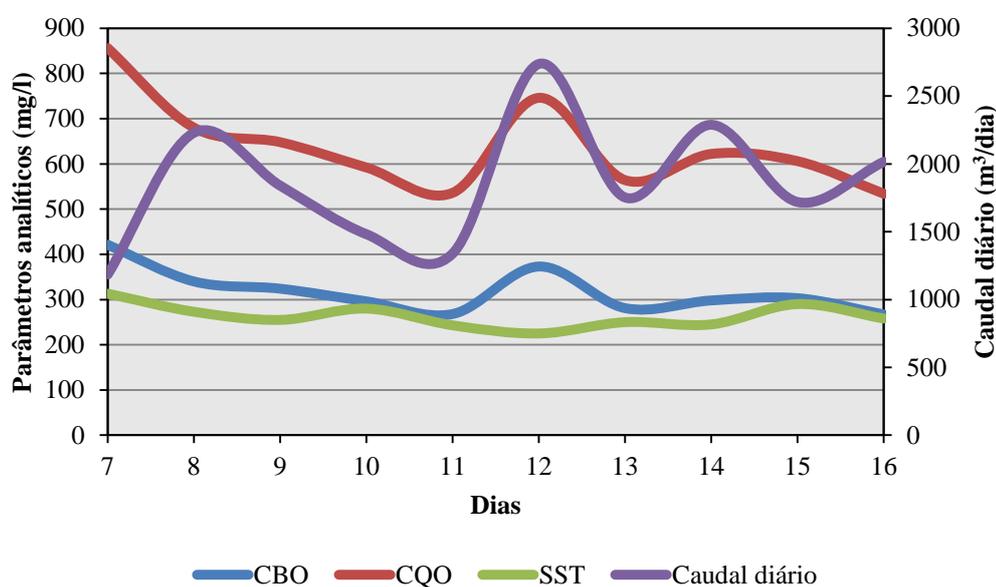


Figura 4.20 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em fevereiro de 2007

A partir da Figura 4.20 pode-se concluir que:

- Os valores dos parâmetros analíticos aumentaram significativamente em relação a Janeiro de 2001, à exceção dos sólidos suspensos totais que sofreram uma ligeira diminuição;
- Os parâmetros que avaliam a qualidade da água seguem aproximadamente a linha do caudal diário. Quando há um aumento do caudal, os parâmetros CBO e CQO tendem a aumentar e os SST tendem a diminuir.

### Após intervenção na bacia – janeiro de 2008

Nesta análise optou-se por estudar a influência de uma precipitação abundante, após intervenção na bacia, para verificar se o sistema de drenagem afluente à ETAR do Choupal recebe água pluvial em dias com grandes intensidades de precipitação. Assim, procedeu-se à análise conjunta do comportamento dos caudais afluentes à ETAR e da precipitação das estações meteorológicas que influenciam a bacia. Em janeiro de 2008 verificou-se uma precipitação assinalável sendo que os registos dizem respeito aos recolhidos na estação meteorológica do IGUC, Trouxemil e Coimbra.

A Figura 4.21 ilustra o registo de precipitação que ocorreu em janeiro de 2008.

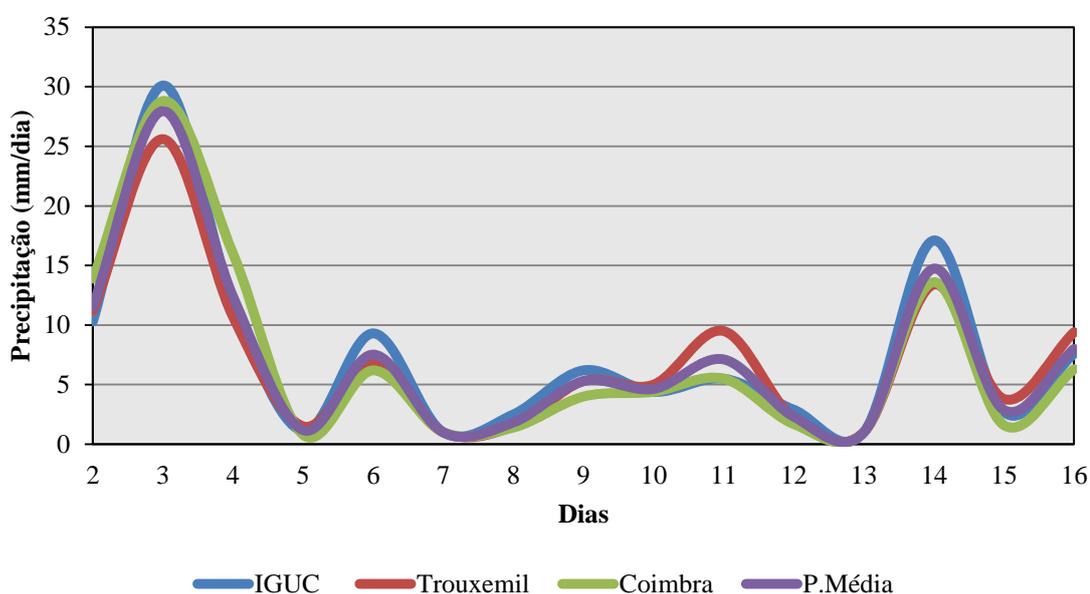


Figura 4.21 – Registo de precipitação em janeiro de 2008

Da análise da Figura 4.21 pode-se constatar que o registo de precipitação em janeiro de 2008 foi abundante, havendo alguns dias com menos intensidade de precipitação. Os valores registados nos 3 postos são semelhantes, ou seja, os dados das três estações estão correlacionados. Com a precipitação média dos postos pode-se analisar a sua relação com o caudal médio diário afluente à ETAR.

Na Figura 4.22 pode-se observar o registo de precipitação e a variação do caudal por esta gerado.

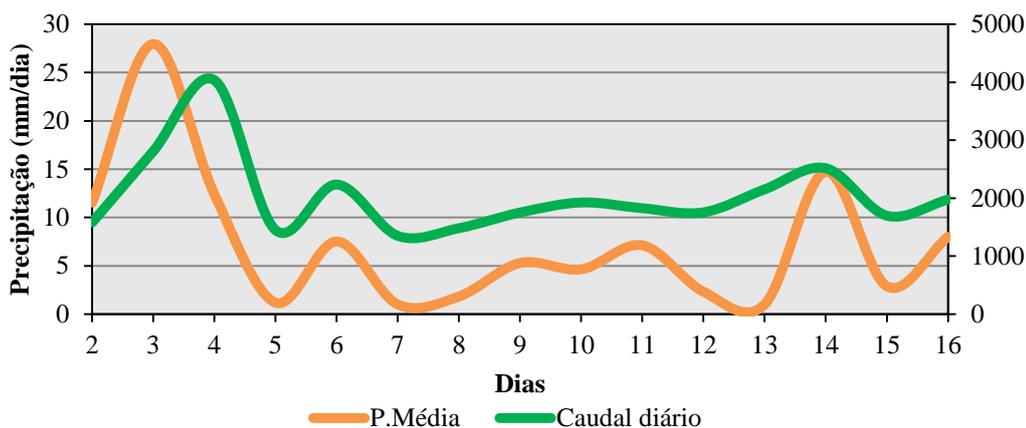


Figura 4.22 – Precipitação média vs Caudal diário em janeiro de 2008

Da análise da Figura 4.22 pode-se verificar que o caudal afluente é relativamente elevado (varia entre 1500 e 4000 m<sup>3</sup>/dia). O caudal afluente à ETAR e a precipitação registada revelam que os eventos de precipitação coincidem com o aumento significativo do caudal, ou seja, o caudal afluente segue a linha da precipitação registada. Deste modo, o volume de água proveniente da precipitação contribui de forma relevante para o caudal de águas residuais no sistema de coletores. Durante o período de análise, constatou-se que a influência da precipitação do dia 3 só teve efeito no dia 4, ocorrendo um desfasamento no tempo.

A influência do caudal afluente na qualidade da água, quando ocorrem eventos de precipitação abundante, é importante. Como tal, foi feita uma análise dos parâmetros analíticos com o caudal afluente. A Figura 4.23 ilustra a relação entre os parâmetros que avaliam a qualidade da água e o caudal diário afluente à ETAR.

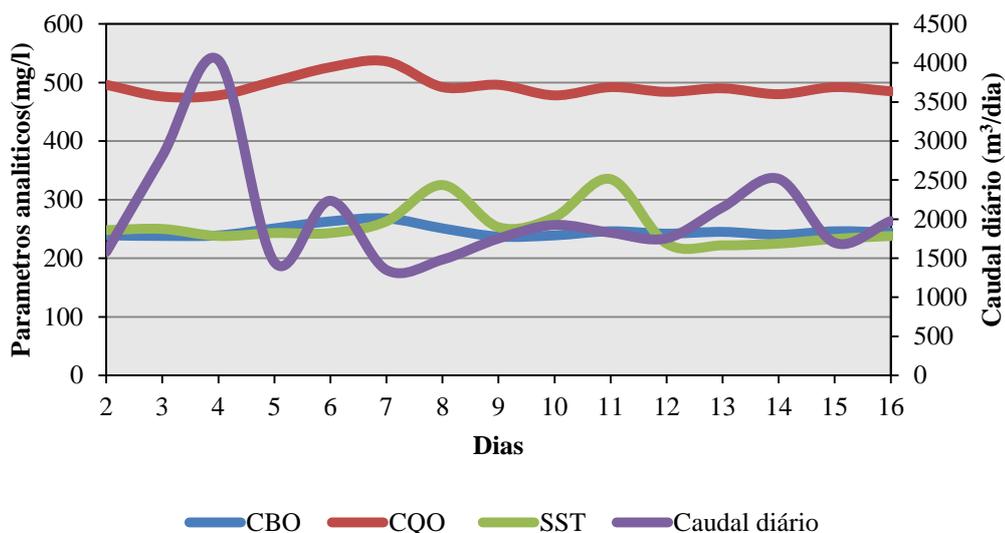


Figura 4.23 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em janeiro de 2008

Da análise da Figura 4.23, pode-se concluir que:

- Os parâmetros CBO e CQO, seguem uma linha constante ao longo do tempo, enquanto que os SST sofre uma variação maior;
- Não é possível relacionar a qualidade da água com o caudal diário, dado que existe aumento do caudal e os parâmetros sofrem uma diminuição, em dias diferentes.

### **Inverno – janeiro de 2009**

Com o intuito de compreender novamente a evolução da bacia a drenar para a ETAR é feito uma análise para janeiro de 2009. Na Figura 4.24 está representado o registo da precipitação das estações que influenciam a bacia em janeiro de 2009: estação meteorológica do IGUC e Trouxemil.

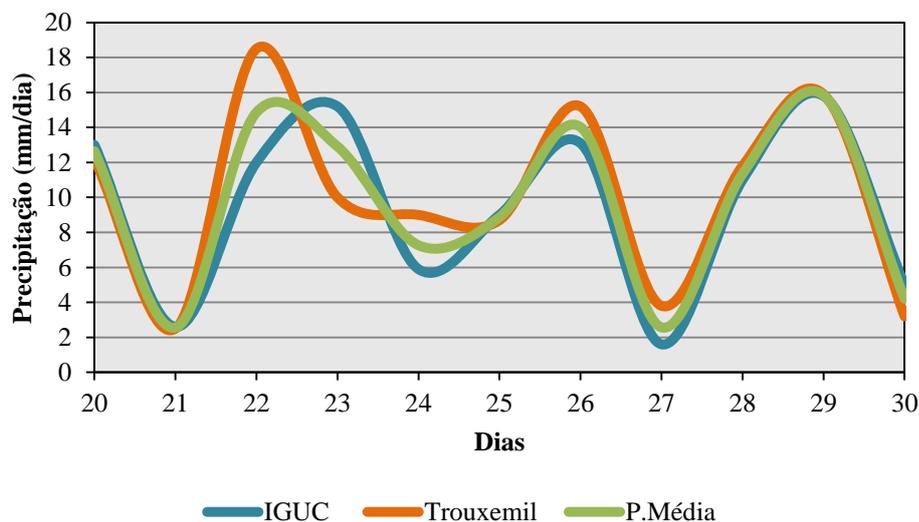


Figura 4.24 – Registo de precipitação em janeiro de 2009

A partir da Figura 4.24 constata-se que o registo da precipitação dos dois postos é coincidente, à exceção dos dias 22, 23 e 24. No entanto, é possível criar a relação do registo de precipitação com o caudal que aflui à ETAR.

Na Figura 4.25 está representada a variação da precipitação média e do caudal afluyente à ETAR para o mesmo período.

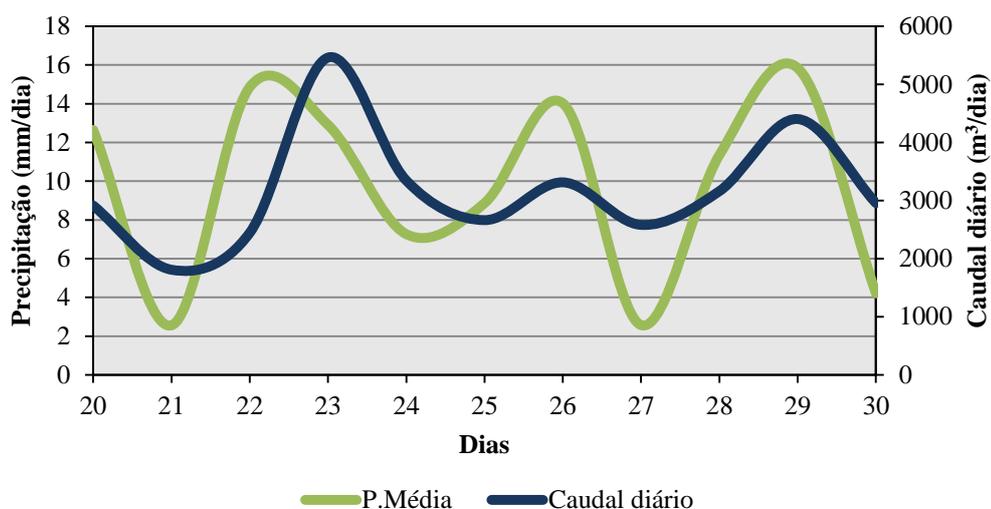


Figura 4.25 – Precipitação média vs Caudal diário em janeiro de 2009

A análise da Figura 4.25 revela que os eventos de precipitação coincidem com o aumento significativo do caudal, ou seja, o caudal afluente segue a linha da precipitação registada. Deste modo, o volume de água proveniente da precipitação contribui de forma relevante para o caudal de águas residuais no sistema de coletores. Durante o período de análise constatou-se que, a influência da precipitação do dia 22 só teve efeito no dia 23, ocorrendo um desfasamento no tempo.

A relação entre os parâmetros analíticos e o caudal diário em janeiro de 2009 está ilustrada na Figura 4.26.

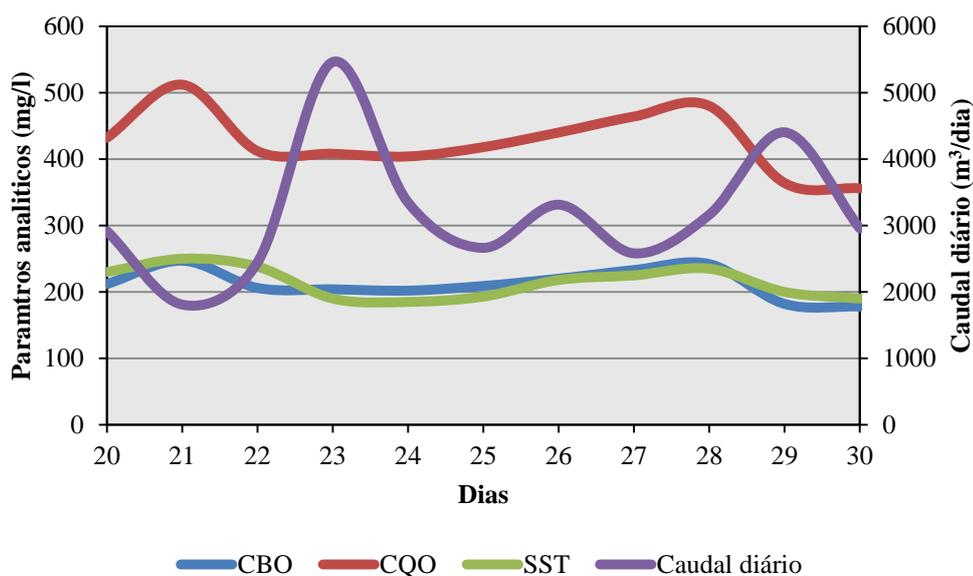


Figura 4.26 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em janeiro de 2009

Da análise da Figura 4.26, pode-se verificar que:

- Os parâmetros analíticos seguem uma linha de tendência semelhante;
- Nesta situação, existe uma relação entre o caudal afluente e a qualidade da água: quando o caudal sofre um aumento, os parâmetros analíticos diminuem, com o consequente aumento da qualidade afluente à entrada da ETAR.
- A variação dos SST é semelhante à CBO apresentando um ligeiro desfasamento no primeiro pico.

### **Fim de estudo – fevereiro de 2010**

Numa última análise é analisado a relação da precipitação com o caudal afluente no fim do período em estudo. Entre 2010 e 2012 só existe registo de precipitação para o posto IGUC. Assim, a influência da precipitação será evidenciada apenas o posto de IGUC. O ano escolhido para analisar a influência da precipitação com o caudal diário afluente foi fevereiro de 2010 (Figura 4.27).

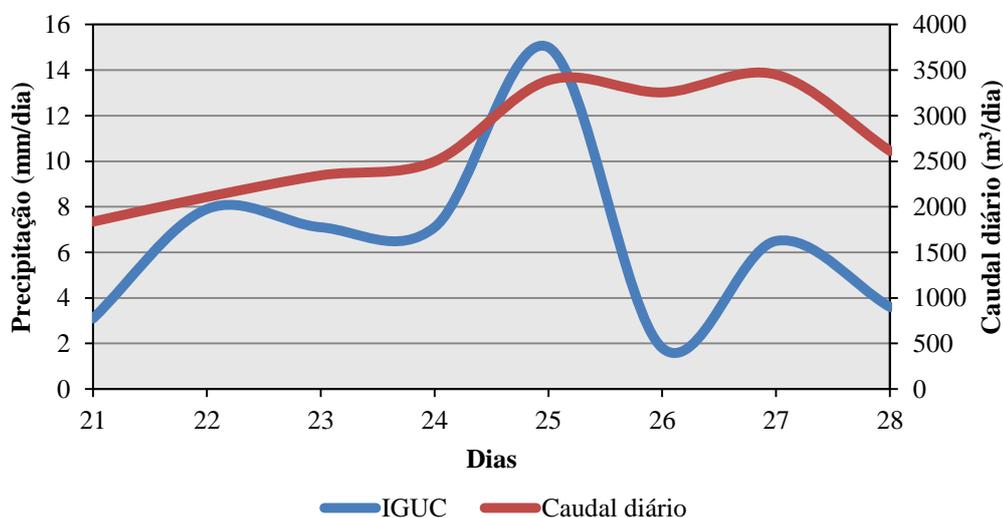


Figura 4.27 – Precipitação vs Caudal diário em fevereiro de 2010

Da Figura 4.27, pode-se concluir que:

- O caudal diário afluente varia entre 2000 e 3500 m³/dia, comprovando-se o aumento da área a drenar;

- A precipitação registada para o período em estudo contribui de forma significativa para o caudal de água residual, verificando-se que o volume de água proveniente da precipitação dá origem a um aumento do caudal afluente à ETAR;
- Existe uma relação entre o aumento do valor do caudal e o aumento da precipitação, apesar de haver apenas um posto a influenciar a bacia de drenagem.

Por fim, analisa-se a influência do caudal diário na qualidade da água, em fevereiro de 2010 (Figura 4.28).

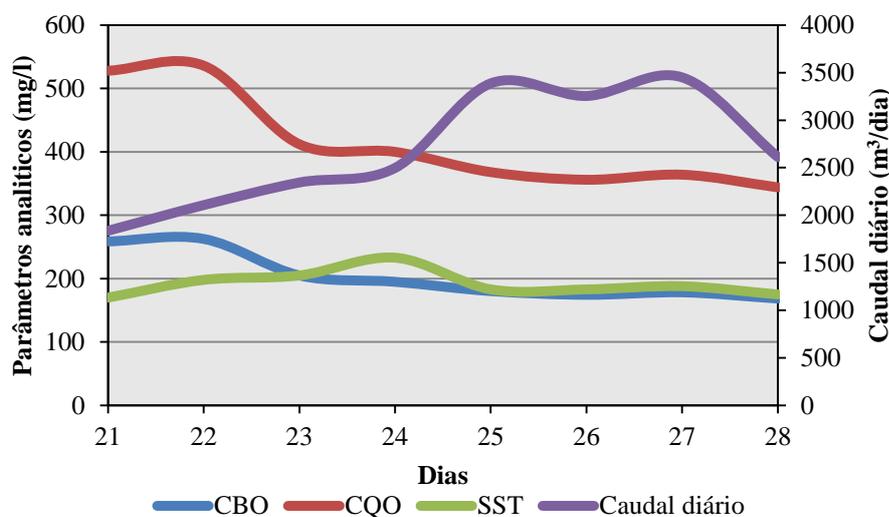


Figura 4.28 – Parâmetros analíticos vs Caudal diário em fevereiro de 2010

Através da Figura 4.28 pode-se constatar que os parâmetros CBO e CQO seguem uma linha de tendência semelhante, ao longo do tempo. Quanto ao parâmetro SST verifica-se que tem uma variação maior. Para os três parâmetros verificaram-se concentrações baixas, onde a precipitação teve uma maior influência no comportamento do caudal.

## 4.2 Estimativa de Caudais Pluviais – Aplicação do Método Racional

Para o dimensionamento hidráulico das obras é necessário a determinação dos valores dos caudais de ponta de cheia. Assim, este pode ser calculado por fórmulas empíricas, como base estatística e/ou cinemáticas tendo em conta determinados fatores (precipitação média anual) e parâmetros da bacia hidrográfica (área, tempo de concentração e coeficiente de escoamento) (Carvalho e Tavares, 2010). Das fórmulas empíricas e cinemáticas existentes, destaca-se o Método Racional, utilizado neste estudo apesar da bacia representar uma área superior ao limite recomendável para este método.

O Método Racional, bastante divulgado devido à sua simplicidade expressa-se da seguinte maneira:

$$Q = CIA \quad (4)$$

onde  $C$  é o coeficiente de escoamento da fórmula racional,  $I$  (mm/h) é o valor da intensidade de precipitação associado a um determinado período de retorno para uma duração de chuvada igual ao tempo de concentração e  $A$  (km<sup>2</sup>) é área da bacia.

A carta representativa da ocupação do solo, mencionada no capítulo 3, está dividida consoante os postos que influenciam a bacia. Como tal, o cálculo do caudal pluvial é expresso da seguinte maneira:

$$Q_{pluvial} = C_{IGUC} I_{IGUC} A_{IGUC} + C_{Trouwemil} I_{Trouwemil} A_{Trouwemil} + C_{Coimbra} I_{Coimbra} A_{Coimbra} \quad (5)$$

O coeficiente de escoamento da fórmula racional  $C$  pretende traduzir os efeitos no caudal de ponta de cheia da retenção superficial, da infiltração e do armazenamento nos leitos. Estes coeficientes são baseados no tipo e características da superfície do terreno, admitindo-se constantes para cada bacia hidrográfica. Os valores de coeficiente de escoamento a utilizar neste estudo estão mencionados no Quadro 3.1.

A bacia da ETAR do Choupal apresenta áreas urbanas, bem como espaços verdes e solos baldios, conforme já mencionado na secção 3.3. Assim, os valores de coeficiente de escoamento a utilizar são os correspondentes ao tipo de ocupação existente na bacia, para cada área do posto influente. Os coeficientes de escoamento a utilizar indicam-se Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Valores ponderados de coeficiente de escoamento

|                  | Tipo de ocupação                            | Coeficiente de escoamento (C) |
|------------------|---|-------------------------------|
| <b>Trouxemil</b> | Espaços verdes (relvados em solos arenosos) | 0,125                         |
|                  | Telhados (habitação)                        | 0,85                          |
|                  | Solos baldios                               | 0,2                           |
|                  | Indústria (concentrada)                     | 0,75                          |
|                  | Ruas (asfaltadas)                           | 0,825                         |
| <b>Coimbra</b>   | Telhados (habitação)                        | 0,85                          |
|                  | Espaços verdes                              | 0,125                         |
|                  | Ruas  | 0,825                         |
| <b>I.G.U.C.</b>  | Telhados (habitação)                        | 0,85                          |
|                  | Espaços verdes                              | 0,125                         |
|                  | Ruas  | 0,825                         |

Em relação às áreas correspondentes de cada tipo de ocupação, foi possível determiná-las através da carta de caracterização, com recurso ao *software* ArcGis. As áreas estão representadas no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Áreas de ocupação

|                  | Tipo de ocupação                            | Área de ocupação (m <sup>2</sup> ) |
|------------------|---|------------------------------------|
| <b>Trouxemil</b> | Espaços verdes (relvados em solos arenosos) | 11880000                           |
|                  | Telhados (habitação)                        | 56880000                           |
|                  | Solos baldios                               | 4710000                            |
|                  | Indústria (concentrada)                     | 1050000                            |
|                  | Ruas (asfaltadas)                           | 3340000                            |
| <b>Coimbra</b>   | Telhados (habitação)                        | 46740000                           |
|                  | Espaços verdes                              | 13116000                           |
|                  | Ruas  | 21370000                           |
| <b>I.G.U.C.</b>  | Telhados (habitação)                        | 57270000                           |
|                  | Espaços verdes                              | 3520000                            |
|                  | Ruas  | 11590000                           |

Determinados os coeficientes de escoamento e as áreas correspondentes de cada posto, calculou-se o coeficiente global, expresso por:

$$C_{global} = \frac{\sum C_i A_i}{A_T} \quad (6)$$

em que  $C_i$  é o coeficiente escoamento de cada tipo de ocupação,  $A_i$  a área correspondente (em  $m^2$ ) e  $A_T$  a área total da bacia de drenagem (em  $m^2$ ). O Quadro 4.6 mostra os valores dos coeficientes de escoamento ponderados para cada posto udométrico da bacia.

Quadro 4.6 – Coeficiente de escoamento ponderado

| Posto     | Coeficiente de escoamento ponderado |
|-----------|-------------------------------------|
| Trouxemil | 0,67                                |
| Coimbra   | 0,73                                |
| I.G.U.C.  | 0,7                                 |

Dos resultados obtidos do Quadro 4.6, obteve-se um coeficiente global para a bacia com a expressão (6), obtendo-se um valor de 0,7.

A utilização da fórmula do Método Racional requer o conhecimento não só da área e do tipo de ocupação do solo da bacia, como também da intensidade média de precipitação para determinada frequência de ocorrência e com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica. A intensidade de precipitação pode ser calculada de duas maneiras distintas:

- Cálculo da intensidade de precipitação com dados reais;
- Quando não existem dados hidrométricos, para estimar os caudais de dimensionamento é necessário ter o conhecimento da relação intensidade-duração-frequência (curvas IDF), a fim de caracterizar as precipitações intensas (Carvalho e David, 2006).

A fórmula racional apresenta algumas limitações resultantes da sua aplicação e prendem-se com as simplificações de natureza hidrológica e hidráulica da sua formulação. Segundo Butler e Davies (2004) o Método Racional é baseado nas seguintes suposições:

- O caudal de ponta de cheia só ocorre quando toda a bacia está a contribuir para o escoamento;
- As simplificações hidrológicas residem em admitir a precipitação como invariável no espaço e no tempo e em considerar a transformação precipitação-escoamento como sendo uma relação linear traduzido por um coeficiente de escoamento constante.

De seguida são apresentados os resultados dos caudais pluviais com dados de projeto e dados reais.

### 4.3 Comparação de Resultados

#### 4.3.1 Caudal pluvial com “precipitações de projeto”

Os parâmetros característicos das precipitações intensas são:

- duração correspondente ao tempo considerado para a chuvada;
- intensidade correspondente à relação entre a altura de precipitação caída e a sua duração;
- frequência traduzida, em geral, por uma ocorrência num determinado número de anos.

Surgem as curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), fornecendo assim a intensidade de precipitação, associada a uma determinada duração, que só deverá ser igualada ou excedida com uma determinada frequência (Carvalho e David, 2006).

A obtenção das curvas IDF está associada aos máximos para cada duração e posterior ajuste matemático das curvas a uma curva do tipo  $I = a.t^b$  onde  $I$  é a intensidade de precipitação;  $t$  é a duração da precipitação;  $a$  e  $b$  são constantes que resultam do ajustamento matemático das curvas determinadas a parte do registo de precipitação.

Para este estudo utilizaram-se os parâmetros  $a$  e  $b$  associados ao período de 30 a 360 min, uma vez que se admitiu para o tempo de concentração da bacia o valor de 240 minutos (4 horas). O Quadro 4.7 mostra os resultados obtidos da intensidade de projeto, para diferentes períodos de retorno, recorrendo às curvas IDF, obtidas por Carvalho e David (2006).

Quadro 4.7 – Intensidade de precipitação para as curvas IDF

| T (anos) | $a$    | $b$    | t (min) | I (mm/h) |
|----------|--------|--------|---------|----------|
| 2        | 345,99 | -0,7   | 240     | 7,46     |
| 5        | 492,38 | -0,716 | 240     | 9,73     |
| 10       | 590,06 | -0,723 | 240     | 11,2     |
| 20       | 684,09 | -0,728 | 240     | 12,66    |
| 50       | 806,14 | -0,733 | 240     | 14,51    |
| 100      | 897,77 | -0,736 | 240     | 15,9     |
| 500      | 1109,9 | -0,741 | 240     | 19,12    |
| 1000     | 1201,2 | -0,742 | 240     | 20,6     |

Com a intensidade de precipitação calculada, determinou-se o caudal para os diferentes períodos de retorno, com base na fórmula racional. O Quadro 4.8 apresenta os valores dos caudais de ponta de cheia determinados para cada período de retorno.

Quadro 4.8 – Caudal de ponta para diferentes períodos de retorno

| <b>T (anos)</b> | <b>C</b> | <b>I (mm/h)</b> | <b>A (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>2</b>        | 0,7      | 7,46            | 81,2                      | <b>118,1</b>               |
| <b>5</b>        | 0,7      | 9,73            | 81,2                      | <b>154</b>                 |
| <b>10</b>       | 0,7      | 11,2            | 81,2                      | <b>177,6</b>               |
| <b>20</b>       | 0,7      | 12,66           | 81,2                      | <b>200,4</b>               |
| <b>50</b>       | 0,7      | 14,51           | 81,2                      | <b>229,7</b>               |
| <b>100</b>      | 0,7      | 15,9            | 81,2                      | <b>251,7</b>               |
| <b>500</b>      | 0,7      | 19,12           | 81,2                      | <b>302,7</b>               |
| <b>1000</b>     | 0,7      | 20,6            | 81,2                      | <b>325,8</b>               |

### 4.3.2 Caudal pluvial com precipitação real

A precipitação associada a um acontecimento, evento, é a quantidade total de precipitação ocorrida numa determinada região depois de um período sem precipitação. A precipitação é usualmente referida por altura de precipitação com unidades de comprimento –  $h$  (mm) (Carvalho e Tavares, 2010). Assim, durante um certo intervalo de tempo, o quociente entre a altura de precipitação e o intervalo de tempo considerado denomina-se por intensidade média de precipitação e é expressa pela equação (7):

$$I = \frac{h}{\Delta t} \quad (7)$$

onde  $h$  é a altura de precipitação (em mm) e  $\Delta t$  intervalo de tempo (em h).

O tempo de concentração da bacia é aproximadamente 4 horas. Assim, analisou-se os dados de precipitação máxima para esse período e para cada ano do estudo. Posteriormente calculou-se a intensidade de precipitação com a expressão (7) e respetivo caudal, identificando o período de retorno correspondente para cada ano. No Quadro 4.9 estão representados os valores do caudal de ponta, identificando o dia em que ocorreu precipitação máxima, em cada ano.

Quadro 4.9 – Caudal de ponta para os diferentes anos em estudo

| Anos                   | Precipitação máxima de 4h | I (mm/h) | Q (m <sup>3</sup> /s) | Q (m <sup>3</sup> /4h) | Período de retorno (anos) |
|------------------------|---------------------------|----------|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| 2001 (24 de Janeiro)   | 30,3                      | 7,6      | 119,9                 | 1726866,8              | 2                         |
| 2002 (26 de Dezembro)  | 21,5                      | 5,4      | 85,1                  | 1225334,8              | ≤2                        |
| 2003 <sup>5</sup>      | -                         | -        | -                     | -                      | -                         |
| 2004 <sup>5</sup>      | -                         | -        | -                     | -                      | -                         |
| 2005 (1 de Dezembro)   | 32,4                      | 8,1      | 128,2                 | 1846549,6              | 2 a 5                     |
| 2006 (25 de Outubro)   | 56,3                      | 14,1     | 222,8                 | 3208664,8              | 20 a 50                   |
| 2007 (12 de Fevereiro) | 20,6                      | 5,15     | 81,5                  | 1174040,8              | < 2                       |
| 2008 (5 de Setembro)   | 22,8                      | 5,7      | 90,2                  | 1299423,8              | < 2                       |
| 2009 (16 de Novembro)  | 24,8                      | 6,2      | 98,2                  | 1413408,3              | < 2                       |
| 2010 (14 de Novembro)  | 26,3                      | 6,6      | 104,1                 | 1498896,7              | < 2                       |
| 2011 (28 de Abril)     | 24,7                      | 6,2      | 97,8                  | 1407709,1              | < 2                       |
| 2012 (7 de Maio)       | 17,3                      | 4,3      | 68,5                  | 985966,3               | < 2                       |

Da análise do Quadro 4.9 pode-se constatar que todos os anos têm um período de retorno inferior ou igual a 2 anos, à exceção do ano 2005 que corresponde a um período de retorno de 2 a 5 anos e do ano 2006 com um período de retorno de 20 a 50 anos.

Face à ocorrência do caudal que corresponde aos períodos de retorno, foi necessário uma abordagem ao caudal máximo afluente à ETAR do Choupal. Como tal, através dos dados previamente fornecidos, determinou-se o volume máximo afluente à ETAR em 4 horas, bem como o seu caudal, para os mesmos dias analisados no Quadro anterior. O Quadro 4.10 mostra o caudal máximo afluente à ETAR do Choupal.

Quadro 4.10 – Caudal máximo afluente à ETAR do Choupal para os anos em estudo

| Anos                   | Volume máximo de 4h | Caudal máximo-ETAR (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------|---------------------|--|
| 2001 (24 de Janeiro)   | 15235               | 1,06                                   |
| 2002 (26 de Dezembro)  | 9001                | 0,63                                   |
| 2005 (1 de Dezembro)   | 13508               | 0,94                                   |
| 2006 (25 de Outubro)   | 28008               | 2                                      |
| 2007 (12 de Fevereiro) | 23700               | 1,65                                   |
| 2008 (5 de Setembro)   | 26490               | 1,84                                   |
| 2009 (16 de Novembro)  | 28024               | 1,95                                   |
| 2010 (14 de Novembro)  | 21910               | 1,52                                   |
| 2011 (28 de Abril)     | 5779                | 0,40                                   |
| 2012 (7 de Maio)       | 19388               | 1,35                                   |

<sup>5</sup> Não existem dados suficientes para calcular a precipitação máxima.

Da análise do Quadro 4.10, pode-se constatar que os valores máximos do caudal afluente à ETAR são consideravelmente inferiores que ao esperado. Pode-se também confirmar que o dia 25 de Outubro de 2006 é o que apresenta um maior valor do caudal. De facto, a ocorrência do evento pluviométrico de 25 de Outubro de 2006 que aconteceu em Coimbra, correspondeu a um evento de inundação numa das zonas identificadas como de elevado risco (ribeira dos Fornos) que tem sido “massacrada” com inundações com prejuízos significativos (Sá Marques *et. al*, 2007).

Em suma, pode-se concluir que após a ocorrência de eventos de precipitação, em situações distintas, continua a haver perturbações nos valores de caudais máximos. As diferenças substanciais podem ocorrer devido a vários fatores que são:

- O caudal ocorrido da precipitação é desviado pelos descarregadores de tempestade para o meio recetor, transportando também águas residuais domésticas e outras;
- Os medidores de caudal à entrada da ETAR podem não medir valores elevados e superiores a 2 m<sup>3</sup>/s;

Ao analisar o período em estudo, verificou-se que o caudal máximo na ETAR não correspondia ao valor da precipitação máxima.

O volume máximo afluente à ETAR para os anos em estudo está representado no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 – Volume máximo afluente à ETAR para os anos em estudo

| Volume m <sup>3</sup> | 2001         | 2002         | 2005         | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2011         | 2012         |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Janeiro</b>        | <b>23796</b> | 6869         | 6835         | 8235         | 8208         | 22646        | 24148        | <b>27996</b> | 22850        | 7120         |
| <b>Fevereiro</b>      | 10832        | 7401         | 9414         | 21799        | 23700        | 27508        | 24229        | 22840        | 21565        | 4792         |
| <b>Março</b>          | 6751         | 7515         | 8336         | 26348        | 21041        | 14780        | 8156         | 22334        | 18203        | 7426         |
| <b>Abril</b>          | 5689         | 7040         | 9310         | 25026        | 7622         | <b>28605</b> | 24479        | 9200         | 17345        | 26252        |
| <b>Maio</b>           | 8537         | 6610         | 10167        | 6006         | 25936        | 24805        | 14065        | 11659        | 15883        | <b>27514</b> |
| <b>Junho</b>          | 5689         | 8915         | 7180         | 7577         | 20544        | 10835        | 13394        | 9602         | 6963         | 7015         |
| <b>Julho</b>          | 8366         | 8770         | 7163         | 6258         | 8607         | 5775         | 9867         | 7205         | 6936         | 6202         |
| <b>Agosto</b>         | 4267         | 3480         | 4949         | 17229        | 14668        | 27758        | 5576         | 5359         | 10508        | -            |
| <b>Setembro</b>       | 6649         | 14685        | 16806        | 23933        | 6302         | 26490        | 15596        | 7040         | 17079        | -            |
| <b>Outubro</b>        | 12151        | 8336         | 23761        | <b>28008</b> | 18991        | 19072        | 22327        | 19459        | 10266        | -            |
| <b>Novembro</b>       | 4934         | 8564         | 24281        | 27941        | 25858        | 9655         | <b>28024</b> | 27510        | 23581        | -            |
| <b>Dezembro</b>       | 4780         | <b>25561</b> | <b>27529</b> | 27233        | <b>28080</b> | 9773         | 27523        | 26616        | <b>24481</b> | -            |

Da análise do Quadro 4.11 pode-se verificar que o mês em que ocorreu o maior volume afluente à ETAR foi em abril de 2008 com 28605 m<sup>3</sup>. Confirma-se a ideia de que o caudal máximo pode não corresponder ao valor da precipitação máxima ocorrida, resultando assim de precipitações acumuladas ao longo do tempo. O Quadro 4.12 mostra os valores do caudal máximo afluente à ETAR.

Quadro 4.12 – Caudal máximo diário, em 4 horas afluente à ETAR para os anos em estudo

| Anos                   | Caudal máximo – ETAR (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------|--|
| 26 de Janeiro de 2001  | 1,65                                     |
| 18 de Dezembro de 2002 | 1,78                                     |
| 2 de Dezembro de 2005  | 1,91                                     |
| 25 de Outubro de 2006  | 1,95                                     |
| 19 de Dezembro de 2007 | 1,95                                     |
| 18 de Abril de 2008    | <u>2</u>                                 |
| 16 de Novembro de 2009 | 1,95                                     |
| 16 de Janeiro de 2010  | 1,94                                     |
| 10 de Dezembro de 2011 | 1,70                                     |
| 2 de Maio de 2012      | 1,91                                     |

Analisando o Quadro 4.12 pode-se verificar que os valores máximos do caudal afluente à ETAR correspondem a dias completamente diferentes dos dias em que ocorre precipitação máxima, à exceção do dia 25 de Outubro de 2006 e do dia 19 de Novembro de 2009. Pode-se também comprovar que no dia 18 de Abril, o caudal máximo afluente à ETAR é o maior em todos os anos com um valor de 2 m<sup>3</sup>/s. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 4.29 a relação da precipitação máxima e o volume máximo para o dia 18 de Abril de 2008.

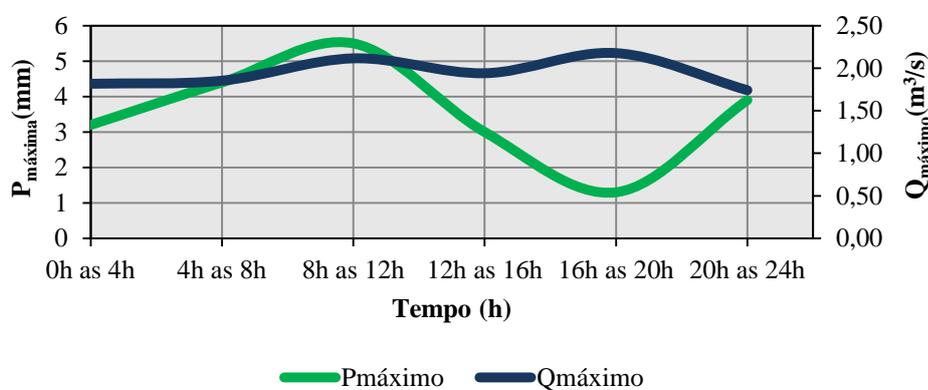


Figura 4.29 – Precipitação máxima vs Caudal máximo no dia 18 de Abril de 2008

Da análise da Figura 4.29, pode-se verificar que a precipitação máxima ocorreu das 8 horas às 12 horas. No entanto, o caudal máximo afluente à ETAR só ocorre das 16 horas às 20 horas, sugerindo a ideia de que a precipitação acumula-se ao longo do tempo. Pode-se também constatar que o tempo de concentração varia entre 4 a 6 horas.

Na maior parte das vezes, excluindo o dia 25 de Outubro de 2006 e o dia 16 de Novembro de 2009, o caudal máximo afluente à ETAR não corresponde aos dias de precipitação máxima. Numa tentativa de estimar o volume descarregado para o meio recetor, calculou-se para os dias correspondentes ao caudal máximo afluente à ETAR, a intensidade de precipitação máxima e o caudal de ponta de cheia através do Método Racional. Com o caudal de ponta de cheia calculado e o caudal máximo afluente à ETAR pode-se estimar o caudal descarregado para o meio recetor. No Quadro 4.13 apresenta-se os resultados do caudal descarregado para o meio recetor.

Quadro 4.13 – Caudal descarregado para o meio recetor

|                               | $Q_{\text{pluvial}} \text{ (m}^3/\text{s)}$ | $Q_{\text{ETAR}} \text{ (m}^3/\text{s)}$ | $Q_{\text{descarregado}} \text{ (m}^3/\text{s)}$ |
|-------------------------------|---|--|--|
| <b>26 de Janeiro de 2001</b>  | 81,5  | 1,65                                     | <b>79,88</b>                                     |
| <b>18 de Dezembro de 2002</b> | 13,5  | 1,78                                     | <b>11,68</b>                                     |
| <b>2 de Dezembro de 2005</b>  | 69,7  | 1,91                                     | <b>67,75</b>                                     |
| <b>25 de Outubro de 2006</b>  | 222,8                                       | 1,95                                     | <b>220,88</b>                                    |
| <b>19 de Dezembro de 2007</b> | 96,9  | 1,95                                     | <b>94,94</b>                                     |
| <b>18 de Abril de 2008</b>    | 27,7  | 2  | <b>25,72</b>                                     |
| <b>16 de Novembro de 2009</b> | 98,2  | 1,95                                     | <b>96,21</b>                                     |
| <b>16 de Janeiro de 2010</b>  | 49,9  | 1,94                                     | <b>47,92</b>                                     |
| <b>10 de Dezembro de 2011</b> | 48,9  | 1,70                                     | <b>47,25</b>                                     |
| <b>2 de Maio de 2012</b>      | 31,2  | 1,91                                     | <b>29,27</b>                                     |

Da análise do Quadro 4.13, pode-se verificar que não existe nenhuma relação entre o caudal obtido através do Método Racional e o caudal máximo afluente à ETAR, com valores completamente distintos. Note-se que o caudal pluvial estimado não chega à ETAR, pelo que é descarregado, na sua quase totalidade, no meio recetor.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Considerações Finais

O estudo de bacias de drenagem associado às características hidrológicas e de precipitação é de elevada importância, no sentido de prever as ocorrências nos sistemas de drenagem. Como tal, estudou-se uma bacia de drenagem de Coimbra, a bacia da ETAR do Choupal e a sua evolução ao longo de um período de 10 anos. Para um estudo mais pormenorizado, desenvolveram-se ferramentas de previsão das bacias de drenagem e analisou-se a relação entre eventos de precipitação e os caudais afluentes à ETAR, em termos quantitativos e qualitativos, a partir de dados cartográficos da área contribuinte e estimou-se os caudais de ponta de cheia pelo Método Racional.

No âmbito do presente estudo procedeu-se ao desenvolvimento de uma base de dados no *software* ArcGis que permitiu organizar as componentes de sistemas de drenagem, neste caso os coletores residuais e pluviais, por ano de construção. Importa realçar a importância do desenvolvimento da base de dados, uma vez que se torna interessante, a nível prático, para trabalhos futuros.

O trabalho desenvolvido incluiu a determinação de parâmetros relevantes que permitiram caracterizar a bacia de drenagem. Como tal, construiu-se uma carta que permitiu classificar a ocupação do solo, através do *software* ArcGis, pelo método da classificação supervisionada e posteriormente criou-se a carta representativa do coeficiente de escoamento. Com a carta pode-se verificar que a bacia é constituída maioritariamente por habitações, apresentando um valor do coeficiente de escoamento de 0,7. Foi possível também, determinar parâmetros como a precipitação média para os anos em estudo e o tempo de concentração da bacia. Para compreender a uniformidade da distribuição da precipitação em toda a área da bacia, analisaram-se os postos udométricos pertencentes à bacia e os predominantes foram o IGUC, Coimbra e Trouxemil. Calcularam-se as áreas de influência e, posteriormente determinaram-se as precipitações médias para os anos em estudo. Numa apreciação global à análise da precipitação pode-se verificar que os anos que mostraram ser tempo húmido foram desde 2005 até 2011. Para a bacia em estudo, o tempo de concentração calculado variou entre 1,3 horas a 6,9 horas, mas os valores analisados permitiram concluir que pode variar entre as 4 e 5 horas.

No âmbito dos estudos de drenagem urbana, nomeadamente o controlo de descargas para os meios recetores e de controlo de aflúncias indevidas aos coletores procedeu-se à relação de dados existentes entre precipitação, caudal e sua qualidade da água afluyente à ETAR. Face as considerações apresentadas, estudou-se os dados da ETAR em termos quantitativos (caudal afluyente) e qualitativos (qualidade da água afluyente) para tempo seco e tempo húmido. Inicialmente analisou-se o comportamento dos caudais, para todos os anos de estudo, distinguindo dias úteis e dias fim de semana. Pode-se verificar que durante os dias úteis, existe uma maior variação do caudal, devido à população que está presente na cidade de Coimbra. Posteriormente analisaram-se os anos com tempo seco e verificou-se que os valores dos caudais estão entre 500 m<sup>3</sup>/dia a 1500 m<sup>3</sup>/dia, destacando-se o mês de agosto que apresentou valores significativamente baixos. Das Figuras apresentadas anteriormente, pode-se verificar que a partir de 2007 os caudais médios diários anuais sofreram um aumento significativo, devido ao aumento da área a drenar para a ETAR. Em termos qualitativos, verificou-se que os valores da CBO estão entre 200 mg/l a 400 mg/l, os valores da CQO estão entre 450 mg/l a 800 mg/l e os valores dos SST estão entre 150 mg/l a 350 mg/l.

O estudo da ETAR, em tempo húmido, foi feita com base nos registos de precipitação e contabilizaram-se os dias em que ocorreram eventos de precipitação, bem como os dias seguintes em que a sua influência se faz sentir. Fez-se uma análise para o período em estudo e recolheram-se dias em que ocorreu precipitação em diferentes estações do ano, por ordem cronológica no tempo. Numa análise geral feita para a precipitação, verificou-se que os anos com tempo húmido foram de 2005 até 2012. Como tal, a análise foi feita para o início do estudo, antes de 2007, 2007, após 2007 e no fim de estudo. Realça-se que o ano de 2007 foi o correspondente a maiores alterações na bacia de drenagem para o Choupal. Através da análise efetuada pode-se verificar que os eventos de precipitação contribuem de forma muito relevante para o caudal de água residual no sistema de coletores, verificando que o volume de água resultante da precipitação dá origem a um aumento do caudal afluyente à ETAR. Em alguns casos, os caudais mais elevados foram antecidos de um período de maior precipitação, observando-se ainda um decréscimo do caudal após o final da mesma. Em relação à qualidade da água pode-se concluir que não existe uma relação com o caudal. Os parâmetros analíticos tanto podem diminuir ou aumentar, independentemente do aumento/diminuição do caudal afluyente.

Numa última análise aplicou-se o Método Racional para a estimativa de caudais gerados com dados de precipitação e volume descarregado sem tratamento. Para o cálculo dos caudais, tiveram-se em conta dados de precipitação de projeto e dados de precipitação real. Em relação aos dados de precipitação de projeto, utilizaram-se as curvas IDF obtidas por Carvalho e David (2006) e calcularam-se as intensidades e os caudais de ponta de cheia para cada período de retorno. Posteriormente calcularam-se os caudais a partir de dados reais. Foi feita uma análise da precipitação máxima de 4 horas para os anos em estudo e calculou-se a intensidade

de precipitação bem como o seu caudal. Com o caudal pode-se determinar o período de retorno correspondente e verificou-se que todos os anos, à exceção dos anos de 2005 e 2006, eram inferiores a 2 anos. Em 2005, o período de retorno foi estimado para 2 a 5 anos, enquanto em 2006 o período foi estimado da ordem dos 20 a 50 anos. Para comparação de resultados verificou-se o caudal máximo registado na ETAR para os dias de precipitações máximas estudadas anteriormente. Da análise de resultados pode-se verificar que os caudais são consideravelmente inferiores ao esperado. Pode-se concluir que após a ocorrência de eventos de precipitação, em situações distintas, continua a haver perturbações nos valores de caudais máximos. As intensidades dos caudais máximos registados na ETAR não corresponderam na maior parte dos dias que foram estudados. Por fim, face aos resultados apresentados, tentou-se estimar o volume descarregado para o meio recetor, calculando para os dias correspondentes ao caudal máximo afluente à ETAR, o caudal de ponta de cheia através do Método Racional. Com os resultados obtidos pelo Método Racional, comparou-se com o caudal máximo afluente à ETAR e conclui-se que não existe nenhuma relação, apresentando valores distintos. De realçar que o caudal pluvial estimado não chega à ETAR, pelo que é descarregado, na sua quase totalidade, no meio recetor.

## 5.2 Prosseguimentos de Estudo

O estudo de bacias de drenagem é um tema que requer uma maior atenção, uma vez que abrange diversos fatores e que pode originar problemas, tais como inundações, diminuição da qualidade de água nos meios recetores. Pode abordar-se o estudo dos sistemas de drenagem de várias formas. Neste caso procurou-se construir ferramentas, nomeadamente uma base de dados e calcular parâmetros que caracterizem uma bacia de drenagem da cidade de Coimbra. Face às conclusões apresentadas, sugere-se como prosseguimentos de estudo:

- Continuação do desenvolvimento da base de dados, recolhendo informação sobre componentes do sistema de drenagem;
- Estudo da bacia, separando em sub-bacias que sejam mais fáceis de controlar;
- Monitorização do caudal em diferentes pontos dos sistemas de drenagem, nomeadamente para prever os caudais nas principais sub-bacias e em descarregadores de tempestade;
- Estudo da aplicação de componentes SUDS para evitar os elevados volumes de descarga nos meios recetores que englobam águas residuais domésticas.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas do Mondego@ (2013). Disponível em <http://www.aguasdomondego.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=1949&t=ETAR-do-Choupal>, [Acedido em Julho 2013].

Amaral, R. (2011). “Avaliação de Soluções Naturais para o Tratamento de Excedentes Poluídos”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa, IST.

ArcGis@ (2013). Disponível em <http://www.esriportugal.pt/solucoes/sig-online/arcgis-online/>, [Acedido em Junho 2013].

Barbosa, A.E., Fernandes, J.N. e David, L.M. (2012). “Key issues for sustainable urban stormwater management”. *Water Research* 46, pp. 6787-6798.

Butler, D. e Davies, J. (2004). “Urban Drainage - Second Edition”. New Fetter Lane, London.

Butler, D., Fu, G. e Khu, S.T. (2008). “The relationship between sewer flood volume and receiving water quality in an integrated urban wastewater system”. 10th British Hydrological Society Symposium, 15-17 September 2008. University of Exeter.

Carvalho, R. e David, L. (2006). “Novas Curvas IDF para a região de Coimbra: Estudo baseado na digitalização da série udográfica com cerca de 70 anos”. 12º ENASB, 25 a 27 de Outubro de 2006. Cascais, Lisboa.

Carvalho, R. (2009). “Sistemas Públicos de Drenagem de Águas”. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Carvalho, R. e Tavares, P. (2010). “Apontamentos de Hidrologia e Recursos Hídricos”. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

David, L.M. e Cardoso, M.A. (2012). “Adaptação às alterações climáticas de sistemas de drenagem urbana: medidas para o efeito combinado da precipitação e da subida do nível do mar”. 15º ENASB, 10 a 12 de Outubro de 2012. Universidade de Évora, Évora.

Decreto-Lei nº 23/95, D.R. *I Série-A*, Ministério do Ambiente, 194 (1995-08-23), pp. 5284-5319. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR).

Decreto-Lei nº 152/97, D.R. *I Série-A*, Ministério do Ambiente, 139 (1997-06-19), pp. 2959-2966.

de Lima, M.I.P., Santo, F.E., Ramos, A.M. e de Lima, J.L.M.P. (2013). “Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941-2007”. *Atmospheric Research* 127 (2013), pp. 195-209.

Hipólito, J. e Vaz, A. (2011). “Hidrologia e Recursos Hídricos”. Universidade Técnica de Lisboa, IST.

INAG (2007). INSAAR 2005. “Relatório do Estado do Abastecimento de Água e Drenagem e Tratamento de Águas Residuais, Sistemas Públicos Urbanos”, Abril de 2007.

INAG (2011). INSAAR 2010. “Relatório do Estado do Abastecimento de Água e Drenagem e Tratamento de Águas Residuais, Sistemas Públicos Urbanos”, Julho de 2011.

Kang, J.H., Kayhanian e M. e Stenstrom, M. (2008). “Predicting the existence of stormwater first flush from the time of concentration”. *Water Research* 42 (1-2), pp. 220-228.

Langeveld, J., Schilperoort, R. e Weijers, S. (2013). “Climate change and urban wastewater infrastructure: there is more to explore”. *Journal of Hydrology* 476 (2013), pp. 112-119.

Lee, H., Lau, S., Kayhanian, M. e Stenstrom, M. (2008). “Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges”. *Water Research* 38 (19), pp. 4153-4163.

Lencastre, A. e Franco, F.M. (1992). “Lições de Hidrologia”. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Mines Jr., R.O., Lackey, L.W. e Behrend, G.H. (2007). “The Impact of Rainfall on Flows and Loadings at Georgia’s Wastewater Treatment Plants”. *Water Air Soil Pollut*, pp. 135-157.

Novotny, V. (2008). “A New Paradigm of Sustainable Urban Drainage and Water Management”. Paper presented at the Oxford Roundtable Workshop on Sustainability, 10-15 August 2008. Oxford University.

Pompêo, C. (2000). “Development of a state policy for sustainable urban drainage”. *Urban Water* 1, pp. 155-160.

Sá Marques, A., Sousa, J., Simões, N., Carvalho, R. e Pina, R. (2007). “Inundações em áreas urbanas: um caso de estudo nos Fornos-Coimbra, Portugal. 8º Silusba, 25 a 29 de Novembro de 2007. São Paulo, Brasil.

Silva, A. (2013). “Modelação em SIG de um Sistema de Drenagem Superficial Urbano”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geográfica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Matemática.

SNIRH@ (2013). Disponível em <http://snirh.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>, [Acedido em Abril 2013].

Sztruhár, D., Sokáč, M., Moliénčin, A. e Markovič, A. (2002). “Comprehensive assessment of combined sewer overflows in Slovakia”. *Urban Water*, 4, pp. 237-243.

Temido, J. (2010). “Tratamentos Biológicos”. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Tucci, C., Porto, R. e Barros, M. (1995). “Drenagem Urbana”. Porto Alegre, ABRH.

USEPA (2004). Report to congress on the impacts and control of CSOs and SSOs. Program status reports. EPA 833-R-04-001. United States Environmental Protection Agency, EUA.

## ANEXO A

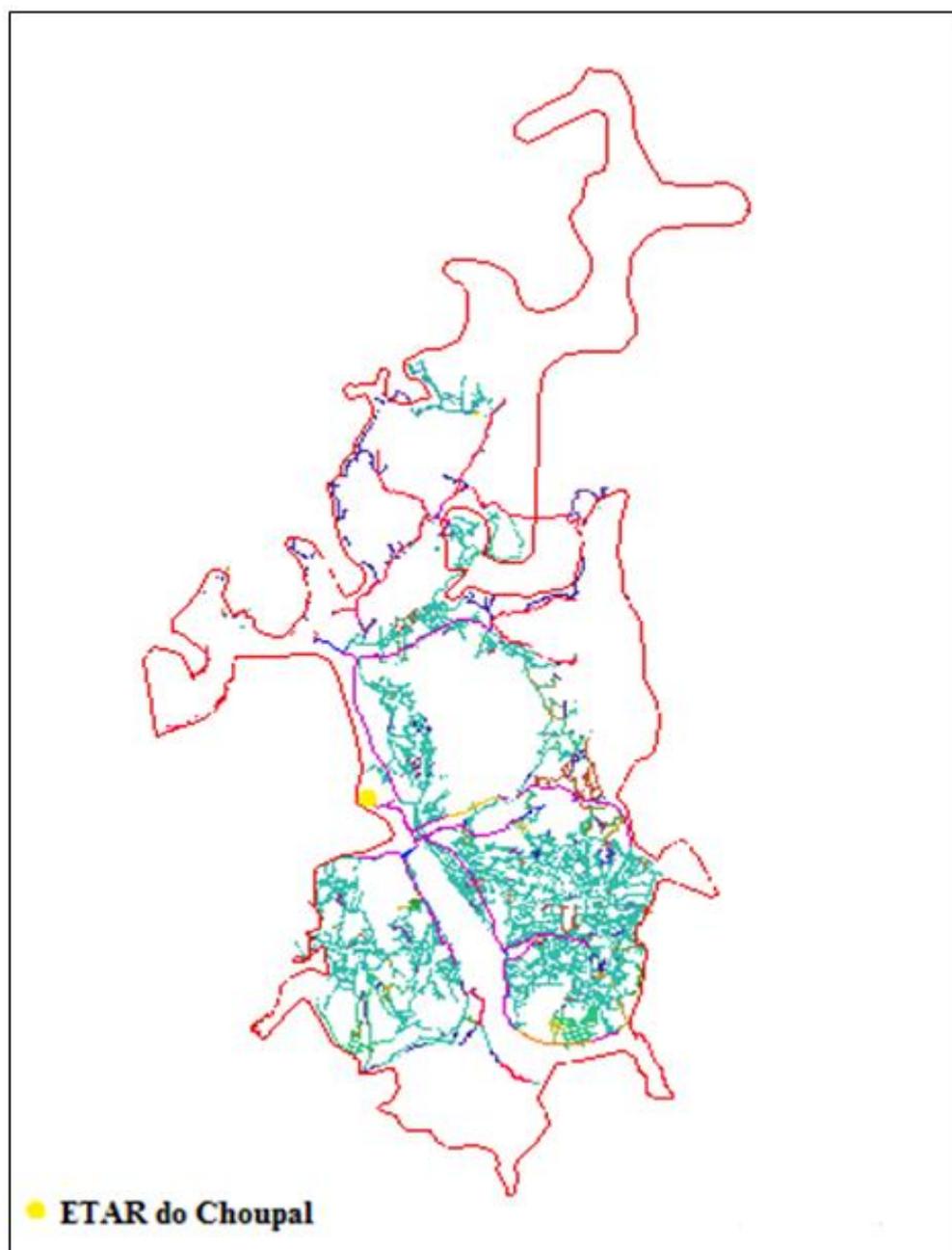


Figura A.1 - Bacia afluente à ETAR do Choupal até 2003-2004  
(retirado do ArcGis)

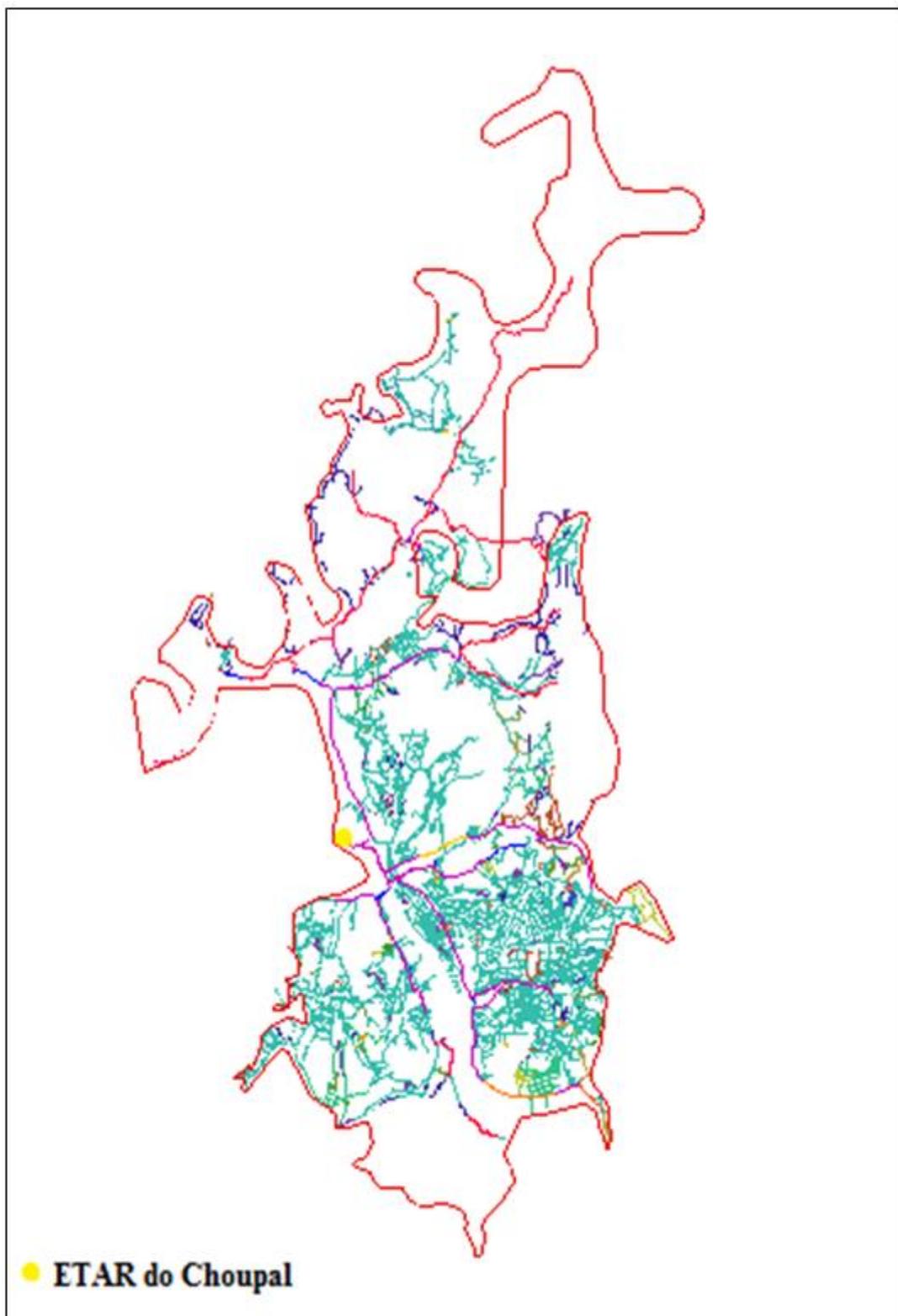


Figura A.2 - Bacia afluente à ETAR do Choupal até 2007-2008  
(retirado do ArcGis)

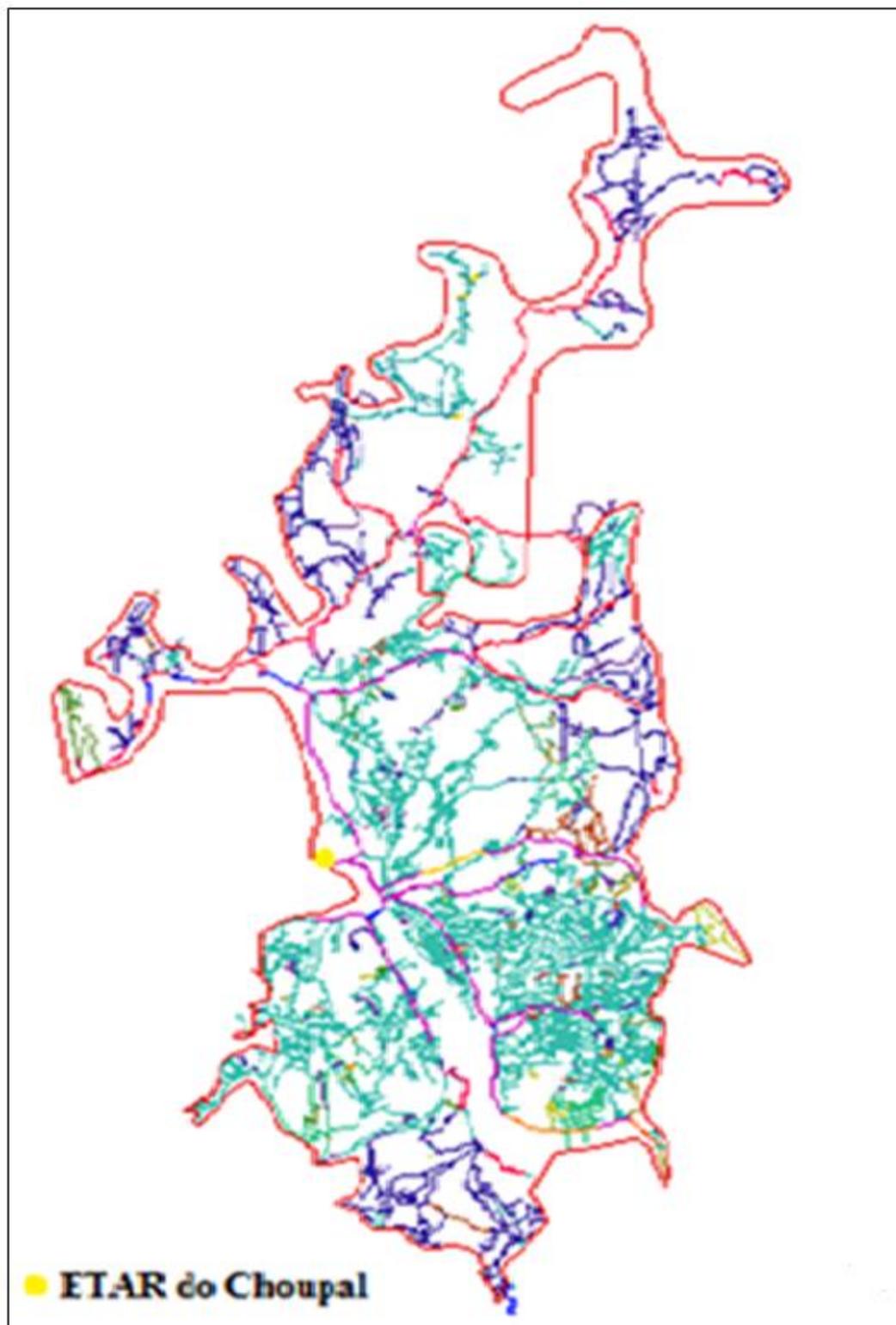


Figura A.3 - Bacia afluente à ETAR do Choupal até 2012  
(retirado do ArcGis)