



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Civil



Reabilitação do sistema de drenagem de Beirolas associado à bacia Q, em Lisboa

PAULO ALEXANDRE LEAL GORDINHO

(Licenciado em Geologia)

Relatório de estágio para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações

Orientador:

Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Júri:

Presidente: Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques

Vogais:

Mestre, Especialista (IPL) José Manuel Mendes Delgado

Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Dezembro de 2022

Agradecimentos

Nesta jornada quero agradecer ao meu orientador o Eng.º Doutor Paulo Mendes pelo seu apoio incondicional, sabedoria e paciência. A sua perícia na forma de ensinar, torna-o um exemplo a seguir, a prioridade e atenção que dá aos seus alunos, na forma de ensino, é uma força motivadora para uma aprendizagem de excelência.

Ao Eng.º José Silva Ferreira, coordenador da Equipa do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, pelo seu incentivo e motivação na evolução contínua de todos os que trabalham com ele.

Agradeço a todos os colegas da equipa, particularmente os que nela estiveram envolvidos, o apoio e motivação, também eles tornaram possível a concretização deste trabalho.

À minha mulher Ana Duarte, pela paciência e apoio, nas minhas ausências devidas ao estudo.

À minha filha Maria Carolina, por não ter tido a disponibilidade em brincar tanto com ela, como era suposto e não apoiar o tempo necessário para as suas tarefas escolares.

Ao ISEL, por proporcionar um ensino de qualidade.

Resumo

As alterações climáticas têm induzido mudanças nos regimes de precipitação, que se têm traduzido na ocorrência, cada vez mais frequente, de eventos pluviométricos extremos, isto é, de menor duração, mas com maior intensidade, os quais têm originado inundações que se têm verificado um pouco por todo o mundo.

Este problema também foi identificado como recorrente na área urbana de Lisboa, tendo-se verificado graves inundações e conseqüentes prejuízos elevados, o que motivou a necessidade de elaborar um plano que permitisse a avaliação e atualização dos atuais sistemas de drenagem.

A elaboração e execução deste plano envolve a realização de um conjunto alargado de trabalhos, nomeadamente o desenvolvimento de diversos projetos e respetivas obras, procurando-se com este trabalho descrever o acompanhamento da realização de uma dessas obras, designadamente a reabilitação do sistema de drenagem de Beirolas associado à bacia Q.

Assim, neste trabalho procura-se enquadrar o problema começando por introduzir os conceitos mais relevantes sobre a hidrologia urbana, seguindo-se uma abordagem mais alargada sobre a composição e conceção dos sistemas de drenagem, assim como uma breve referência a um conjunto de conceitos relacionados com a inspeção, o diagnóstico e a reabilitação destes sistemas.

Numa fase subsequente descrevem-se alguns dos aspetos mais relevantes sobre o plano geral de drenagem de Lisboa, que têm relevância para o desenvolvimento do presente trabalho, seguindo-se uma breve descrição do sistema onde se encontra a bacia intervencionada.

O trabalho termina com uma descrição geral da bacia intervencionada, bem como dos trabalhos mais relevantes realizados, no âmbito desta intervenção, na perspetiva de um técnico do promotor da obra, que é a Câmara Municipal de Lisboa.

Palavras-chave: Alterações climáticas, Inundações, Hidrologia urbana, Sistemas de drenagem de águas, Reabilitação de sistemas de drenagem.

Abstract

Climate change has induced changes in precipitation regimes, which have resulted in the increasingly frequent occurrence of extreme rainfall events, that is, of shorter duration, but with greater intensity, which have led to floods that have little all over the world.

This problem was also identified as recurrent in the urban area of Lisbon, with serious floods and consequent high damages, which led to the need to draw up a plan that would allow the assessment and updating of the current drainage systems.

The elaboration and execution of this plan involves carrying out a wide range of works, namely the development of several projects and respective works, with this work seeking to describe the monitoring of the execution of one of these works, namely the rehabilitation of the drainage system of Beirolas associated with the Q basin.

Therefore, this work seeks to frame the problem, starting by introducing the most relevant concepts of urban hydrology, followed by a broader approach to the composition and design of drainage systems, as well as a brief reference to a set of related concepts. inspection, diagnosis, and rehabilitation of these systems.

In a subsequent phase, some of the most relevant aspects of the general drainage plan of Lisbon, which are relevant for the development of this work, are described, followed by a brief description of the system where the intervention basin is located.

The work ends with a general description of the affected basin, as well as the most relevant works carried out, within the scope of this intervention, from the perspective of a technician from the promoter of the work, which is the Lisbon City Council.

Keywords: Climate change, Floods, Urban hydrology, Water drainage systems, Rehabilitation of drainage systems.

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Organização do trabalho	4
2	HIDROLOGIA URBANA	7
2.1	Considerações iniciais.....	7
2.2	Ciclo hidrológico	8
2.3	Balanco hidrológico.....	11
2.4	Bacias de drenagem	12
2.4.1	Conceito e delimitação.....	13
2.4.2	Característica fisiográficas	13
2.4.3	Coefficiente de escoamento	17
2.4.4	Tempo de concentração	18
2.5	Considerações finais	18
3	SISTEMAS DE DRENAGEM. INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO	19
3.1	Considerações iniciais.....	19
3.2	Sistemas de drenagem.....	19
3.2.1	Tipos de sistemas.....	20
3.2.2	Componentes dos sistemas de drenagem	20
3.2.3	Tipos de obra e processos construtivos.....	22
3.3	Requisitos de desempenho (operação e manutenção)	24
3.4	Causas de degradação do desempenho.....	26
3.5	Técnicas de inspeção	27
3.5.1	Inspeção externa	28
3.5.2	Inspeção interna.....	28
3.6	Diagnóstico e avaliação do desempenho técnico	28
3.7	Reabilitação de sistemas de drenagem	29
3.7.1	Etapas da reabilitação	30
3.7.2	Análise Hidráulica.....	31
3.7.3	Análise Ambiental	32

3.7.4	Análise Estrutural.....	32
3.7.5	Análise e intervenção	32
3.8	Considerações finais	33
4	PLANO GERAL DE DRENAGEM DE LISBOA	35
4.1	Considerações iniciais.....	35
4.2	Principais causas para revisão e atualização	35
4.3	Aspetos gerais da solução.....	37
4.3.1	Obras já realizadas	38
4.4	Síntese dos principais estudos e projetos.....	39
4.5	Visão geral do sistema de drenagem	41
4.5.1	Intervenções propostas.....	41
4.5.2	Monitorização, controlo em tempo real e aviso	44
4.6	Sistema de drenagem e bacias associadas.....	45
4.7	Considerações finais	49
5	SISTEMA DE BEIROLAS	51
5.1	Considerações iniciais.....	51
5.2	Caracterização do sistema de Beirolas	51
5.2.1	Bacia Q (Av. ^a de Berlim – Parque das Nações).....	54
5.3	Diagnóstico de desempenho hidráulico da bacia Q – Av. ^a de Berlim.....	54
5.4	Soluções de reabilitação e reforço	56
5.4.1	Principais intervenções	59
5.5	Considerações finais	62
6	REABILITAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA Q.....	63
6.1	Considerações iniciais.....	63
6.2	Descrição geral dos intervenientes na obra e custos associados	63
6.3	Acompanhamento das diversas frentes de obras	65
6.3.1	Av. ^a Infante D. Henrique.....	66
6.3.2	Av. ^a de Berlim.....	75
6.3.3	Rua de Moscovide junto ao apeadeiro do comboio, lado do Parque das Nações.....	77
6.3.4	Rua dos Argonautas	79
6.3.5	Av. ^a de Ulisses.....	80
6.3.6	Av. ^a do Atlântico.....	82

6.3.7	Reabilitação do Nova II e substituição da obra transição junto ao Altice Arena	83
6.4	Considerações finais	86
7	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....	89
7.1	Principais conclusões.....	89
7.2	Perspetivas futuras	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Imagens de inundações pelo mundo (Lusa, 2021).	1
Figura 1.2 – Imagens de inundações da cidade de Lisboa: a) em 1967; b) em 1983; c) em 2014 (Goulão, 2014).	2
Figura 1.3 – Esquema da sequência das tarefas.	4
Figura 2.1 – Características fisiográficas e hidrológicas das bacias urbanas (Martins et al., 2010).	7
Figura 2.2 – Fases de um projeto de drenagem urbana (Martins et al., 2010),	8
Figura 2.3 – Esquema representativo do ciclo hidrológico (EPAL, 2022).	9
Figura 2.4 – Bacia hidrográfica e uma pequena bacia de drenagem urbana, (Rodrigues et al., 2006).	10
Figura 2.5 – Esquema representativo do ciclo da água em meio urbano (EPAL, 2022).	10
Figura 2.6 – Ciclo hidrológico natural e em meio urbano (Gleason, 2017).	11
Figura 2.7 – Balanço hidrológico, (Hipólito, 2012).	12
Figura 2.8 – Limites das bacias de drenagem adaptado de (Martins et al., 2010; Singh, 1992).	13
Figura 2.9 – Representação fisiográfica de uma bacia de drenagem, adaptado de (Couto, 2019).	14
Figura 2.10 – Tipos de bacias: a) arredondada; b) alongada, adaptado (Singh, 1992).	14
Figura 2.11 – Sistema de drenagem na resposta hidrológica (Martins et al., 2010).	15
Figura 2.12 – Hidrogramas de seções transversais de cursos de água, (Martins et al., 2010).	15
Figura 2.13 – Relevo e hidrografia (Garcia, 2017)	16
Figura 2.14 – Representação de linhas de água e lençol freático: a) Rebaixamento do lençol freático por atravessamento linha de água; b) Recarga do aquífero; c) e d) separação por rocha impermeável ou zona não saturada. Adaptado de (Martins et al., 2010; Singh, 1992).	16
Figura 2.15 – Redução do caudal escoado com o aumento da profundidade das raízes das plantas, (Cooper, 2010).	17
Figura 2.16 – Escorrência em meio natural e urbano (Costa et al., 2019)	17
Figura 3.1 – Rede de drenagem residual e pluvial, (Oliveira, 2010).	20
Figura 3.2 – Sistema pluvial de uma via terrestre, (Matheus, 2011; Oseias, 2022).	21
Figura 3.3 – Sistema de drenagem de águas residuais domésticas (C.M. Sesimbra, 2022).	22
Figura 3.4 – Aberturas de valas para colocação de rede de drenagem.	22
Figura 3.5 – Abertura de valas e infraestruturas no subsolo (C.M. Sesimbra, 2022). ..	23

Figura 3.6 – Abertura de vala com entivação do terreno (C.M. Sesimbra, 2022).....	23
Figura 3.7 – a) Poço de chegada para a microtuneladora; b) Aplicação dos tubos (Maldonado, 2010).	23
Figura 3.8 – Controlo da velocidade de escoamento, (TPF, 2019).	24
Figura 3.9 – Patologias: a) Obstrução do Coletor; b) Tampa de acesso danificada; c) Reconstrução Caneiro de Alcântara; d) Atravessamento de pregagem no coletor; e) Colapso do coletor; f) Saída do coletor para meio receter; (Arquivo CML).	25
Figura 3.10 – Patologias: a) Raízes dentro coletor; b) Fratura longitudinal; c) Infiltração no coletor; (Arquivo CML).....	26
Figura 3.11 – Patologias a) e b) Substituição coletor; c) Soleira para reparação (Arquivo CML).	26
Figura 3.12 – Câmara de CCTV móvel (Koo e Ariaratnam, 2006) Adaptado (Ferreira, 2013).	28
Figura 3.13 – Conjunto de procedimentos da etapa inicial, (adaptado Campos, 2014) 30	
Figura 3.14 – Conjunto de procedimentos e ações das quatro etapas (adaptado de Campos (2014))	31
Figura 4.1 – Carta de riscos de Lisboa 2019: a) antes do plano; b) depois do plano (Hidra et al., 2018).	36
Figura 4.2 – Localização geográfica dos reservatórios (Gomes et al., 2021).....	37
Figura 4.3 – Pequena barragem de retenção e recarga.....	39
Figura 4.4 – Bacia de retenção do Alto da Ajuda.....	39
Figura 4.5 –Imagem da capa do livro "Água vai" Coleção do Museu de Lisboa C.M. de Lisboa.	40
Figura 4.6 – Coletor oval em saiméis - Rua das Portas de Santo Antão - Fotografia Nuno Alexandre; Arquivo Departamento de Saneamento; Câmara Municipal de Lisboa	40
Figura 4.7 – Reservatório enterrado em Barcelona capacidade (35 000 m ³)(J. S. Matos et al., 2015).	43
Figura 4.8 – Método TBM.	43
Figura 4.9 – Método NATM (J. S. Matos et al., 2015).	43
Figura 4.10 – Sistema gravítico e de drenagem sob vácuo (Roediger, 2009)(J. S. Matos et al., 2015).	44
Figura 4.11 – a) Sala de controlo de uma cidade europeia (J. S. Matos et al., 2015); b) Sala de controle da ETAR de Beirolas.	44
Figura 4.12 – Imagem do sistema de informação geográfica de Barcelona (J. S. Matos et al., 2015).	45
Figura 4.13 – Sistema de drenagem de Lisboa (J. S. Matos et al., 2015).	45
Figura 4.14 – Grande bacias e bacias (J. S. Matos et al., 2015).....	46

Figura 4.15 – Carta hipsométrica da área abrangida pelo PGDL (J. S. Matos et al., 2015).	46
Figura 4.16 – Rede de drenagem do concelho de Lisboa (J. S. Matos et al., 2015).	48
Figura 5.1 – Sistema de Beirolas: principais bacias e sub-bacias de drenagem (J. S. Matos et al., 2015).....	53
Figura 5.2 – Fotografia aérea da Bacia Q com traçado simplificado da rede principal (J. S. Matos et al., 2015).	54
Figura 5.3 – Resultados da simulação da Bacia Q (J. S. Matos et al., 2015).	55
Figura 5.4 – Descarregador de tempestade da Bacia Q (J. S. Matos et al., 2015).....	56
Figura 5.5 – Construção do coletor da Av. ^a de Berlim com novo coletor na Via Recíproca (J. S. Matos et al., 2015).....	57
Figura 5.6 –Perfil do coletor na Avenida de Berlim.....	58
Figura 5.7 – Perfil Longitudinal do coletor da Av. ^a Berlim após a construção do coletor na Via Recíproca.....	58
Figura 5.8 – Esquema da rede com atualizações de cadastro realizadas assinaladas, (Morgado et al., 2017).....	60
Figura 5.9 –Esquema de localização do coletor circular DN 1200 a construir (Morgado et al., 2017).....	60
Figura 5.10 –Esquema de uma cravação por microtúnel (Morgado et al., 2017).	61
Figura 6.1 – Esquema dos intervenientes na obra.....	64
Figura 6.2 – Imagem estaleiro da Av. ^a Infante D. Henrique.....	66
Figura 6.3 – Parede de reação/arranque da Av. ^a Infante D. Henrique.	67
Figura 6.4 – Estaleiro da Av. ^a Infante Dom Henrique: a) imagem aérea obtida a partir do Google Earth; b) imagem superficial da abertura do poço de ataque.....	68
Figura 6.5 – Planta do Poço de ataque da Av ^a Infante Dom Henrique.....	68
Figura 6.6 – Esquema ilustrativo tuneladora (Documento cedido por Herrenknecht AG).	69
Figura 6.7 – Cabeça de corte e corpo da microtuneladora.	69
Figura 6.8 – Montagem do berço da micro tuneladora.	70
Figura 6.9 – Microtuneladora e equipamentos associados.	70
Figura 6.10 – Colocação do tubo.	71
Figura 6.11 – Tubo 129 e todo o equipamento.	71
Figura 6.12 – Imagem do equipamento apoio a tuneladora).	72
Figura 6.13 – Produto escavado.	72
Figura 6.14 – a) Tubos alinhados para colocação b) Tubo com a borracha vedante.	73
Figura 6.15 – Cabine do piloto da tuneladora.	73
Figura 6.16 – Preparação dos cabos para georreferenciação.....	74
Figura 6.17 – Perfil geológico das unidades a atravessar.	74

Figura 6.18 – Pedacos de varão aço liso encontrado na escavação com tuneladora.....	75
Figura 6.19 – Vista aérea do <i>Google Earth</i> , das caixas na Av. ^a de Berlim.	75
Figura 6.20 – a) Poço de chegada da microtuneladora, b) Corte esquemático do poço de Chegada (Morgado et al., 2017).	76
Figura 6.21 – a) Desenho do corte do poço de grossos e conduta de 800 mm (Morgado et al., 2017); b) trabalhos associados à abertura do acesso ao coletor Nova II.	76
Figura 6.22 – a) Abertura da terceira caixa na Av. ^a de Berlim, b) Corte perpendicular (Morgado et al., 2017).....	77
Figura 6.23 – Caixa do apeadeiro de Moscavide.	78
Figura 6.24 – Caixa do apeadeiro de Moscavide vista N/S.....	78
Figura 6.25 – Vista aérea <i>google earth</i> estaleiro de Moscavide.	79
Figura 6.26 – Caixa existente na rua dos Argonautas.	79
Figura 6.27 – Construção da nova caixa na rua dos Argonautas.	80
Figura 6.28 – Corte da caixa na rua dos Argonautas.....	80
Figura 6.29 – Vista aérea <i>google earth</i> do estaleiro na Av. ^a Ulisses.....	81
Figura 6.30 – Demolição da caixa existente na Av. ^a Ulisses.	81
Figura 6.31 – Desenho do corte da caixa Av. ^a Ulisses.	82
Figura 6.32 – Fotografia do estaleiro da Av. ^a do Atlântico.	82
Figura 6.33 – Planta da caixa na Av. ^a do Atlântico (Morgado et al., 2017).	83
Figura 6.34 – Estaleiro da Av. ^a do Atlântico.	83
Figura 6.35 – Patologias Nova II: a) Acesso ao coletor com armaduras à vista; b) Delaminação do betão; c) Armaduras totalmente corroídas; d) Pouco recobrimento; e) Transição de coletores com resto de cofragem; f) Entradas de água obstruídas.	84
Figura 6.36 – Projeto da câmara de transição (Morgado et al., 2017).	85
Figura 6.37 – Construção do septo: a) Vista no sentido de escorrência; b) Vista do lado montante.....	85
Figura 6.38 – Caleiras transversais, na Av. ^a de Berlim, próximo do início do coletor Nova II.....	86

Lista de Siglas

A lista de siglas irá ser apresentada no desenvolvimento do trabalho e de forma ordenada.

- AdLVT- Águas de Lisboa e Vale do Tejo
- CCTV – Circuito Fechado de Televisão
- CML – Câmara Municipal de Lisboa
- EPPGDL – Equipa de Projeto do Plano Geral de Drenagem de Lisboa
- ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais
- GPI - Gestão Patrimonial de Infraestruturas
- ha - Unidade de medida em área hectares
- Km – Unidade de medida em Quilómetros
- NATM - New Austrian Tunneling Method
- PGDL – Plano Geral de Drenagem de Lisboa
- TBM - Tunnel Boring Machine

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Os episódios pluviométricos e de inundação sucedem-se por todo o mundo com intensidades e frequências muito elevadas, essencialmente devido às mudanças climáticas. Estes eventos pluviométricos de grande intensidade têm devastado grandes áreas urbanas provocando prejuízos incalculáveis. Na Europa verificou-se um total de 214 vítimas mortais, só em 2021, número que inclui 177 mortes apenas na Alemanha. Países como a Bélgica, o Luxemburgo, os Países Baixos e o leste da França também foram fortemente afetados por inundações neste ano (Lusa, 2021).

Esta situação tem motivado uma preocupação generalizada, uma vez que os atuais sistemas de drenagem não têm demonstrado capacidade para escoarem estes elevados volumes de água, dando origem a situações como as representadas na Figura 1.1 e obrigando as cidades a repensar a forma como realizam o escoamento das suas águas pluviais.

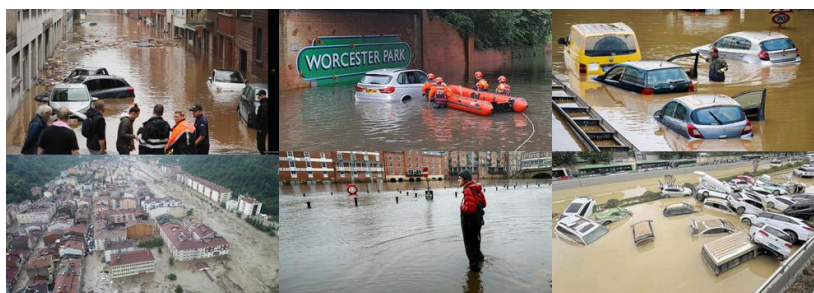


Figura 1.1 – Imagens de inundações pelo mundo (Lusa, 2021).

Portugal não é exceção, nomeadamente em Lisboa, onde nas últimas décadas se registaram pelo menos cinco eventos pluviométricos intensos, que originaram elevados prejuízos, tanto de bens materiais como humanos.

O caso mais dramático ocorreu na noite de 25 para 26 de novembro de 1967. O valor da quantidade de precipitação equivaliu a 1/5 do total anual, tendo-se registado valores de precipitação de 89,2 mm na estação de Lisboa/Geofísico e 112,5 mm na estação de Lisboa/Tapada. A área da Grande Lisboa foi bastante afetada, com as inundações a causarem um elevado número de mortos (mais de 500), milhares de desalojados e inúmeras habitações destruídas (Amaral, 2012; Ramos & Reis, 2001; Rebelo, 2008; Zêzere, 2001).

Os prejuízos foram estimados em cerca de 3 milhões de dólares, a preços da época, cerca de 20 milhões de dólares (mais de 17 milhões de euros) a preços atuais.

Em 1983, as cheias também foram particularmente devastadoras provocando a morte a sete pessoas e danos a 650 habitações. Segundo informação do IPMA, a precipitação foi

de 140 mm em 12 horas na madrugada de 18 para 19 de novembro. Tendo-se estimado prejuízos de 18 milhões de contos, a preços da época, cerca de 618 milhões de euros a preços atuais (Público, 2010).

Em 18 de fevereiro de 2008 voltaram a registar-se cheias na região de Lisboa com impactos severos na população e que foram comparadas pela opinião pública às cheias históricas de novembro de 1967. Para além de inúmeras inundações, trânsito caótico, transbordo de ribeiras e cortes de luz e gás, houve a lamentar 2 óbitos (Moreira et al., 2008).

Mais recentemente, em 2014 ocorreram dois episódios de precipitação intensa que assolaram a região da Grande Lisboa, dos quais se pode destacar os dias 22 de setembro e 13 de outubro, como os mais gravosos em termos de prejuízos materiais e consequências para a população. Com um valor médio de precipitação total anual de 1098,2 mm, o que corresponde a uma anomalia de mais 216,1 mm, em relação ao valor médio calculado entre 1971 e 2000, permite classificar 2014 como um ano muito chuvoso. Valores superiores aos registados neste ano ocorreram apenas em cerca de 20 % dos anos (desde 1931), sendo o valor da quantidade de precipitação em 2014 o mais alto dos últimos 25 anos. A baixa de Lisboa foi das zonas mais afetadas pelo mau tempo, com várias ruas a ficarem intransitáveis por causa da elevada acumulação de água, como se pode ver na Figura 1.2.



Figura 1.2 – Imagens de inundações da cidade de Lisboa: a) em 1967; b) em 1983; c) em 2014 (Goulão, 2014).

Perante este contexto, o controlo de cheias em ambiente urbano representa atualmente uma preocupação muito relevante para as entidades municipais, uma vez que as grandes cidades apresentam uma elevada densidade populacional, o que implica a existência de elevados níveis de impermeabilização. Pelo que é fundamental melhorar o conhecimento

sobre o comportamento das águas superficiais nas áreas urbanas e da sua interação com os respetivos sistemas de drenagem.

Assim, os municípios têm de investir na implementação de sistemas de drenagem de águas pluviais, que sejam capazes de receber e reordenar o seu escoamento, por forma a minimizar os seus efeitos negativos.

Está-se perante uma temática de indiscutível importância, cada vez mais atual, que se traduz na imprescindível existência de planos gerais de drenagem de águas pluviais eficazes, para um melhor controlo da água em meio urbano, como é o caso do Plano Geral de Drenagem da cidade de Lisboa.

Neste trabalho aborda-se esta temática assente no acompanhamento da reabilitação de diversos elementos da rede de saneamento da bacia Q (Beirolas) da cidade de Lisboa.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho envolve o acompanhamento das obras de reabilitação e reforço de diversos elementos do sistema de drenagem da bacia Q (Beirolas) da cidade de Lisboa. Para o efeito foi idealizada uma metodologia de trabalho ver Figura 1.3 que permite atingir esse objetivo e que se descreve de seguida:

- Numa primeira fase são abordados os principais aspetos referentes à hidrologia urbana, essenciais para a perceção das várias etapas associadas ao desenvolvimento e implementação de uma rede de saneamento urbana, numa grande cidade;
- Numa segunda fase descrevem-se os principais elementos que integram um sistema de drenagem de águas pluviais, evidenciando-se os aspetos mais relevantes sobre a sua implantação em obra, bem como os principais requisitos de desempenho ao nível da sua operação e manutenção. Terminado com uma abordagem sobre os processos de inspeção, diagnóstico e reabilitação deste tipo de sistemas;
- Numa terceira fase descreve-se de forma sumária os aspetos mais relevantes associados ao Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL), nomeadamente as principais causas para a sua revisão e atualização, os aspetos gerais da solução, uma síntese sobre os principais estudos e projetos e uma visão global do sistema, bem como as suas principais componentes;
- Numa quarta fase descreve-se o Sistema de Beirolas, procurando-se evidenciar os principais componentes da bacia Q e seu desempenho hidráulico;
- Por fim apresenta-se uma descrição geral sobre o processo de acompanhamento da reabilitação de diversos elementos da rede de saneamento da bacia Q (Beirolas) da cidade de Lisboa, na perspetiva do autor deste trabalho, que é técnico da

Câmara Municipal de Lisboa (íntegra a equipa responsável pela execução do PGDL) e que motivou o desenvolvimento de todos os outros conteúdos associados à realização deste trabalho.

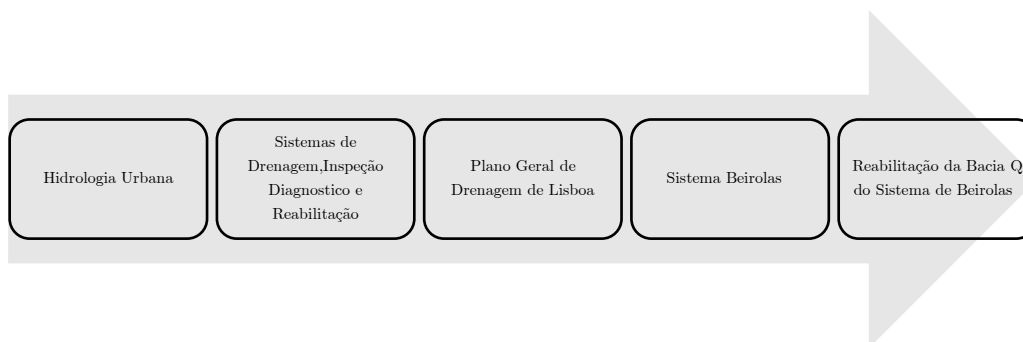


Figura 1.3 – Esquema da sequência das tarefas.

Embora o foco do trabalho esteja centrado na descrição do acompanhamento das obras de reabilitação e reforço do sistema de drenagem da bacia Q (Beirolas), que serão descritas no capítulo 6 do trabalho, nos capítulos 2 e 3 serão abordados alguns conceitos, considerados essenciais para esse propósito, enquanto nos capítulos 4 e 5 serão descritos, o atual plano de drenagem para a cidade de Lisboa e o sistema de Beirolas onde está inserida a bacia Q.

1.3 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em 7 capítulos. No primeiro é feito o enquadramento geral do trabalho, a apresentação dos seus objetivos e da metodologia concebida para o seu desenvolvimento.

No capítulo 2, desenvolve-se o estudo da hidrologia urbana definindo o conceito, descreve-se o ciclo hidrológico, refere-se também o balanço hidrológico e seu comportamento, define-se bacia de drenagem, limites, características da bacia como relevo, geologia e solos e vegetação. Também se desenvolve os órgãos e os tipos de sistemas de drenagem e principais dificuldades, seja a falta de capacidade do sistema como a falta de manutenção. No capítulo 3 abordam-se os sistemas de drenagem, evidenciando-se as principais tipologias construtivas, os requisitos de desempenho e as principais causas de degradação. É também apresentada uma perspectiva envolvendo as técnicas de inspeção e diagnóstico, deste tipo de sistemas, terminando com a apresentação de uma abordagem sobre a sua eventual reabilitação.

No capítulo 4 descreve-se o Plano Geral de Drenagem de Lisboa principais causas e aspetos gerais da solução, principais estudos e projetos.

No capítulo 5 faz-se um breve resumo do sistema Beirolas, seu desempenho e soluções de reabilitação.

O capítulo 6 descreve-se os órgãos do sistema de drenagem da bacia Q, construídos e reabilitados.

No último capítulo são apresentadas as conclusões e as perspectivas futuras.

2 HIDROLOGIA URBANA

2.1 Considerações iniciais

A hidrologia urbana é o ramo da hidrologia que estuda as zonas urbanas e metropolitanas onde predominam as superfícies quase impermeáveis e um relevo artificial do terreno, analisando em particular o impacto do desenvolvimento urbano no ciclo da água e as formas de minimizar os seus efeitos negativos.

A generalidade dos estudos de hidrologia urbana, envolvem a análise do escoamento superficial, nestes ambientes, que complementarmente envolvem a sua proteção contra os fenómenos catastróficos provocados pelo movimento da água nessas superfícies (p. ex. cheias, deslizamento de taludes, etc.). O estudo ponderado do escoamento superficial que abrange a análise para determinar o caudal de ponta, do volume escoado e da forma do hidrograma para um dado período de retorno, integra um dos mais importantes agentes para o sucesso de projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. A obtenção de estimativas erradas, poderão introduzir discrepâncias importantes para o desenvolvimento destes projetos, dando origem a obras subdimensionadas ou sobredimensionadas (Martins et al., 2010).

Todavia é importante ter em atenção que os valores obtidos serão sempre aproximados, que no essencial são associados a uma deficiente caracterização fisiográfica e climática das bacias urbanas, às dúvidas hidrológicas dos processos envolvidos, às generalizações dos métodos disponíveis e aos critérios aceites (Martins et al., 2010). Assim, as bacias urbanas são elementos complexos com uma considerável instabilidade espacial nas suas características fisiográficas, tal como se mostra na Figura 2.1.

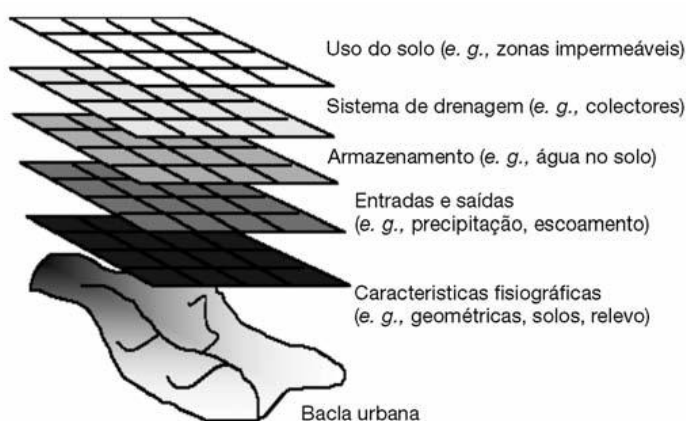


Figura 2.1 – Características fisiográficas e hidrológicas das bacias urbanas (Martins et al., 2010).

Na análise de uma bacia urbana, devem ser atendidos os seguintes aspetos (Martins et al., 2010) e (Singh, 1992):

- Qual o tipo de uso do solo previsto para a bacia, nomeadamente em termos de impermeabilização e outras intervenções humanas que possam reduzir o tempo de concentração da bacia ou levar à ocupação de áreas inadequadas;
- Os efeitos causados pelas obras em estudo, a montante e a jusante do troço em que se vai processar a intervenção.

Neste contexto, um projeto de drenagem urbana pode ser subdividido em três fases, tal como se mostra na Figura 2.2. A fase 1 é influenciada por aspetos socioeconómicos, tais como análises de risco e escolha do período de retorno dos fenómenos relevantes. Enquanto as fases 2 e 3 têm um cariz mais técnico. A fase 2 envolve a hidrologia urbana (determinação da chuvada de projeto e do hidrograma e caudal de projeto, nomeadamente através de modelos de precipitação-escoamento) e a fase 3, está associada aos estudos da área da hidráulica urbana (dimensionamento de sumidouros, coletores, canais, etc.).

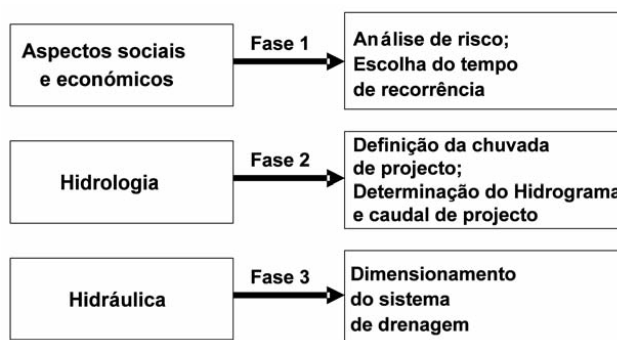


Figura 2.2 – Fases de um projeto de drenagem urbana (Martins et al., 2010),.

A abordagem neste capítulo à hidrologia urbana envolverá alguns aspetos e noções básicas importantes na análise de sistemas de drenagem de águas pluviais. Vão ser evidenciados aspetos relacionados com o ciclo hidrológico, o balanço hidrológico e as bacias de drenagem urbana.

2.2 Ciclo hidrológico

O ciclo da água representa a circulação que a água faz na natureza, através de uma movimentação infinita e circular, que se inicia com a evaporação/evapotranspiração a seguir à condensação e posterior precipitação. A importância deste ciclo é fundamental para a vida na Terra, pois permite a renovação da biodiversidade.

Na hidrologia este ciclo é apresentado de uma forma mais abrangente através da designação de ciclo hidrológico e representa um conceito fundamental neste domínio. Pode ser definido como a parte do sistema climático relativa às propriedades hídricas dos diversos componentes: atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera, quando

relacionados pelos processos de evaporação, condensação, precipitação, advecção e escoamento (Rodrigues et al., 2006).

O ciclo hidrológico promove a variação climática, assegura a criação de condições para a vida do homem, das plantas e dos animais e garante a purificação e circulação da água nos rios, lagos e oceanos (ver Figura 2.3).

No planeta existem três grandes reservatórios de água, que são os oceanos, os continentes e a atmosfera. A circulação entre estes reservatórios, permite que a água esteja nos vários estados possíveis: líquido, sólido e gasoso.

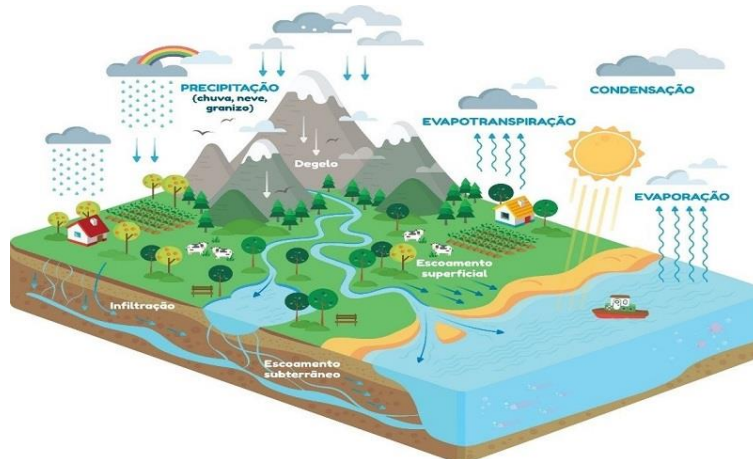


Figura 2.3 – Esquema representativo do ciclo hidrológico (EPAL, 2022).

O ciclo hidrológico é originado e mantido pela radiação solar e modulado pela energia potencial gravítica. O processo segundo o qual a evapotranspiração é seguida pela condensação, precipitação e escoamento, assegura o abastecimento contínuo de água, que assim constitui um recurso renovável.

Os fenómenos naturais que constituem o ciclo hidrológico são:

- Transferência de água, no estado vapor, da superfície do globo para a atmosfera, por evapotranspiração;
- Transporte de água (líquida, sólida e gasosa) em resultado das circulações locais e/ou gerais da atmosfera;
- Condensação parcial do vapor de água da atmosfera em pequenas partículas líquidas e sólidas, formando as nuvens e nevoeiros;
- Transferência de água (líquida, sólida e gasosa) da atmosfera para o globo por precipitação e deposição de hidrometeoros;
- Escoamento e retenção na superfície ou infiltração no subsolo da água e consequente formação de cursos de água e lagos, ou lençóis freáticos.

No âmbito deste trabalho existe uma preocupação evidente, envolvendo a fase referente ao escoamento e à retenção de água, pelos solos, que têm de ser abordados em função das

especificidades de cada território em análise e tendo em atenção as designadas bacias hidrográficas, ou bacias de drenagem.

A bacia hidrográfica representa a área de captação natural da água precipitada, cujo escoamento se estende das vertentes mais altas até ao leito dos rios e seus afluentes, tal como se mostra na Figura 2.4. Neste trabalho apenas se intervém numa pequena fração de uma bacia hidrográfica, que se insere em meio urbano, pelo que a sua análise é condicionada pela interferência humana inerente.



Figura 2.4 – Bacia hidrográfica e uma pequena bacia de drenagem urbana, (Rodrigues et al., 2006).

Como já foi referido, no âmbito deste trabalho existe uma preocupação com a etapa referente ao escoamento em meio urbano, tendo em consideração a interferência que a ação do Homem induz neste processo. Contudo, convém referir que em contexto urbano o ciclo da água envolve algumas adaptações, tais como a captação de água, o armazenamento e a distribuição, bem como o tratamento e devolução ao ciclo natural, os quais se encontram sintetizados na Figura 2.5.

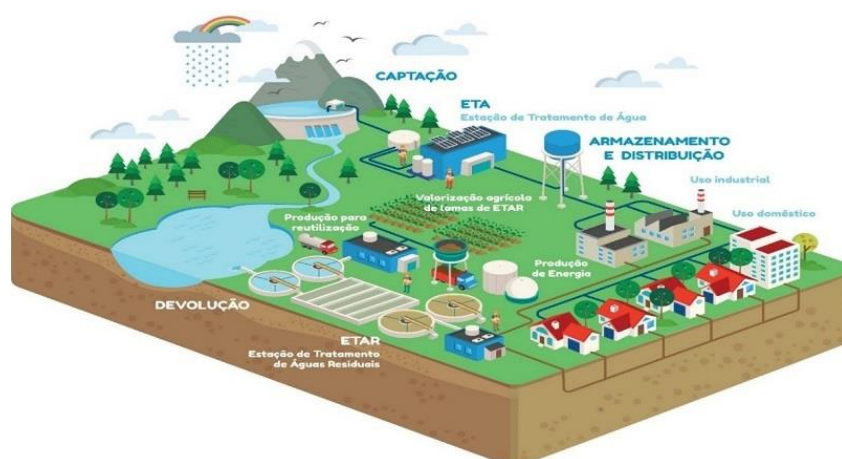


Figura 2.5 – Esquema representativo do ciclo da água em meio urbano (EPAL, 2022).

Assim, convém salientar, que em meio urbano o escoamento da água após a precipitação, para além de ser muito influenciado devido aos elevados níveis de impermeabilização,

também tem de ser compatibilizado com a adaptação do ciclo da água a este meio, sendo gerido através dos processos de escoamento das designadas redes pluviais e domésticas. Na Figura 2.6 apresenta-se um esquema que pretende evidenciar as principais diferenças do ciclo hidrológico quando se compara um meio natural com uma área urbana.

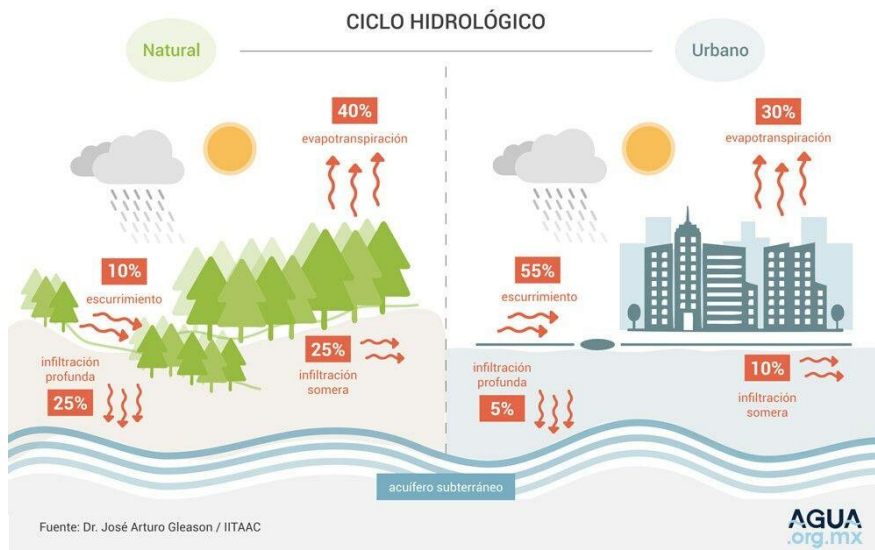


Figura 2.6 – Ciclo hidrológico natural e em meio urbano (Gleason, 2017).

Da análise da figura anterior evidencia-se claramente, que em meio urbano, existe um grande aumento associado ao escoamento superficial, que terá um inevitável impacto na conceção dos sistemas de drenagem associados.

2.3 Balanço hidrológico

O balanço hidrológico é a quantidade de água que entra e sai numa determinada bacia hidrográfica, num dado intervalo de tempo. A entrada de água no sistema pode fazer-se de duas formas, pela ocorrência de precipitação ou pela intervenção humana, enquanto a saída do sistema pode ter três vias, escoamento, evapotranspiração e intervenção humana. A variação de estado do sistema tem de ter em conta a quantidade de água armazenada no sistema/solo.

Neste sistema tem de se considerar não só a água retida pelo solo, mas também a que é consumida pelas plantas. O homem também, como já foi referido anteriormente, intervém na extração mecânica da água através de furos de captação, este processo contribui para a variação de estado do sistema, nesta situação negativamente.

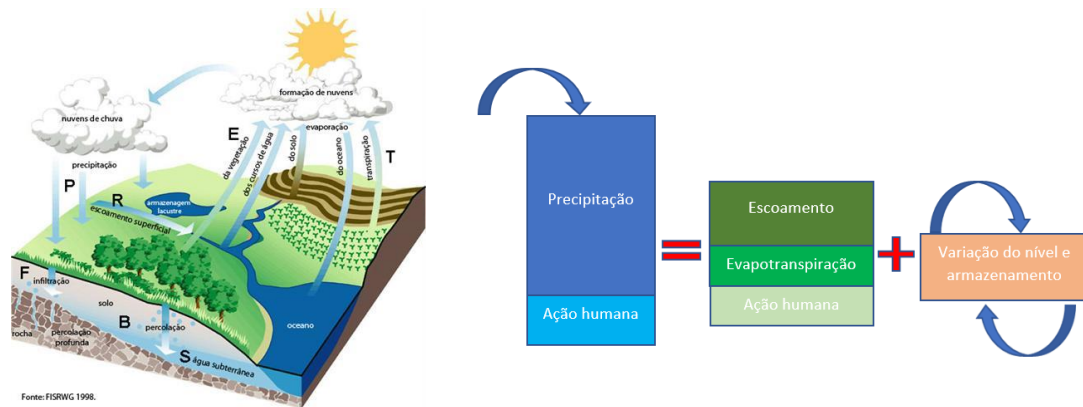


Figura 2.7 – Balanço hidrológico, (Hipólito, 2012).

Um balanço hidrológico pode ser aplicado a qualquer espaço ou região delimitada por limites topográficos ou definida arbitrariamente, num curto ou longo intervalo de tempo. No entanto, em termos práticos, torna-se muito difícil ou mesmo impossível efetuar o balanço hidrológico nalgumas situações, nomeadamente por não ser possível conhecer todos os termos da equação. Assim, privilegia-se a aplicação do conceito de balanço hidrológico a intervalos de tempo específicos e para espaços topograficamente bem delimitados, como é o caso de bacias de drenagem.

O conceito de balanço hidrológico estabelecido à escala de uma bacia hidrográfica pode ser aplicável a intervalos de tempo iguais ao ano, desde que, no início de cada ano (ano hidrológico), o armazenamento de água na bacia seja praticamente idêntico. É o que se passa em Portugal, no final da estiagem, em que esse armazenamento é muito baixo.

O balanço hidrológico utiliza-se para:

- Aferição conjunta dos valores dos seus termos, quando os mesmos são determinados separadamente;
- Estimação de um deles, quando não há possibilidade de o medir diretamente;
- Análise dos efeitos produzidos nos valores dos restantes termos da equação pelas modificações introduzidas num ou mais desses termos por diversas ações do Homem (e. g., urbanização de zonas agrícolas ou florestais, modificação do coberto vegetal devido, por exemplo, a um fogo florestal).

É importante manter atualizado o balanço hidrológico de uma determinada bacia urbana ou rural como forma de previsão, planeamento e controlo de recursos hídricos existentes.

2.4 Bacias de drenagem

As bacias de drenagem urbana são formadas por um sistema de linhas de água naturais e artificiais que se ligam, formando as designadas redes de drenagem, compostas por canais principais e afluentes.

Neste sentido é importante descrever alguns conceitos essenciais para a sua adequada caracterização, tais como a extensão do conceito geral associada à sua delimitação, as principais características fisiográficas (geometria; sistema de drenagem; relevo; geologia e solos; vegetação), o coeficiente de escoamento e o tempo de concentração.

2.4.1 Conceito e delimitação

A definição de bacia para uma determinada fração de uma linha de água ou de um canal, corresponde à área geográfica onde é recolhida a água da chuva que escorre na superfície do solo e que abrange a área considerada. Esta fração é referida, como secção de referência da bacia, pode-se assumir que é a principal saída dos volumes de água efluentes e as águas subterrâneas são desprezadas.

Uma bacia urbana é constituída por vários órgãos tais como linhas de água naturais, redes de coletores, valas, valetas, tubos de drenagem crepinado, galerias e emissários, presentes ao nível do loteamento da rede urbana primária e da bacia hidrográfica. As linhas de cumeeada de uma bacia de drenagem são linhas de separação natural do escoamento superficial e denominam-se linhas divisórias topográficas ver Figura 2.8 – Limites das bacias de drenagem adaptado de (Martins et al., 2010; Singh, 1992)..

As bacias de drenagem são separadas por linhas de cumeeada que constituem naturalmente linhas divisórias do escoamento superficial. Estas linhas chamam-se linhas divisórias topográficas.

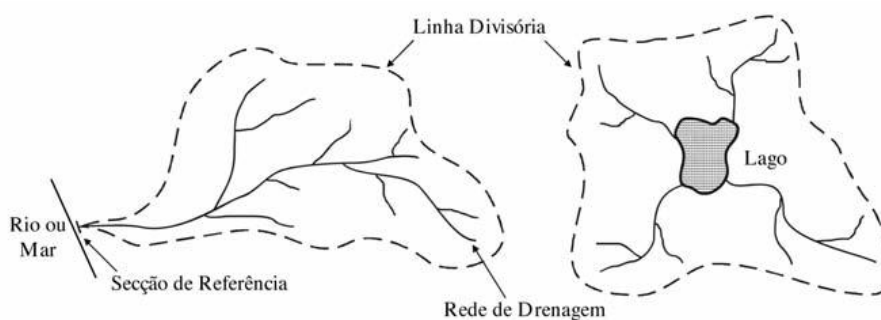


Figura 2.8 – Limites das bacias de drenagem adaptado de (Martins et al., 2010; Singh, 1992).

2.4.2 Característica fisiográficas

As características fisiográficas de uma bacia correspondem à informação que pode ser extraída de um mapa, tais como: geometria; rede de drenagem; geologia. Na Figura 2.9 apresentam-se um exemplo de uma representação fisiográfica de uma bacia de drenagem.



Figura 2.9 – Representação fisiográfica de uma bacia de drenagem, adaptado de (Couto, 2019).

2.4.2.1 Geometria

A área de uma bacia é uma área plana, em projeção horizontal, que é definida por uma linha divisória topográfica, usualmente expressa em quilómetros quadrados (ou hectares). Do ponto de vista hidrológico, as bacias podem ser classificadas em grandes, médias e pequenas. O tipo de escoamento superficial e subterrâneo são fatores predominantes na classificação, quanto à dimensão da bacia. Uma bacia urbana pequena, pode ter algumas complicações, com grandes pluviosidades e usos de solo diferentes. Na Figura 2.10 representa-se dois tipos de bacias, a primeira do tipo arredondada terá um caudal de ponta intenso, enquanto na segunda o caudal de ponta será mais prolongado, pelo que irá levar mais tempo a chegar ao ponto de referência.

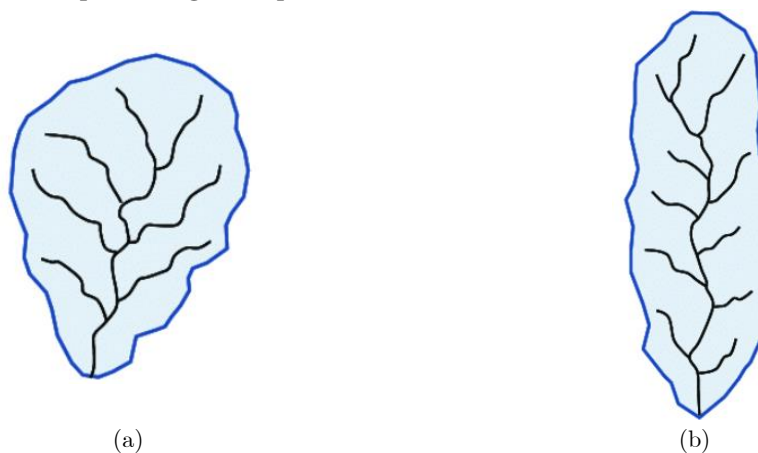


Figura 2.10 – Tipos de bacias: a) arredondada; b) alongada, adaptado (Singh, 1992).

2.4.2.2 Rede de drenagem

Um sistema de drenagem é composto por um canal principal de maiores dimensões e por canais secundários, mais reduzidos, caso sejam artificiais são compostos por coletores, canais e valetas. A distribuição em planta é relevante para a eficácia da drenagem, com isto melhorará a formação de cheia e terá uma maior dimensão.

Na Figura 2.11 apresenta-se um gráfico que procura evidenciar a influência que a constituição mineralógica dos solos tem na definição do tipo de bacia e na consequente resposta hidrológica dos sistemas de drenagem.

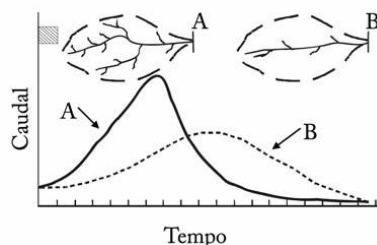


Figura 2.11 – Sistema de drenagem na resposta hidrológica (Martins et al., 2010).

Neste contexto, os sistemas de drenagem podem assumir as seguintes designações ver Figura 2.12:

- **Perenes** – mantêm sempre um caudal permanente todo o ano, devido às reservas subterrâneas mesmo quando não há precipitação;
- **Intermitentes** – são leitos onde existe escoamento durante o período húmido e com contribuição dos níveis freáticos, no período de seca o nível baixa acabando por ficar só o leito do rio;
- **Efémeros** – só acontece nos períodos de precipitação, por isso os períodos de escoamento são reduzidos e não existe recarga subterrânea.

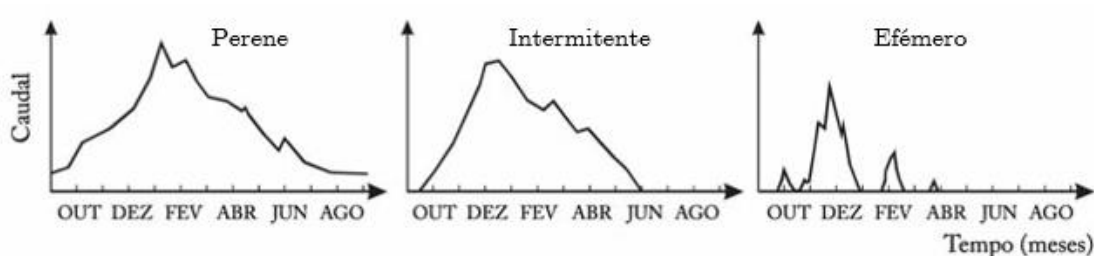


Figura 2.12 – Hidrogramas de seções transversais de cursos de água, (Martins et al., 2010).

2.4.2.3 Relevo

A orografia de uma bacia é de extrema importância, uma vez que perante uma orografia muito acentuada, o escoamento superficial é muito rápido e a erosão elevada, o que influencia o crescimento da vegetação. Assim devido ao pouco recobrimento vegetal, o tempo de concentração da água na superfície do solo é muito reduzida, tornando a capacidade de infiltração muito diminuta. Se a orografia for menos íngreme o processo descrito tem um impacto muito menor, uma vez que conduz a um aumento da concentração da água.

Na Figura 2.13 mostra-se um exemplo no qual se evidencia a erosão devido à orografia, e tipo de solo (solo menos competente).



Figura 2.13 – Relevo e hidrografia (Garcia, 2017)

2.4.2.4 Geologia e solos

A geologia e o tipo de solo têm influência na velocidade dos caudais líquidos e nas bacias de drenagem, como por exemplo, o escoamento subterrâneo, superficial e subsuperficial. Os sedimentos erodidos e transportados denominam-se por caudal sólido. As linhas de água efêmeras e intermitentes estão ligadas às bacias urbanas impermeáveis. Na Figura 2.14 representam-se alguns exemplos de linhas de água e a sua relação com o lençol freático.

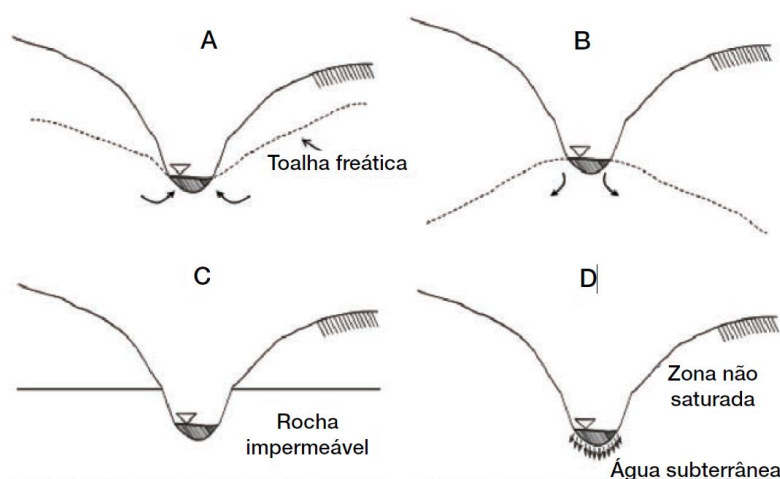


Figura 2.14 – Representação de linhas de água e lençol freático: a) Rebaixamento do lençol freático por atravessamento linha de água; b) Recarga do aquífero; c) e d) separação por rocha impermeável ou zona não saturada. Adaptado de (Martins et al., 2010; Singh, 1992).

2.4.2.5 Vegetação

A vegetação corresponde a uma parte muito importante de uma bacia urbana, cada vez mais reduzida em detrimento de áreas urbanizadas, esta situação tem implicações no

balanço hidrológico e conseqüentemente tem impactos no escoamento superficial, com grande aumento dos volumes de ponta de cheia. A Figura 2.15 mostra a influência que o aumento das raízes das plantas, podem ter na redução do caudal escoado.

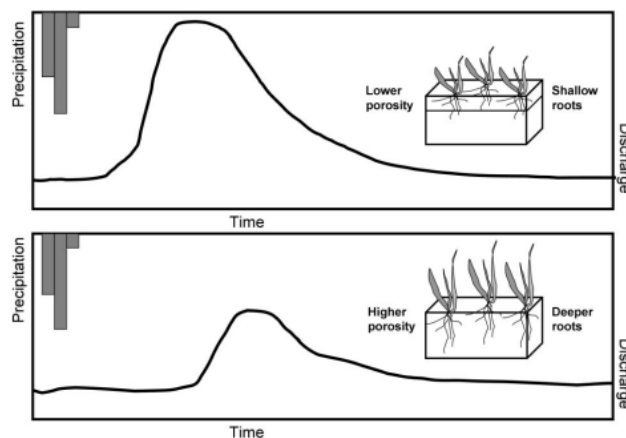


Figura 2.15 – Redução do caudal escoado com o aumento da profundidade das raízes das plantas, (Cooper, 2010).

2.4.3 Coefficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é o quociente entre o volume de água escoado na superfície e o volume de água da precipitação. Estes cálculos são importantes em estudos hidrológicos, principalmente a escorrência superficial. As taxas de impermeabilização em ambiente natural são completamente distintas das áreas urbanas, no entanto importa evidenciar que nestas últimas, nas zonas residenciais variam entre 40 e 70% e nas áreas comerciais entre 70 e 90%, pelo que facilmente se conclui que o uso do solo tem grande influência no escoamento das águas pluviais, bem como as atividades associadas, tal como se mostra ver Figura 2.16.

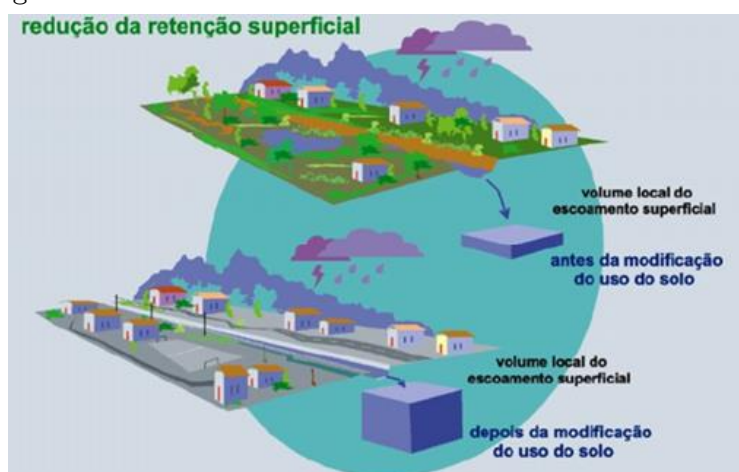


Figura 2.16 – Escorrência em meio natural e urbano (Costa et al., 2019)

2.4.4 Tempo de concentração

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica segundo (Queiroz & Alves, 2020) é o tempo que leva a água (resultante de uma chuvada razoavelmente intensa) a percorrer uma distância até atingir uma determinada seção de referência, tendo partido do ponto cinematicamente mais afastado desta, desde que localizado nos limites da bacia.

Trata-se de fator importante para as análises hidrológicas que depende das características fisiográficas da bacia, da ocupação do solo, do sistema de drenagem e da precipitação.

2.5 Considerações finais

Neste capítulo pretendeu-se mostrar a importância que o estudo da hidrologia urbana tem na concepção e implantação de sistemas de drenagem. Neste sentido abordaram-se alguns dos principais conceitos associados, procurando evidenciar a relevância da impermeabilização dos terrenos, associada aos meios urbanos, e as inevitáveis consequências que daí advêm.

Assim, para além de se introduzirem conceitos, tais como, ciclo hidrológico, balanço hidrológico e bacias de drenagem, procurou-se evidenciar as principais alterações associadas à interferência da ação humana, que tipicamente resultam num aumento da impermeabilização dos terrenos, o que se traduz num aumento do volume de águas a escoar pelos sistemas de drenagem.

3 SISTEMAS DE DRENAGEM. INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO

3.1 Considerações iniciais

Os sistemas de drenagem assumem um papel de especial relevância na gestão das águas pluviais e residuais (domésticas e industriais). São constituídos por redes de coletores, que asseguram a recolha e o transporte, destas águas, em condições apropriadas, para um meio recetor, de maneira a evitar a ocorrência de inundações. Neste contexto, para além de necessários, estes sistemas são fundamentais para assegurar a qualidade de vida e a segurança das populações e seus bens.

A conceção destes sistemas pode conduzir a diferentes tipologias, que por sua vez podem induzir a diferentes condições de operação e manutenção, com os inerentes problemas de exploração associados. Por outro lado, como já foi referido anteriormente, a ocorrência de eventos pluviométricos mais intensos tem também contribuído para a necessidade de reabilitar e/ou readequar estes sistemas.

Neste contexto, este capítulo procura, numa primeira fase, descrever e caracterizar os sistemas de drenagem, apresentar os principais requisitos de desempenho e abordar as principais causas da degradação do seu desempenho. Seguindo-se uma segunda fase, em que se apresenta uma abordagem que envolve algumas temáticas tais como a inspeção, o diagnóstico e a reabilitação de sistemas de drenagem de águas pluviais e residuais, que é de especial importância para sistemas que se encontram em funcionamento há vários anos, podendo em alguns casos apresentar problemas de exploração ou, já se encontrarem subdimensionados para as atuais condições de exploração.

3.2 Sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem são constituídos por uma rede de equipamentos e instalações, que têm a função de captar, transportar, tratar (se necessário) e descarregar águas pluviais e residuais em condições sanitárias satisfatórias.

Nesta seção identificam-se os tipos de sistemas de drenagem pública de águas pluviais e residuais, indicam-se os principais componentes destes sistemas, abordam-se alguns tipos de obras e processos construtivos associados.

3.2.1 Tipos de sistemas

Os sistemas de drenagem pluviais e residuais são classificados, na legislação portuguesa (Decreto regulamentar n.º 23/95, 1995), de acordo com a natureza das águas que transportam, identificando-se os quatro tipos seguintes:

- Sistema separativo - separa água pluvial e residual;
- Sistema unitário - as águas não são separadas;
- Sistemas mistos - conjunto dos dois anteriores;
- Sistemas pseudo-separativos em determinado momento são separados e depois voltam a ser unitários.

Na Figura 3.1, apresenta-se um exemplo de uma rede de um sistema separativo, que é constituído por duas redes de coletores distintas: uma dedicada ao escoamento de águas residuais domésticas e industriais que passa por uma ETAR, e outra que garante o escoamento das águas pluviais para os meios recetores, sem ligação entre as duas redes.

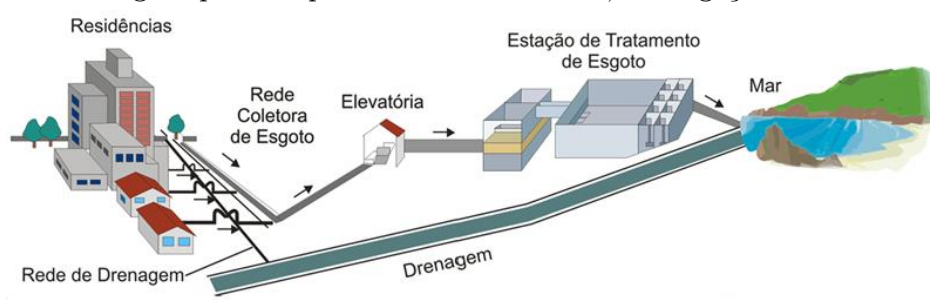


Figura 3.1 – Rede de drenagem residual e pluvial, (Oliveira, 2010).

Este tipo de sistema é o ideal, pois garante a separação dos dois tipos de efluentes, isto é, entre as águas residuais altamente poluídas e as águas pluviais, tipicamente com uma menor carga poluente. Todavia, na prática, a separação total dos dois tipos de efluentes nem sempre é possível, devido à existência de ligações indevidas, o que pode originar descargas de poluentes prejudiciais ao meio recetor (Lourenço, 2014).

3.2.2 Componentes dos sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem podem ter diversos tipos de componentes, dependendo das necessidades específicas de cada sistema, que podem ser de diversa ordem, designadamente a quantidade de caudal a drenar, as propriedades dos caudais drenados (poluentes, etc.) e eventuais obstáculos naturais a atravessar. Neste sentido, em termos gerais podem-se descrever de acordo com os seguintes grupos:

- Redes de coletores e ramais de ligação
- Órgãos acessórios

- Dispositivos de entrada (sarjetas de passeio ou sumidouros)
- Câmaras de visita
- Órgãos especiais e instalações complementares
 - Descarregadores
 - Bacias de retenção
 - Câmaras drenantes
 - Instalações elevatórias e condutas impulsão
 - Descarregadores de tempestade
 - Sifões invertidos
 - Emissários e interceptores

Para complementar ou melhorar o desempenho dos sistemas drenagem pode ainda existir a necessidade de executar obras complementares, tais como:

- Túneis
- Atravessamentos
- Lagoas de amortecimento e retenção (bacias drenantes)
- Valas drenantes

Na Figura 3.2 mostram-se esquemas de sistemas de drenagem pluvial, localizados em vias rodoviárias, com caixas de visita, valetas, sarjetas e sumidouros, onde é possível ver em esquema alguns dos componentes do sistema enterrados no subsolo.

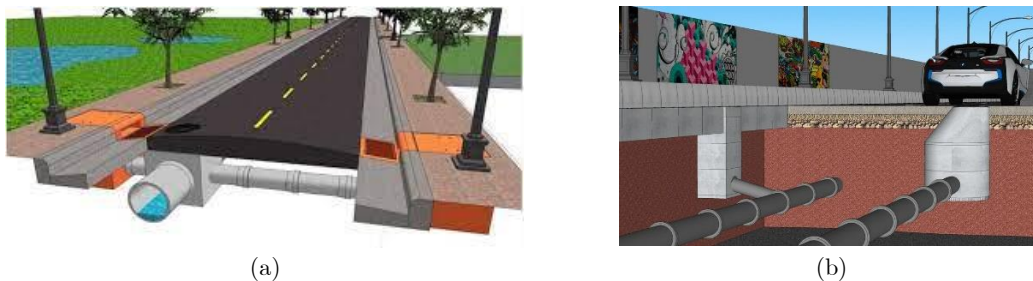


Figura 3.2 – Sistema pluvial de uma via terrestre, (Matheus, 2011; Oseias, 2022).

Na Figura 3.3 mostra-se um esquema referente a um sistema de drenagem de águas residuais domésticas, no qual de evidenciam alguns dos principais componentes associados, que vão desde a habitação até à ETAR.

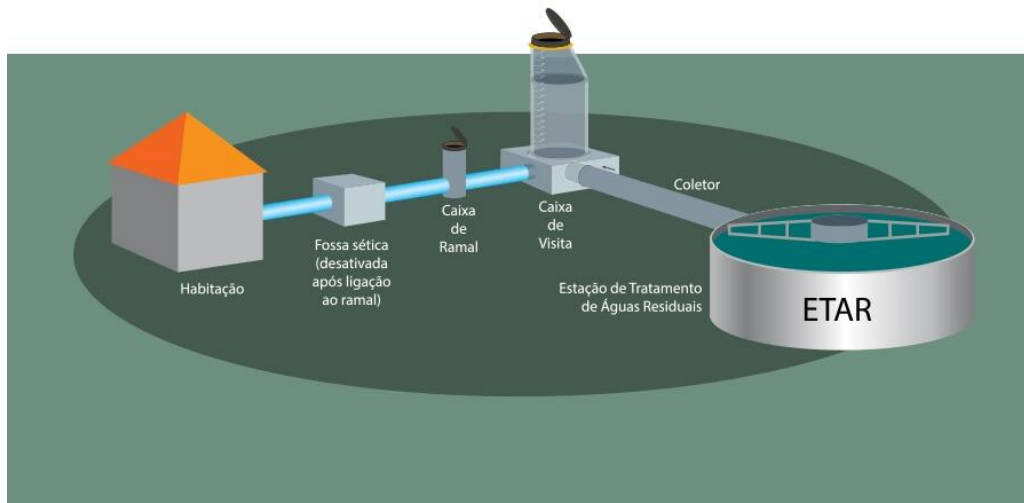


Figura 3.3 – Sistema de drenagem de águas residuais domésticas (C.M. Sesimbra, 2022).

3.2.3 Tipos de obra e processos construtivos

A construção de sistemas de drenagem pode envolver diversos tipos de processos construtivos que dependem obviamente de diversos fatores. Os mais comuns e associados à generalidade dos sistemas envolvem a abertura de valas para colocação dos coletores, caixas de visita, etc., tal como se mostra na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Aberturas de valas para colocação de rede de drenagem.

Usualmente este tipo de obras obriga à obstrução de circulação nas vias ou ao condicionamento da circulação. Por outro lado, neste tipo de trabalhos, convém ter especial atenção à existência de outros tipos de infraestruturas que tipicamente já podem se encontrar instaladas no subsolo, tais como as redes de adução de água, as redes de fornecimento de energia elétrica e as redes de telecomunicações, tal como se mostra na Figura 3.5.

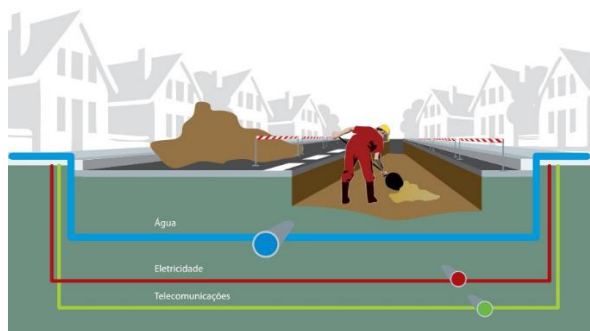


Figura 3.5 – Abertura de valas e infraestruturas no subsolo (C.M. Sesimbra, 2022).

Por vezes, dependendo da tipologia do terreno e das inclinações mínimas para assegurar as velocidades de escoamento recomendadas, pode ser necessário proceder a abertura de valas de maiores profundidades, envolvendo processos construtivos adequados, tais como a entivação dos terrenos, como se mostra na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Abertura de vala com entivação do terreno (C.M. Sesimbra, 2022).

A construção deste tipo de sistemas, face à necessidade de fazer escoar grandes caudais em zonas de grande densidade urbana e a grande profundidade, pode implicar o recurso a métodos de construção mais arrojados, tais como o recurso à construção de túneis utilizando microtuneladoras, como se mostra na Figura 3.7.

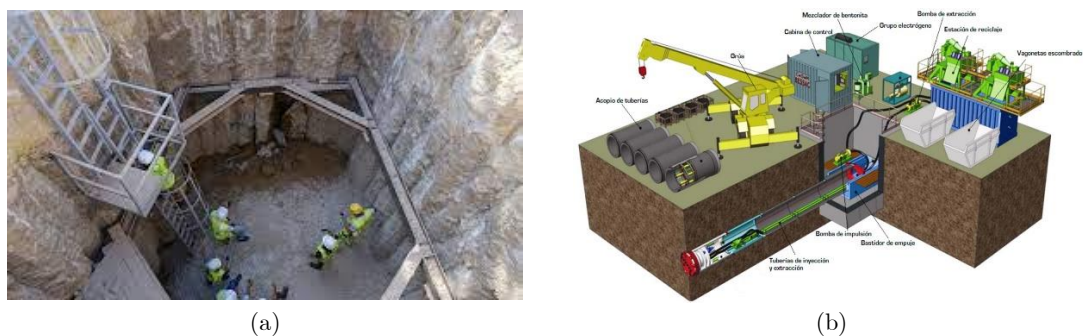


Figura 3.7 – a) Poço de chegada para a microtuneladora; b) Aplicação dos tubos (Maldonado, 2010).

Como facilmente se constata a implantação dos sistemas de drenagem podem envolver vários tipos de construção e processos construtivos, no entanto neste ponto, procurou-se fazer apenas uma breve referência aos mais relevantes para este trabalho, terminando

com uma breve referência a componentes que permitem assegurar o controlo de escoamento em zonas de taludes muito inclinados, tal como se mostra na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Controlo da velocidade de escoamento, (TPF, 2019).

3.3 Requisitos de desempenho (operação e manutenção)

A operação e manutenção de sistemas de drenagem de água devem ser conservados de forma equilibrada, com base nos planos de operação e manutenção previamente estabelecidos, e não menos importante adaptados consoante a informação disponibilizada após essas operações e assim podemos melhorar o sistema, como reduzir os custos dessas operações.

A norma europeia EN 752-5 define os seguintes requisitos de desempenho relativos aos sistemas de drenagem (R. S. Matos & Rodrigues, 2014):

- As infraestruturas devem operar sem entupimentos; a frequência de entrada em carga dos coletores e de inundações deve ser limitada, de acordo com os critérios de projeto;
- Não deve haver perigo ou riscos para a saúde pública;
- Não deve haver risco para a saúde e para a segurança dos operadores;
- Os meios recetores devem ser protegidos de descargas poluentes conforme a legislação aplicável;
- Os ramais e os coletores não devem pôr em perigo as estruturas e os serviços na respetiva envolvente;
- As infraestruturas devem atingir o horizonte de projeto, em condições de integridade estrutural;
- Os ramais e os coletores devem manter-se estanques, quando submetidos aos ensaios regulamentares;
- Devem ser previstos acessos para operação e manutenção do sistema.

A construção da infraestrutura deve cumprir as premissas do projeto para que o desempenho do sistema de drenagem funcione na sua plenitude.

A maioria dos sistemas de drenagem são complexos porque pode existir um sistema em “alta” e um sistema em “baixa” com técnicas de operação e manutenção distintas. Numa cidade como a de Lisboa onde os sistemas são na sua maioria unitários com diferentes tipo de materiais e idades onde as seções também elas diferentes pode tornar um sistema com algumas obstruções nalgumas seções, diferentes quanto ao tipo problemas ou risco, tais como:

- Assoreamento, com eventual entupimento e obstrução das secções;
- Acumulação de gordura e filme biológico nas paredes do sistema;
- Ocorrências de condições de septicidade inadequada;
- Colapso total ou parcial;
- Intrusão de raízes;
- Infiltrações;
- Entrada de água do meio recetor.

As patologias enunciadas podem ser observadas na Figura 3.9.

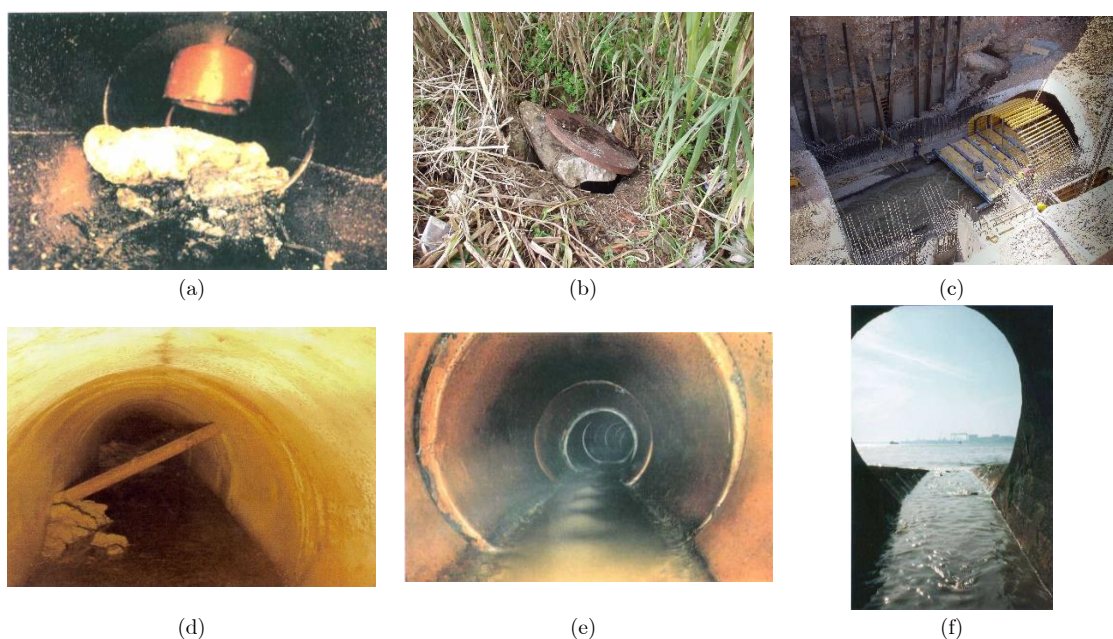


Figura 3.9 – Patologias: a) Obstrução do Coletor; b) Tampa de acesso danificada; c) Reconstrução Caneiro de Alcântara; d) Atravessamento de pregagem no coletor; e) Colapso do coletor; f) Saída do coletor para meio recetor; (Arquivo CML).

Os riscos anteriores podem ter os seguintes impactos:

- Perdas de águas do sistema e infiltração em caves e o resultado é perigo para a saúde pública;
- Libertação de odores
- Existência de atmosferas tóxicas ou explosivas e colocar em risco o pessoal de operação;
- Ocorrência de corrosão;

- Ocorrência de erosão e/ou deterioração.

A ocorrência dos riscos acima descritos podem ser observados nas patologias apresentadas na Figura 3.10.

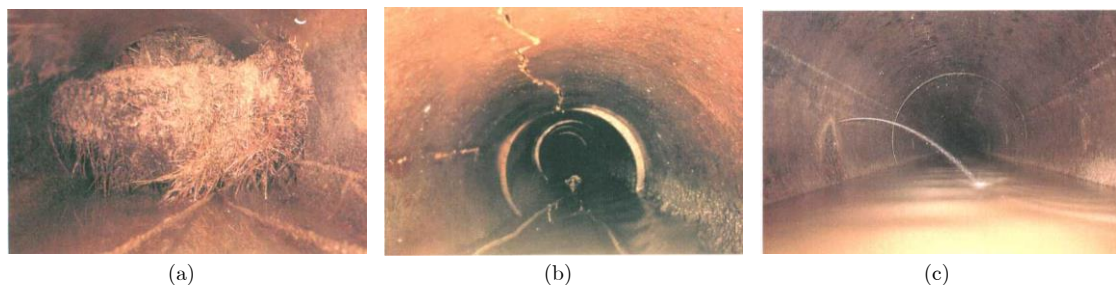


Figura 3.10 – Patologias: a) Raízes dentro coletor; b) Fratura longitudinal; c) Infiltração no coletor; (Arquivo CML).

A operação e manutenção deve ser planeada segundo procedimentos e práticas que melhorem comportamento de todo o sistema e melhorar o desempenho com custos reduzidos. Com uma manutenção preventiva pode-se evitar acidentes tais como:

- Substituição e recolocação de aros e tampas de câmaras de visita;
- Reparação ou reconstrução de elementos estruturais das câmaras de visita;
- Reconstrução de acessos, incluindo preparação de superfícies e pintura de degraus;
- Reparação e regularização de soleiras de câmaras de visita;
- Reparação e renovação de coletores.

Na Figura 3.11 mostra-se um exemplo associado à reparação e renovação de coletores, as patologias que o coletor apresentava não passíveis de reparação, assim procedeu-se à substituição como se pode observar.

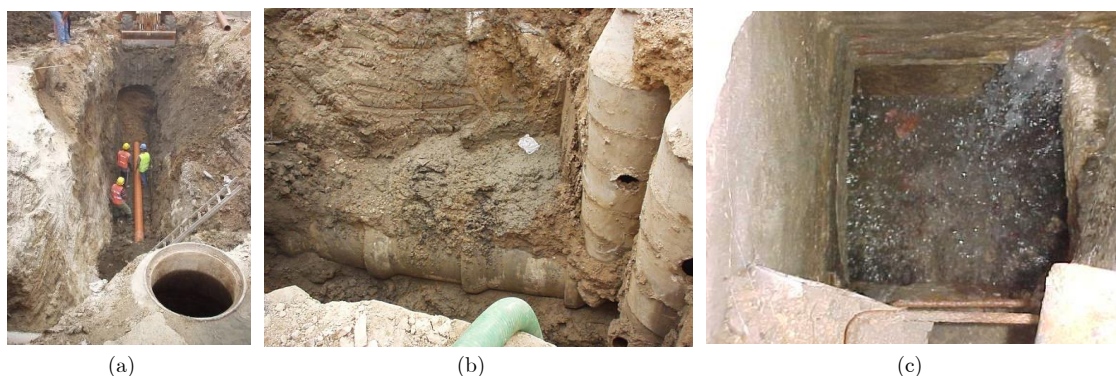


Figura 3.11 – Patologias a) e b) Substituição coletor; c) Soleira para reparação (Arquivo CML).

3.4 Causas de degradação do desempenho

Os fatores da causa de degradação do desempenho podem ser de natureza física e funcional, segundo(Baptista & Alegre, 2000) os fatores agressivos podem ser:

- condições hidráulicas do escoamento;

- características químicas da água transportada no sistema;
- características químicas e físicas dos solos e das suas águas intersticiais;
- condições geotécnicas, sísmicas e mecânicas.

As consequências das causas enunciadas dependem do tempo de ação que por sua vez levam ao envelhecimento natural dos elementos devido às solicitações de serviço e das características do sistema. Os principais motivos da necessidade de reabilitação são:

- Os componentes têm um envelhecimento natural e conseqüentemente o seu desempenho vai-se deteriorar com o tempo;
- O tipo de material influencia a degradação, no caso de materiais metálicos (ferro fundido, galvanizado), a degradação por corrosão que pode ser por diminuição da espessura e conseqüentemente perda de resistência mecânica, ainda podemos ter ligações entre diferentes metais e solos mais corrosivos que se denomina como corrosão galvânica.
- Este tipo de corrosão pode ser diminuído se as tubagens forem revestidas com materiais plásticos tais como resinas, epóxi.
- O material mais usado nas redes de drenagem era o fibrocimento, mas começou a ser menos aplicado a partir de 1990 devido a doenças profissionais relacionadas com o amianto. O problema ao uso do fibrocimento ao longo do tempo é a fissuração possivelmente provocada pela retração e assentamentos diferenciais, mas a gravidade da situação é a perda de estanquicidade e conseqüentemente o seu fraco desempenho.

3.5 Técnicas de inspeção

As inspeções podem ser internas e externas, sendo que as externas são raras devido ao fato de ser necessário executar escavação para fazer a inspeção e são raros os coletores a céu aberto, pelo menos nas grandes cidades.

A escolha do tipo de inspeção a ser executada está dependente do conhecimento do cadastro e das verbas disponíveis. Na maioria dos casos as concessionárias de uma forma geral têm o cadastro desatualizado e fazer uma boa gestão da rede torna-se difícil e com custos elevados.

A ETAR recetora como faz um controle de caudal também nota essas perdas, isto porque tem caudalímetros na entrada, porque quando os caudais são muito elevados e sem capacidade de tratamento são encaminhados para o meio recetor, nesta situação a contaminação já muito diluída.

3.5.1 Inspeção externa

Este tipo de inspeção como foi referido não é muito utilizado porque raramente existe coletores externos, mas havendo a sua principal patologia é a corrosão, pois normalmente são em ferro fundido e aço galvanizado. Nas estruturas enterradas quando existe informação de perdas de caudal, quando é possível, executa-se uma escavação para aferir o estado do coletor e verificar fugas.

3.5.2 Inspeção interna

As inspeções internas se for em coletores de grande dimensão com entrada de homem, é feita as verificações por meios humanos, devidamente credenciados e equipados para o efeito, fazem recolha fotográfica e medições das patologias e catalogá-las e quando existe algum tipo de dúvida em relação ao estado de conservação do betão, deve ser executada um carote para proceder a testes em laboratório.

Nos coletores de pequena dimensão usa-se os robôs com câmara de vídeo ver Figura 3.12. Os robôs mais recentes já fazem medições de forma automática a 360°, único senão deste sistema é se existirem quedas elevadas no coletor.



Figura 3.12 – Câmara de CCTV móvel (Koo e Ariaratnam, 2006) Adaptado (Ferreira, 2013).

3.6 Diagnóstico e avaliação do desempenho técnico

O diagnóstico dos sistemas de drenagem urbana tem por base, o bom desempenho dos mesmos, esse diagnóstico quando possível deve ser visual e devem ser monitorizados, também na modelação matemática podemos avaliar o desempenho hidráulico, ambiental e estrutural.

O diagnóstico hidráulico consiste na avaliação do desempenho hidráulico como o nome indica, esse funcionamento vai determinar se existem deficiências. Nos dias de hoje com o desenvolvimento das ferramentas informáticas podemos fazer modelação hidráulica para

diversas quantidades de caudal e períodos de retorno, assim podemos prever eventuais evoluções na perspetiva de solicitações e de operação (Alegre et al., 1992; Matos, 1996). O objetivo da análise tem influência na escolha do modelo a ser utilizado, temos de ter em conta os seguintes aspetos:

- Análise simples que cumpra o objetivo;
- Análise sólida com tipo de características disponíveis;
- Análise pormenorizada com um número maior de dados para descrever o sistema de forma eficiente.

Para um desempenho adequado o modelo deve ser calibrado com os dados recolhidos em virtude de os resultados não serem incongruentes com a realidade.

3.7 Reabilitação de sistemas de drenagem

A reabilitação é regida segundo a norma europeia (R. S. Matos & Rodrigues, 2014) EN 752-5 (1995), o bom desempenho do sistema de drenagem traduz-se numa manutenção dos equipamentos, como coletores, tampas e eventualmente bombas nas estações elevatórias que na sua maioria instaladas nas zonas baixas, junto ao rio. A reabilitação deve ser efetuada quando um sistema ou parte dele não consegue cumprir a função para a qual foi desenvolvida e deixa de ter eficiência e eficácia. Uma boa eficiência, traduz-se na menor quantidade de recursos humanos e financeiros afetos, ao passo que a eficácia é desejável, o cumprimento de níveis de desempenho e qualidade aceitáveis (Campos, 2014). A necessidade de reabilitação prende-se com o estudo e obtenção de informação pelos vários métodos existentes para verificação do estado de conservação. Assim o levantamento cadastral recente do sistema em estudo, recolha de toda informação de outros levantamentos efetuados e fazer novas inspeções visuais se possível com registo fotográfico, senão por meio de robot neste caso será efetuado um vídeo do sistema. Após a recolha de informação a mesma é analisada, se análise remeter para necessidade de reabilitação, vai-se então identificar eventuais soluções alternativas, em que, tem de se ter em atenção não só do ponto de vista económico, financeiro e ambiental e social. Numa cidade como a de Lisboa o social tem um peso elevado, porque o fecho de uma rua vai-se refletir na parte financeira dos comerciantes aí existentes. Mas um processo construtivo eficiente pode resolver alguns desses problemas e cumprindo também orçamentos e prazos.

3.7.1 Etapas da reabilitação

De uma forma geral um processo de reabilitação de um sistema de drenagem tem em consideração uma prossecução estruturada ver Figura 3.13, assim sendo podemos dividir em quatro etapas:

- Etapa 1 - Compilação dos dados obtidos nas inspeções e verificar deficiências;
- Etapa 2 - Validação do desempenho hidráulico e estrutural recorrendo a modelação matemática;
- Etapa 3 - Planear a intervenção e seleccionar a melhor opção para realizar as operações de intervenção.
- Etapa 4 - Realização da intervenção e monitorizá-la para garantir que estratégia de reabilitação usada foi a melhor

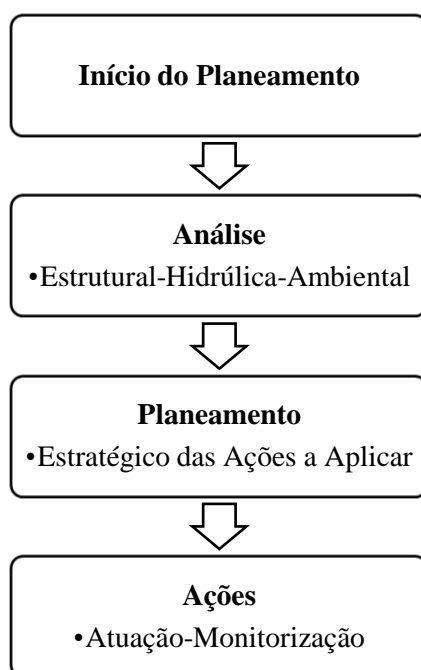


Figura 3.13 – Conjunto de procedimentos da etapa inicial, (adaptado Campos, 2014)

A primeira etapa tem como principal premissa o levantamento rigoroso, tanto quanto possível de todo o cadastro e estado de conservação funcional do sistema de drenagem. Nesta etapa deve ser recolhido os dados sobre as bacias (tipo de bacias; alongada e arredondada), porque tipo de bacia como foi explicado num capítulo anterior, marca a velocidade de escorrência ao ponto de referência. Fazer uma análise dos solos é bastante importante, porque a maior ou menor capacidade de infiltração é muito importante e estar definida as áreas permeáveis e impermeáveis da bacia em questão, tendo em consideração os dados referidos, o conhecimento das infraestruturas é muito importante, tais como a rede de coletores, camaras de visita, descarregadores entre outros. O levantamento visual de ter em consideração todos os assentamentos, fissuras,

assoreamentos, também não menos importante saber o comportamento hidráulico do sistema se tem problemas.

A Figura 3.14 mostra o faseamento dos trabalhos distribuídos pelas várias etapas, indicando de forma resumida os principais aspetos a serem atingidos em cada uma.

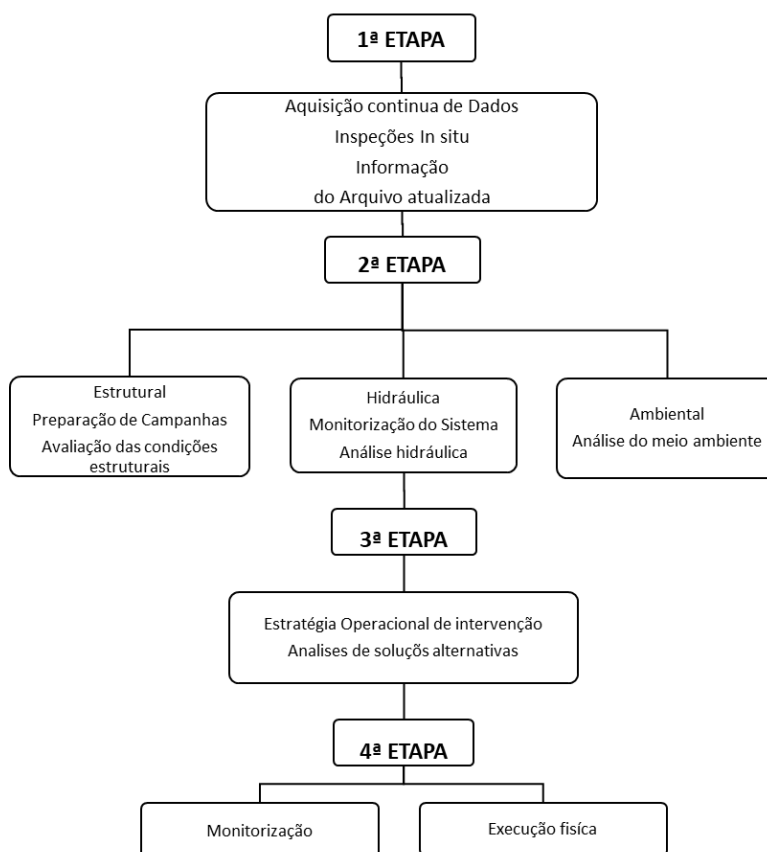


Figura 3.14 – Conjunto de procedimentos e ações das quatro etapas (adaptado de Campos (2014))

3.7.2 Análise Hidráulica

A análise hidráulica tem como objetivo avaliar o correto funcionamento de um determinado sistema de drenagem e verificar a sua falta de capacidade, devido a aumentos de carga causados por aumento da população ou mesmo maior impermeabilização dos terrenos como também picos de pluviosidade extrema.

Os modelos de simulação podem simular tanto períodos de retorno como o aumento per capita da população.

3.7.3 Análise Ambiental

A análise ambiental está mais direcionada para a indústria, isto é, se a empresas produtoras de resíduos, efluentes tóxicos ou perigosos têm a obrigação legal (Lisboa, 1991) de fazer o respetivo tratamento antes de colocar na rede de drenagem, a entidade gestora da rede de drenagem tem também de verificar se a rede está estanque para que não haja contaminação de aquíferos, principalmente em zonas de recarga dos mesmos. Uma indústria bastante poluidora é a suinicultura, situação que não se verifica em Lisboa.

3.7.4 Análise Estrutural

A análise estrutural tem como objetivo verificar as patologias estruturais do ponto de vista físico, esta análise é executada através de campanhas com observação direta ou por meio de circuitos de CCTV com gravação de vídeo. Após verificadas as patologias, estas devem ser numeradas quanto ao tipo de patologia e classificadas. Existem algumas patologias, como acumulação de entulhos e sedimentos, podem provocar fissuras na superfície interior e consequentemente perda de efluente para o meio ambiente.

3.7.5 Análise e intervenção

A verificação do desempenho técnico dos sistemas de drenagem assenta na execução das análises anteriormente referidas. Tendo por base essas análises segue-se uma fase de ponderação, uma vez que é usual existirem várias opções de reabilitação.

A tomada de decisão sobre a opção de reabilitação é de extrema importância, uma vez as entidades gestoras deparam-se com limites orçamentais apertados, assim a matriz de prioridade de intervenção apoia e contribui para um retorno do investimento.

O planeamento das intervenções após a análise dos resultados hidráulicos, ambientais e estruturais podem conduzir a falhas no funcionamento do sistema de drenagem das águas residuais. Com esta análise pode-se sistematizar as patologias e priorizá-las consoante o seu grau de gravidade.

O planeamento das intervenções, deve desenvolver soluções que permitam:

- Executar obras com melhor benefício em menor espaço de tempo;
- Interlocação entre operadoras de infraestruturas para maior beneficiação para a população com menor impacto;
- Reutilização dos resíduos originados em obra;
- Projetar de forma a haver menor custo de operação.

A execução e monitorização das intervenções, é uma etapa de extrema relevância, porque conduz à aplicação das várias tecnologias às soluções hidráulicas, estruturais e ambientais.

A evolução tecnológica tem tido um crescimento exponencial, e a construção não é exceção, principalmente nos produtos de revestimento e isolamento. Neste contexto, as resinas têm um papel importante, devido ao fato de serem simples de aplicar, apresentarem durabilidade elevada e rapidez de secagem.

Deve ser verificado o desempenho hidráulico após a solução de reabilitação e comprovar que a execução foi adequada.

As novas ferramentas de análise de simulação hidráulica, têm um bom desempenho, uma vez que permitem fazer simulações com vários cenários, envolvendo mais ou menos caudal e precipitação, entre outros. Mas para se executar esta análise tem de se ter um sistema de monitorização eficaz e bem definido nas suas localizações, e assim dar resposta eventuais necessidades de melhoria do sistema de drenagem.

3.8 Considerações finais

Neste capítulo procurou-se descrever de uma forma sucinta os sistemas de drenagem de águas pluviais e residuais, descrevendo os seus principais componentes e os processos construtivos mais utilizados na sua implantação.

Descreveram-se os principais requisitos de desempenho que devem ser assegurados na sua operação e manutenção, tendo por base a norma europeia EN 752-5. Indicaram-se algumas das principais causas de degradação de desempenho, destes sistemas, abordando as técnicas de inspeção que podem ser utilizadas para as identificar e que também são úteis para o processo de diagnóstico e avaliação do seu desempenho técnico, relativamente ao qual também se procurou indicar os aspetos mais relevantes.

O capítulo termina com uma abordagem envolvendo as diversas etapas associadas a eventuais processos de reabilitação, aplicados a sistemas de drenagem tendo por referência o disposto na norma europeia EN 752-5.

4 PLANO GERAL DE DRENAGEM DE LISBOA

4.1 Considerações iniciais

Em finais de 2014, a Câmara Municipal de Lisboa decidiu proceder à revisão e atualização do anterior Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL), aprovado em 2008, com o intuito de atualizar a informação disponível sobre a rede de drenagem, verificar o interesse e prioridade das intervenções anteriormente previstas e aprofundar as soluções para responder aos principais problemas de drenagem da cidade de Lisboa (J. S. Matos et al., 2015).

Foram estabelecidos como princípios orientadores do PGDL 2016-2030, a preocupação em desenvolver uma solução integrada de controlo das inundações que afetam Lisboa e dotar a cidade com infraestruturas de drenagem estruturantes que a preparassem para os desafios do século XXII. Uma vez que se tem vindo a constatar que o período entre as ocorrências significativas de precipitação, tem apresentado uma tendência de encurtamento significativo, isto é:

- Entre 1967 e 1983 – 16 anos;
- Entre 1983 e 2008 – 25 anos;
- Entre 2008 e 2014 – 6 anos;
- Entre 2014 e 2018 – 4 anos;

Este aumento da frequência pode ser explicado pelo efeito das alterações climáticas, o que se justifica em face da imprevisibilidade destes eventos (Gomes et al., 2021).

Assim, neste capítulo abordam-se, numa primeira fase, as principais causas que conduziram à revisão e atualização do PGDL 2008 e referem-se os aspetos gerais associados à solução do PGDL 2016-2030, tendo em vista a proteção da cidade relativamente a potenciais cenários de inundação. Numa segunda fase é apresentada uma síntese sobre os principais estudos e projetos, desenvolvidos ao longo dos tempos (desde o século XV até à atualidade), sendo também apresentada uma visão geral do sistema de drenagem, evidenciando-se as principais intervenções propostas e os aspetos mais relevantes associados à sua monitorização, controlo em tempo real e aviso. O capítulo termina com uma descrição geral do sistema de drenagem, identificando-se as grandes bacias, em que este se subdivide, bem como as bacias menores associadas.

4.2 Principais causas para revisão e atualização

Nesta seção apresentam-se as principais causas que motivaram a revisão e atualização do PGDL 2016-2030, tendo por base a ocorrência, cada vez mais frequente, de eventos

pluviométricos intensos na cidade de Lisboa. Uma prende-se com a impermeabilização dos solos, que leva, à diminuição da infiltração, sendo que a precipitação que anteriormente se infiltrava, transforma-se em escoamento superficial direto. Para além do aumento do volume, também a velocidade do escoamento superficial aumenta devido à menor rugosidade dos materiais utilizados em espaços construídos, o que, por sua vez, provoca reduções nos tempos de concentração e de resposta das bacias hidrográficas. A canalização maciça das linhas de água e a canalização subterrânea de cursos de água, que atravessam as cidades, contribuem para esta impermeabilização das superfícies e agravam o problema.

Também o elevado crescimento da população e o sub-dimensionamento das redes de drenagem das águas pluviais, são fatores de grande relevância no aumento das inundações urbanas, que são cada vez mais frequentes e com uma magnitude cada mais elevada.

Há ainda que considerar os efeitos das alterações climáticas nesta equação. Estes têm demonstrado um aumento da frequência dos eventos pluviométricos extremos, bem como estão a provocar a subida do nível medio das águas do mar, fatores que vêm agravar o cenário negativo em cima exposto (Gomes et al., 2021).

Neste contexto, foi elaborado um estudo de previsão envolvendo uma carta de risco de inundações em 2019, teve como objetivo verificar as zonas de maior risco da cidade, como se pode observar na Figura 4.1 (a) as zonas de risco mais elevado encontram-se assinaladas a vermelho.



Figura 4.1 – Carta de riscos de Lisboa 2019: a) antes do plano; b) depois do plano (Hidra et al., 2018).

Como se pode verificar através da análise da figura anterior prevê-se que, após a execução dos túneis no âmbito do plano de drenagem, se registre uma redução de 70 a 80% de inundações que se identificam através da mudança da cor vermelha para laranja e amarelo. Assim pode-se concluir que a execução do plano tem o efeito pretendido, que é a redução das zonas de risco elevado de inundações.

4.3 Aspectos gerais da solução

Conhecido tanto o problema, como as suas causas, tornou-se imperativo encontrar uma solução. Esta nasce com a criação e desenvolvimento do Plano Geral de Drenagem de Lisboa.

Na sequência dos eventos pluviométricos devastadores, decorridos em 2008, desenvolveu-se o primeiro documento do Plano Geral de Drenagem. Este assentava numa solução que recorria a grandes reservatórios, bacias de armazenamento, para regularização de caudais, representadas na Figura 4.2. Ao reter o caudal de ponta, permitiriam amortizar os impactos e garantir uma resposta adequada do sistema. Embora assente nos reservatórios, a solução apresentada era integrada num conjunto de respostas complementares, que funcionariam em conjunto, por forma a proteger a cidade. Estas seguiam essencialmente os seguintes vetores diretores (Gomes et al., 2021):

- Controlo na origem: bacias e trincheiras de infiltração;
- Construção de reservatórios de armazenamento para amortecimento caudais de pico: 5 reservatórios;
- Reforço da capacidade de transporte e melhoria da rede de drenagem existente;
- Transferência de caudais entre bacias (transvase) e túnel entre Martim Moniz e Sta. Apolónia (saída para o rio);
- Levantamento cadastral da rede de saneamento da cidade de Lisboa e da sua capacidade funcionamento.

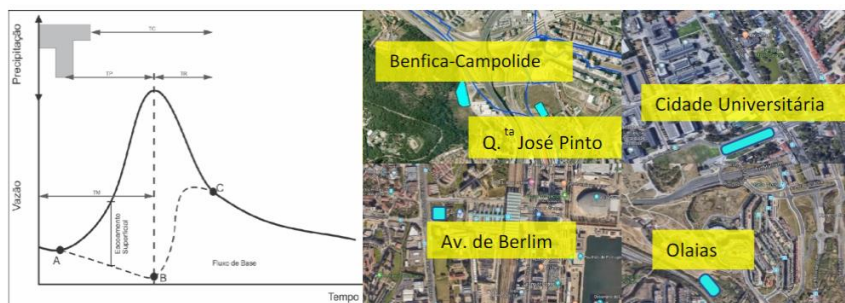


Figura 4.2 – Localização geográfica dos reservatórios (Gomes et al., 2021).

O plano elaborado após os eventos de 2008, estava dimensionado para um período de retorno de 10 anos, ou seja, estava preparado para o evento pluviométrico da década, o investimento seria cerca de 132 milhões de euros, a que se teria de acrescentar alguns custos de conservação, manutenção e operação relevantes.

Após as cheias de 2014 verificou-se que o plano tinha de ser revisto, por possível falta de capacidade da solução estudada devido à redução dos intervalos de precipitação extrema cada vez menos intervalados e à data o plano tinha sete anos. Assim este foi revisto contendo, algumas premissas que foram consideradas essenciais para o seu desenvolvimento e para uma maior proteção da cidade. A primeira premissa continha

uma preocupação com o tempo de retorno do projeto, este era claramente insuficiente e não assegurava um escoamento necessário, agravado pelas alterações climáticas. A segunda consistia em reduzir as intervenções à superfície, reduzindo ao máximo o possível transtorno causado à população. E isto com a manutenção da ordem de grandeza do investimento estimado (Gomes et al., 2021).

Atendendo à preocupação com as premissas referidas, foi então elaborado o Plano Geral de Drenagem 2016-2030. O estudo efetuado permitiu aumentar o período de retorno, o qual passou de 10 anos para 100 anos para as obras de transvase de bacias. Esta relevante melhoria permitirá que o sistema consiga dar resposta ao evento pluviométrico do século, aumentando assim a confiança e a proteção da cidade de Lisboa e dos seus cidadãos e com menos impacto à superfície.

O Plano Geral de Drenagem 2016-2030 prevê um investimento de cerca 140 milhões de euros na sua componente principal, a construção de dois “super” coletores (túneis) de drenagem, para o transvase de bacias, que se prevê que venham a solucionar cerca de 70% a 80% dos problemas provocados pelas inundações na cidade de Lisboa. No entanto, e à semelhança do plano de 2008, o Plano Geral de Drenagem 2016-2030 não fica pelo foco principal. Este prevê ainda, e complementarmente, intervenções de controlo na origem, como bacias (Figura 4.3) e trincheiras de infiltração, aumento da capacidade de armazenamento, com a construção de uma bacia antipoluição, a melhoria da rede de drenagem existente e monitorização do seu funcionamento.

Com um custo global previsto de cerca de 250 milhões de euros, este plano permitirá escudar a cidade de Lisboa contra os eventos pluviométricos intensos, através de soluções com um custo de manutenção e operação reduzidos (Gomes et al., 2021).

4.3.1 Obras já realizadas

Algumas destas soluções complementares encontram-se já finalizadas e em funcionamento (Gomes et al., 2019), nomeadamente:

- A bacia de retenção da Ameixoeira – Bacia S;
- A bacia de retenção do Alto da Ajuda, - Bacia D;
- Projeto de substituição / reabilitação / reforço / construção de diversos elementos da rede de saneamento - Bacia Q

Sendo este último objeto de desenvolvimento no capítulo 6 do presente trabalho.

Na Figura 4.3 apresenta-se uma infraestrutura de retenção de águas pluviais contruída no Parque Urbano da Ameixoeira (freguesia de Santa Clara), com um investimento de 304 mil euros e um prazo de 120 dias. A sua estrutura inclui órgãos de descarga, estrutura para a dissipação de energia, acessos para a limpeza e manutenção, proteção de taludes e enquadramento paisagístico. A infraestrutura em questão é uma pequena barragem com

5,30 m de altura, com capacidade para reter cerca 2200 m³. Tem um núcleo em betão e, o paramento de montante foi revestido com aterro e o paramento a jusante com gabiões e enrocamento (Ambitec, 2016).



Figura 4.3 – Pequena barragem de retenção e recarga.

Localizada próximo do Pólo da Ajuda da Universidade de Lisboa, a ocidente da Faculdade de Medicina Veterinária, nos limites do perímetro do parque florestal de Monsanto (Figura 4.4), esta empreitada representou um investimento inicial de 869 mil euros e teve um prazo de obra de 180 dias. Esta bacia de retenção recebe as escorrências pluviais de uma parte da bacia hidrográfica D12, numa zona com reduzida ocupação urbana, possui uma área total de cerca de 211 ha.



Figura 4.4 – Bacia de retenção do Alto da Ajuda.

4.4 Síntese dos principais estudos e projetos

A história do desenvolvimento da rede de drenagem em Lisboa teve início pelo menos que há conhecimento por volta do século XV, deu-se no reinado de D. João II. Os “canos” que transportavam a água da chuva, que também transportavam os dejetos, foi mandado limpar porque já nesta data, havia uma aglomeração da população que despejava nos canos (ver Figura 4.5), estes implantados no meio da rua, todo o tipo de esterco que entupia o sistema e tornava a cidade mais insalubre (J. S. Matos, 2002).



Figura 4.5 –Imagem da capa do livro "Água vai" Coleção do Museu de Lisboa C.M. de Lisboa.

Nos séculos seguintes, até ao terramoto de 1755, a cidade continuou em constante crescimento populacional, verificando-se novos problemas associados à ocorrência de inundações. Após o terramoto e a reedificação da cidade, principalmente na zona baixa (Praça da Figueira e Rossio), foi estabelecido um princípio da “canalização metódica” que perdura até hoje, exemplo disso é os coletores unitários ovais em saimés da baixa, ver Figura 4.6 (Melo, 2011).



Figura 4.6 – Coletor oval em saimés - Rua das Portas de Santo Antão - Fotografia Nuno Alexandre; Arquivo Departamento de Saneamento; Câmara Municipal de Lisboa

Após a construção deste grande coletor, que perdura até aos dias de hoje, iniciou-se as ligações dos edifícios a este coletor tal como as conhecemos, nos dias de hoje.

O primeiro projeto integrado de drenagem, tratamento (pré-tratamento) e lançamento em meio recetor de águas residuais data de 1877, tendo sido desenvolvido por Gotto & Beesley, de Londres. Desde então até ao presente foram desenvolvidos um conjunto vasto de projetos e estudos, os quais se indicam a seguir:

- O projeto de Gotto & Beesley, 1877
- O projeto de Ressano Garcia, 1884
- Os estudos de Arantes e Oliveira, 1941
- O projeto de Celestino da Costa, 1955
- Revisão do Plano Geral de Esgotos da Cidade de Lisboa (DRENA, 1999)

- Plano Geral de Drenagem de Lisboa de 2008
- Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030

A descrição de cada um destes projetos e estudos, pode ser encontrada em (J. S. Matos et al., 2015). Neste contexto, convém apenas sublinhar que só a elaboração do atual plano de drenagem, já envolveu a execução de dezenas de projetos e estudos que englobam diversas componentes, que contribuíram para a caracterização do sistema existente e para a identificação das principais deficiências de funcionamento, as quais se pretendem corrigir ou mitigar, após a sua execução.

4.5 Visão geral do sistema de drenagem

Atualmente verifica-se uma tendência para o desenvolvimento de sistemas de drenagem, baseados em princípios que potenciam a sua gestão avançada, associando soluções estruturais (como o reforço e reabilitação focada de coletores e de estruturas de armazenamento) as soluções descentralizadas de controlo na origem, que procuram promover a retenção e infiltração a montante da rede física de coletores.

A gestão avançada preconiza a instalação de equipamentos para monitorização e controlo do escoamento e a modelação e gestão em tempo real, para aproveitar as potencialidades dos sistemas e maximizar a afluência de caudais às ETAR, reduzindo em consequência os riscos de inundação e de contaminação dos meios recetores. Para assegurar uma gestão eficiente dos sistemas de drenagem urbanos, é necessário conhecer detalhadamente as suas características físicas e dispor de uma planificação adequada que integre o planeamento das intervenções de projeto, de construção e de manutenção dos sistemas de drenagem. Estes elementos permitem uma exploração ativa do sistema de drenagem que tem em conta a interação entre a rede de drenagem, as estações de tratamento e os meios recetores citado (Sebastião et al., 2006).

Foi neste enquadramento que foi concebido o PGDL apresentando-se de seguida uma sùmula das intervenções propostas e dos sistemas de controlo em tempo real.

4.5.1 *Intervenções propostas*

Os princípios e estratégias de intervenção neste estudo, assentaram numa ampla análise das soluções alternativas para o reforço da capacidade de transporte da rede de drenagem, nesta situação muito direcionada para a reserva das águas da chuva nas bacias construídas. Houve também outro tipo de intervenções, como por exemplo desvio de caudal entre bacias, o controlo na origem foi uma das soluções preconizadas, como também a construção e reabilitação na fronteira entre o sistema em alta e o sistema em baixa, nas zonas mais baixas da cidade procedeu-se à construção de uma rede separativa.

Os princípios básicos orientadores do plano foram os seguintes:

- Destaque no controlo de riscos de inundação e controlo da poluição em tempo seco;
- Desenvolver soluções onde o impacto, para quem vive e passa na cidade, seja o menor possível;
- Desenvolver soluções estruturantes para minimizar as cheias nas zonas baixas da cidade.

O planeamento urbanístico das cidades deve ter em conta a separação tendencial de águas residuais domésticas e pluviais, no que diz respeito às águas pluviais devem, quando possível, assegurar o controlo na origem, de modo a garantir uma maior recarga no solo por intermédio de pavimentos porosos e diminuir as infraestruturas de transporte e reduzir os custos de tratamento com águas limpas.

Nos dias de hoje tem-se menos descargas indevidas e aflúncias não controladas, mas o seu controlo deve consistir na reabilitação hidráulica dos sistemas de drenagem.

A reabilitação estrutural de coletores de acordo com a norma EN 752-5 (1997) pode ser executada sem recorrer a abertura de valas e podem ser agrupadas consoante o objetivo a que se destinam:

- Reparação – consiste na reparação de falhas pontuais e renovação ou reconstrução de pequenos trechos do coletor.
- Renovação – compreende a incorporação de tubagem para melhoramento do coletor existente.
- Substituição – o coletor será substituído no mesmo local por um novo.

As descargas junto ao rio podem ser negativas, já que as velocidades de escoamento, em preia-mar, podem anular as descargas devido ao escoamento gravítico e podem provocar cheias a montante, assim as saídas de descargas devem ser grandes. Deste modo é importante para menores perdas de carga, na concessão hidráulica, evitar troços com curvaturas perto das saídas.

Bacias anti inundação e bacias antipoluição

A construção de bacias anti inundação (ver Figura 4.7) e bacias antipoluição, são normalmente projetados para receber caudais para um período de retorno de 10 anos e assim reduzir os caudais de ponta. As bacias antipoluição asseguram, nas primeiras chuvadas, a retenção da poluição deixada pelo rasto dos pneus das viaturas e outros resíduos, pelo que ajudam reduzir a contaminação do meio recetor, no caso de ser direta a descarga.



Figura 4.7 – Reservatório enterrado em Barcelona capacidade (35 000 m³)(J. S. Matos et al., 2015).

Túneis

O recurso a túneis para desvio de caudais tem vindo a crescer e é cada vez mais aceite, uma vez que neste tipo de solução, a disponibilidade de terrenos, em meio urbano, quase não tem significado para o desenvolvimento do projeto. Nas grandes cidades, como Lisboa, o custo por m² é elevado, pelo que se justifica o recurso a soluções que envolvam a construção de túneis em vez de reservatórios, por outro lado também convém referir que o custo de manutenção dos túneis é mais baixo.

A construção de túneis pode ser a céu aberto ou por meio de uma TBM (Tunnel Boring Machine), equivalente a apresentada na Figura 4.8. Neste último tipo de solução, o recobrimento e sustentação do túnel fica logo em funcionamento após a escavação.



Figura 4.8 – TBM.

Para além dos métodos de construção de túneis antes referidos, convém também referir o método tradicional NATM (New Austrian Tunneling Method), que se mostra na Figura 4.9. Este método consiste num tipo de escavação que envolve mais ruído uma vez que recorre à utilização de explosivos.



Figura 4.9 – Método NATM (J. S. Matos et al., 2015).

Nas zonas mais baixas da cidade, como é o caso junto à zona ribeirinha, é necessário construir sistemas elevatórios, uma vez que não há ocorrência por gravidade. São então construídos poços simples, com antecâmara para gradagem e câmara a jusante para o circuito de compressão, onde são instaladas bombas para levar as águas domésticas para tratamento em ETAR.

O sistema de vácuo, em zonas planas e níveis freáticos elevados, é uma opção muito interessante, pois é economicamente mais vantajosa, uma vez que a utilização de água é menor, apesar dos custos de manutenção associados. Na Figura 4.10 apresentam-se esquemas dos dois métodos enunciados.

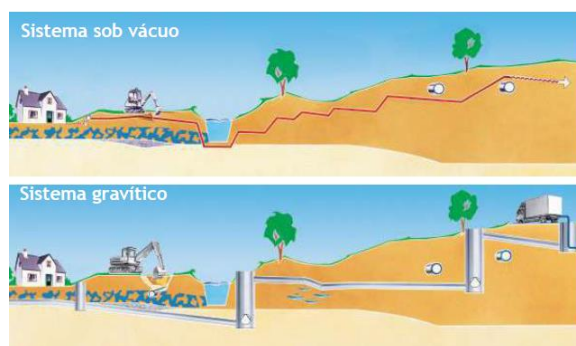


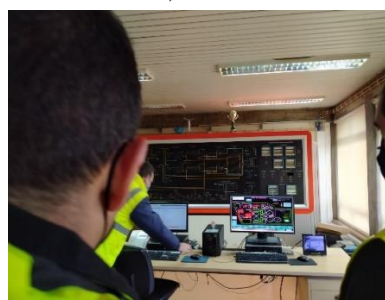
Figura 4.10 – Sistema gravítico e de drenagem sob vácuo (Roediger, 2009)(J. S. Matos et al., 2015).

4.5.2 Monitorização, controlo em tempo real e aviso

A evolução das ferramentas digitais, veio permitir uma melhoria no funcionamento dos sistemas de drenagem. A localização da rede de drenagem cadastrada encontra-se inserida na plataforma dos sistemas de informação geográfica. Os equipamentos, tais como válvulas de controlo de caudal e a operação das mesmas, através telecomandos instalados e ligados a uma sala de controlo (ver Figura 4.11). Toda a informação que descreve o sistema e assinala o seu estado, em conjunto com os dados de previsão meteorológica (em regra obtidos por imagens de radar), pelos modelos matemáticos do sistema para prever os caudais futuros e recomendar ações de operação que são telecomandadas, em tempo real, através de atuadores automáticos (J. S. Matos et al., 2015).



(a)



(b)

Figura 4.11 – a) Sala de controlo de uma cidade europeia (J. S. Matos et al., 2015); b) Sala de controle da ETAR de Beirolas.

Na Figura 4.12 apresenta-se o exemplo de uma imagem do sistema de informação geográfica da cidade de Barcelona, no qual se pode observar a amarelo a rede de drenagem.

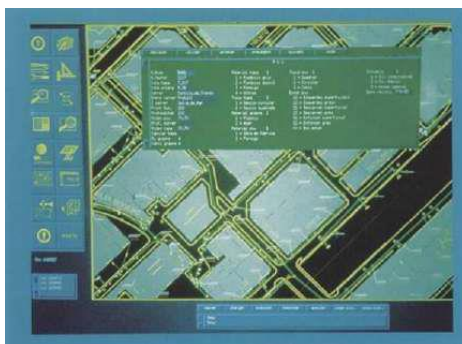


Figura 4.12 – Imagem do sistema de informação geográfica de Barcelona (J. S. Matos et al., 2015).

4.6 Sistema de drenagem e bacias associadas

A cidade de Lisboa é composta por três grandes bacias hidrográficas, que são definidas pela sua orografia: Alcântara, Beirolas e Chelas. A estas três grandes bacias juntam-se as designadas Bacias Adjacentes, que drenam para os concelhos de Odivelas e Loures e a Zona Ribeirinha, junto ao Tejo. No âmbito deste trabalho apenas se aborda o sistema de drenagem referente à bacia Q da designada bacia de Beirolas Figura 4.13.

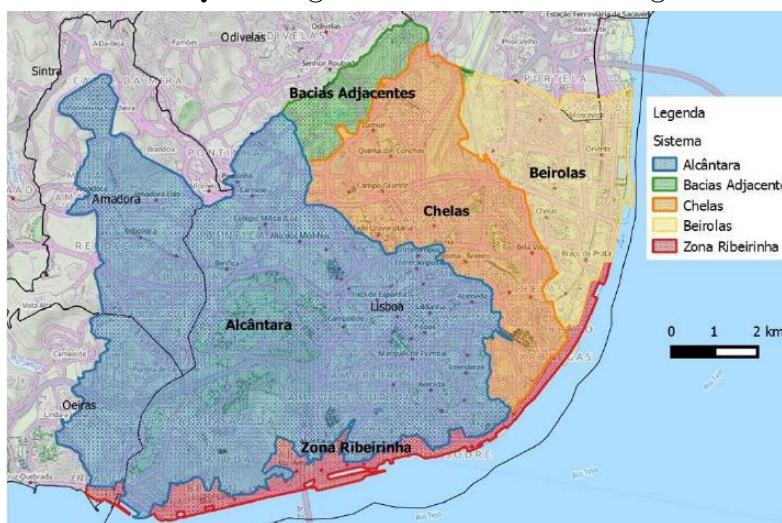


Figura 4.13 – Sistema de drenagem de Lisboa (J. S. Matos et al., 2015).

As grandes bacias acima referidas têm sido divididas no conjunto de bacias de drenagem menores que se apresentam na Figura 4.14. A rede de drenagem de Lisboa integra, assim, vinte e uma bacias hidrográficas principais, codificadas de A a R e quatro bacias adjacentes (de S a V) que drenam para concelhos vizinhos. A zona ribeirinha corresponde à bacia R.

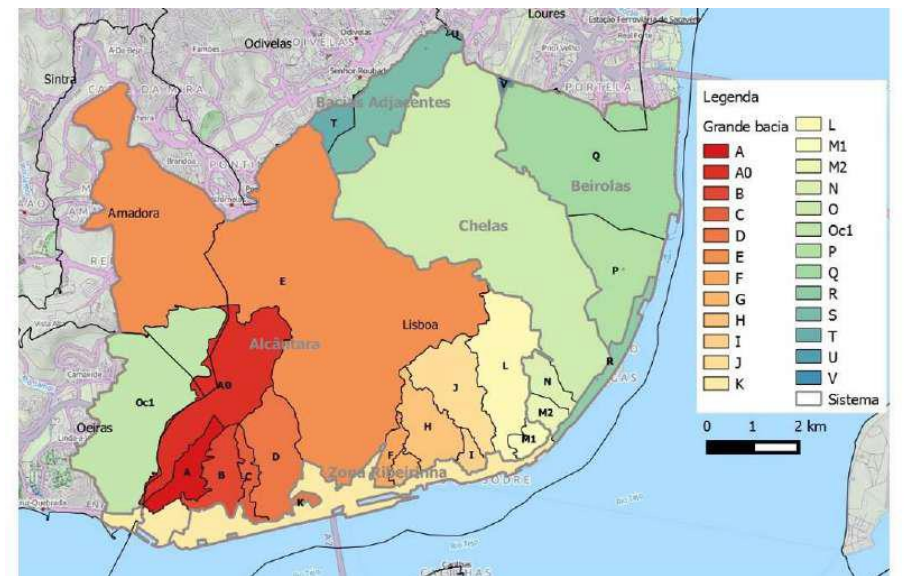


Figura 4.14 – Grande bacias e bacias (J. S. Matos et al., 2015).

Na Tabela 4.1 apresentam-se as áreas de cada uma destas bacias de drenagem. Como podemos observar o sistema Alcântara é o que tem maior área de coleta 6473 ha, Chelas tem cerca de 1979 ha e Beiroloas é a que ocupa menos área, com 1289 ha.

A área abrangida pelo PGDL desenvolve-se num território vasto, cuja altitude varia entre 0 m, na zona ribeirinha, e 250 m, em Monsanto e cabeceiras da bacia de drenagem de Alcântara, no concelho da Amadora, apresentando-se na Figura 4.15 a carta hipsométrica deste território (J. S. Matos et al., 2015).

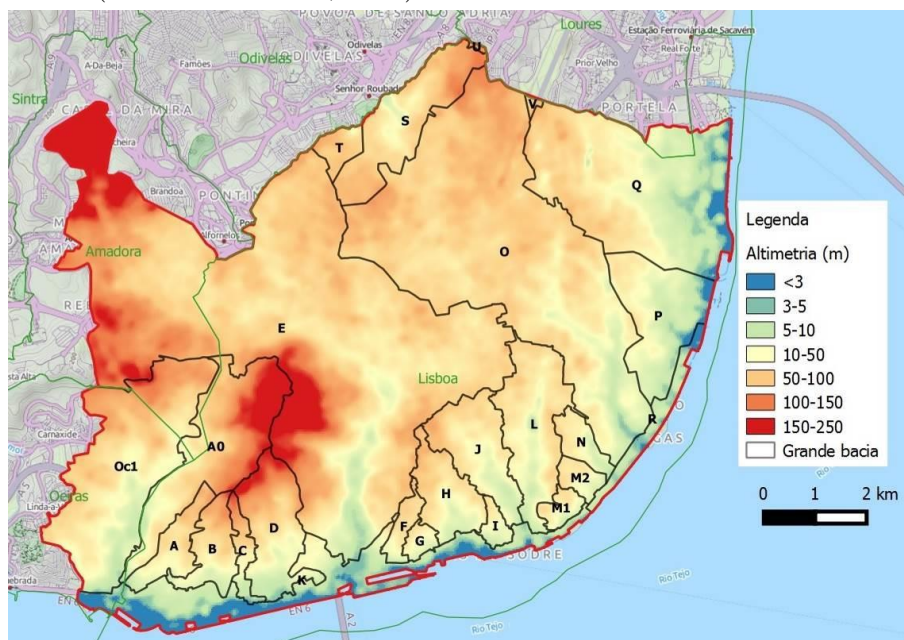


Figura 4.15 – Carta hipsométrica da área abrangida pelo PGDL (J. S. Matos et al., 2015).

Tabela 4.1 – Áreas das bacias de drenagem (J. S. Matos et al., 2015).

Sistema	Bacia de drenagem	Área da bacia (ha)				
		Lisboa	Amadora	Loures	Oeiras	Total
Alcântara	A	119				119
	A0	431	32		17	480
	B	138				138
	C	61				61
	D	273				273
	E	2257	942			3199
	F	55				55
	G	35				35
	H	179				179
	I	37				37
	J	250				250
	K	486			28	515
	L	347				347
	M1	46				46
	Oc1		157		582	739
		Total	4714	1131		627
Chelas	M2	52				52
	N	76				76
	O	1851				1851
	Total	1979				1979
Beirolas	P	338				338
	Q	902		49		951
	Total	1240		49		1289
Beirolas/Chelas (Ribeirinha)	R	94				94
Bacias Adjacentes	S	331				331
	T	59				59
	U	4				4
	V	7		1		8
	Total	401		1		402
PGDL	Total	8428	1131	50	627	10 239

O Tabela 4.2 mostra a distribuição da altitude na área abrangida pelo PGDL e no concelho de Lisboa. A altitude média na área abrangida pelo PGDL é de 80 m, estando cerca 75% da área abaixo de 100 m e 3% abaixo dos 5 m. No concelho de Lisboa, a

altitude média diminui para 76 m, a percentagem da área abaixo dos 100 m mantém-se, mas duplica a percentagem da área do concelho abaixo dos 5 m.

Tabela 4.2 – Áreas das bacias de drenagem (J. S. Matos et al., 2015).

Classe de altitude (m)	Área abrangida pelo PGDL		Lisboa	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<3	159	1,6	25	0,3
3 – 5	116	1,1	494	5,8
5 – 10	357	3,5	201	2,4
10 – 50	1810	17,7	1 362	16,1
50 – 100	5151	50,3	4 300	50,8
100 – 150	1996	19,5	1 735	20,5
150 – 250	650	6,3	341	4,0
Total	10 239	100,0	8 459	100,0

Na Figura 4.16 apresenta-se a rede de drenagem do concelho de Lisboa, que totaliza cerca de 1430 km. Dada a extensão da rede e a existência de lacunas significativas de informação sobre o seu estado de conservação, a análise do desempenho da rede na primeira versão do PGDL (2006-2008) incidiu, em especial, sobre os coletores pluviais e unitários com diâmetro superior a 1000 mm e coletores domésticos com diâmetro superior a 500 mm, totalizando 173 km.

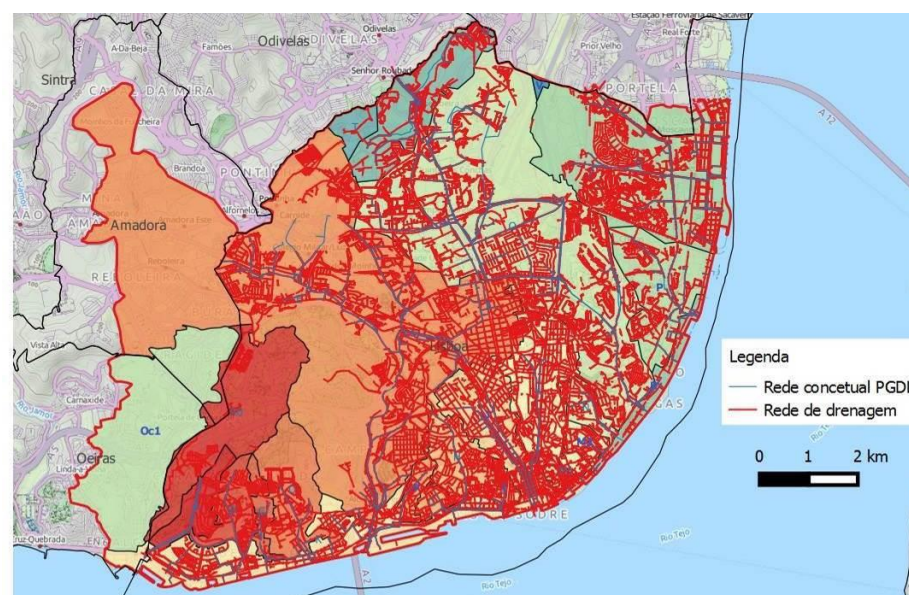


Figura 4.16 – Rede de drenagem do concelho de Lisboa (J. S. Matos et al., 2015).

4.7 Considerações finais

Neste capítulo apresentaram-se os principais aspetos relacionados com Plano Geral de Drenagem 2016-2030, nomeadamente as principais causas que motivaram a sua elaboração, designadamente, a diminuição da capacidade de infiltração, devido à impermeabilização dos solos, e conseqüente aumento da escorrência superficial, o que colocou a cidade em risco de inundação em algumas zonas. Perante esta situação, abordou-se alguns aspetos gerais sobre solução adotada, podendo-se concluir que a sua atualização permite obter muitos benefícios em relação ao PGDL 2008, isto porque veio a reduzir custos de manutenção e otimizou o período de retorno de 10 anos para 100 anos. Também se apresentou uma síntese dos principais estudos e projetos que após o terramoto de 1755, tiveram um grande desenvolvimento e melhoramento, ao nível do sistema geral de drenagem na cidade de Lisboa até ao presente plano de drenagem. Apresentou-se uma visão geral do sistema de drenagem com foco nas principais intervenções propostas no âmbito do PGDL 2016-2030 e num outro aspeto fundamental para o bom funcionamento dos sistemas de drenagem, envolvendo os benefícios da sua monitorização, controlo em tempo real e aviso. O capítulo termina com uma referência ao sistema de drenagem associado à cidade de Lisboa, indicando-se as áreas referentes às grandes bacias de drenagem, bem como o conjunto de bacias de drenagem menores em que estas se subdividem. São também apresentados alguns elementos que mostram a sua distribuição, tendo em conta a orografia da cidade, para compreender um pouco melhor a sua distribuição.

5 SISTEMA DE BEIROLAS

5.1 Considerações iniciais

Como já foi referido anteriormente, a cidade de Lisboa é composta por três grandes bacias hidrográficas, que são definidas pela sua orografia: Alcântara, Chelas e Beirolas, às quais se juntam as designadas Bacias Adjacentes, que drenam para os concelhos de Odivelas e Loures e a Zona Ribeirinha, junto ao Tejo. Neste capítulo apresenta-se uma descrição geral do sistema de Beirolas, que é composto pelas bacias P e Q, no entanto, dá-se maior relevância aos aspetos relacionados com a bacia Q, uma vez que será abordada no capítulo 6 deste trabalho. Neste sentido, para além da caracterização das duas bacias, que compõe o sistema de Beirolas, apresentam-se os principais elementos referentes ao diagnóstico que foi elaborado sobre o desempenho hidráulico da bacia Q – Av. ^a de Berlim e indicam-se os principais elementos referentes às soluções preconizadas para a reabilitação do sistema (no âmbito da elaboração do PGDL 2016-2030), que está associado a esta bacia, bem como, uma descrição geral envolvendo as principais intervenções.

5.2 Caracterização do sistema de Beirolas

O sistema de Beirolas é constituído pelas bacias P e Q, formando a terceira maior bacia da cidade de Lisboa, que se encontra localizada numa zona que foi densamente edificada, durante e após a EXPO98, envolvendo o Parque das Nações e zonas circundantes, o que originou uma forte sobrecarga sobre a ETAR de Beirolas.

A Tabela 5.1 mostra a área da bacia Q que está implantada nos concelhos de Lisboa e Loures. A bacia P drena parte das águas para a ETAR de Chelas, encontrando-se implantada numa zona que vai desde a Rua Conselheiro Emídio Navarro, até à Rua Cintura do Porto de Lisboa, que se situa junto ao rio Tejo. A bacia Q, que é o caso de estudo deste trabalho, tem a sua área de implantação, numa zona que vai desde a Avenida Marechal Gomes da Costa e o início da Av. ^a de Berlim (aeroporto Humberto Delgado), até à Av. ^a Alfredo Bensaúde, no limite do concelho de Lisboa, mas que se prolonga até ao concelho de Loures, como se pode verificar na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Área da bacia de drenagem adaptado (J. S. Matos et al., 2015).

Sistema	Bacia de drenagem	Área da Bacia (ha)		
		Lisboa	Loures	Total
Beirolas	P	338		338
	Q	902	49	951
	Total	1240	49	1289

Como já foi referido anteriormente o sistema de Beirolas subdivide-se em duas bacias, P e Q, desenvolvendo-se entre o aeroporto de Lisboa, a zona do Beato, o concelho de Loures e o Parque das Nações. Drena para a ETAR de Beirolas, toda a freguesia dos Olivais, parte da Freguesia de Marvila e uma parte do concelho de Loures.

O sistema de drenagem da bacia Q, na sua maioria é unitário, embora haja alguns troços pseudo-separativos e separativos, nomeadamente na zona do Parque das Nações e Olivais norte e sul. Na parte associada ao concelho de Loures, nas zonas mais antigas como o Prior Velho, Sacavém e Moscavide, as redes são quase todas unitárias.

A rede de infraestruturas que agrega o sistema de Beirolas, é constituída pelos sistemas elevatórios de rede e descarregadores, que têm como função encaminhar os efluentes domésticos das redes unitárias até aos interceptores, e as infraestruturas que pertencem ao sistema “em alta”, neste caso atribuído à Águas do Tejo Atlântico (AdTA). Efetivamente a AdTA é concessionária do sistema em “alta”, que compreende as infraestruturas de coleta (interceptores), que recebem as contribuições da rede em baixa e entregam nas estações de tratamento de águas residuais, incluindo os sistemas elevatórios necessários, o que torna um sistema de grande complexidade na referida bacia.

A maioria das redes separativas estão ligadas a coletores unitários, a jusante estão os descarregadores que nesta fase voltam a separar caudais, onde o doméstico vai para a ETAR no sistema “em alta” e o pluvial segue diretamente para o rio Tejo. Não foram construídos descarregadores na área do Parque das Nações, a rede doméstica ligada de forma gravítica ou com pequenos sistemas elevatórios, diretamente ao interceptor, que provém da bacia P do concelho de Lisboa.

Como se pode observar na Figura 5.1, está representado as Bacias e sub-bacias de drenagem do sistema de Beirolas.

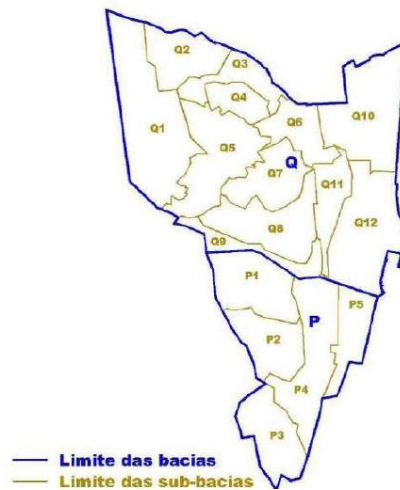


Figura 5.1 – Sistema de Beírolas: principais bacias e sub-bacias de drenagem (J. S. Matos et al., 2015).

A composição do sistema interceptor de Beírolas, explorado pela AdTA (que anteriormente era explorado pela SIMTejo), é definido:

- No concelho de Lisboa:
 - a) Intercetor de diâmetro variável, entre 400 e 1200 mm;
 - b) Seis instalações elevatórias, enterradas, localizadas na Rua do Açúcar, próximo do Centro de Formação Profissional, entre a rua do Mar e a rua da Cintura do Porto de Lisboa, próximo da GNR, entre a rua Três-Matinha e rua da Cintura do Porto de Lisboa, no Passeio dos Argonautas - Parque das Nações - com 4 grupos eletrobomba instalados em poço seco), entre a Al. dos Oceanos e a Via de Moscavide - Parque das Nações - com 4 grupos eletrobomba instalados em poço seco) e no Passeio dos Heróis do Mar - Parque das Nações;
 - c) Dezasseis descarregadores de desvio do caudal doméstico das redes unitárias para o sistema interceptor;
 - d) Um descarregador de desvio do caudal doméstico do interceptor para o coletor pluvial (este descarregador não tem válvula de seccionamento, pelo que entra facilmente em funcionamento);
 - e) Um sifão no cruzamento da Alameda dos Oceanos com a Av. ^a de Ulisses;
- No concelho de Loures:
 - a) Intercetor de diâmetro variável, entre 400 e 1200 mm;
 - b) Duas instalações elevatórias, enterradas, localizadas no Caminho das Cegonhas, junto à ETAR, com 2 grupos eletrobomba submersíveis), e na Praça Gago Coutinho, próximo do rio Trancão;
 - c) Dois descarregadores de desvio do caudal doméstico das redes unitárias para o sistema interceptor (J. S. Matos et al., 2015).

A ETAR de Beírolas está projetada para servir 250 000 habitantes na sua totalidade, com um caudal máximo na ordem de 1 m³/s. O sistema de drenagem principal modelado

tem cerca de 26 Km de extensão, e apurou-se que 50% dos troços são separativos (49%pluviais) e outros 50% são unitários.

Esta ETAR recebe caudais dos concelhos de Lisboa e Loures, por se encontrar na fronteira geográfica.

As bacias P e Q são totalmente distintas, na questão de drenagem pluvial, já que cada uma delas tem descarga própria para o rio ou para a bacia de drenagem a jusante, a bacia R (J. S. Matos et al., 2015).

5.2.1 *Bacia Q (Av. ^a de Berlim – Parque das Nações)*

A área de ocupação da bacia Q, vai desde o aeroporto de Lisboa até ao Parque das Nações (zona ribeirinha). A Este da bacia Q está a Av. ^a Marechal Gomes da Costa que abrange as bacias O e P, e a Oeste a Av. ^a Dr. Alfredo Bensaúde e o limite do concelho de Lisboa para além disso é o concelho de Loures ver Figura 5.2.

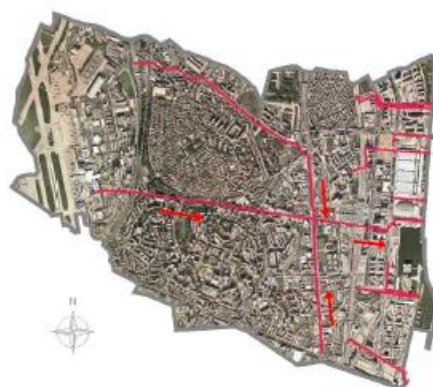


Figura 5.2 – Fotografia aérea da Bacia Q com traçado simplificado da rede principal (J. S. Matos et al., 2015).

5.3 Diagnóstico de desempenho hidráulico da bacia Q – Av. ^a de Berlim

No que respeita ao desempenho hidráulico, os resultados do modelo de simulação dinâmica identificaram alguns troços com problemas de falta de capacidade, nomeadamente na Av. ^a de Berlim, Av. ^a Infante Dom Henrique e Av. ^a Doutor Alfredo Bensaúde, tal como se evidencia na Figura 5.3, através das marcas assinaladas a vermelho(J. S. Matos et al., 2015).



Figura 5.3 – Resultados da simulação da Bacia Q (J. S. Matos et al., 2015).

Porém, na Av. ^a de Berlin, os técnicos da CML não identificaram estes locais como críticos em termos de inundações, requerendo confirmação das falhas de informação de cadastro (relativas à dimensão e/ou à profundidade e inclinação dos coletores), através de trabalhos de levantamento cadastral mais detalhados, que incluam levantamento topográfico e inspeção interior dos coletores.

De qualquer forma, a CML identificou outros tipos de problemas, de âmbito estrutural e ambiental, nomeadamente o mau estado em que se encontram as redes de drenagem domésticas da zona dos Olivais, que têm vindo a ser danificadas pelas raízes das árvores, e cuja solução tem sido desviar o caudal doméstico para coletores pluviais. Outro dos problemas identificados foi a deficiente drenagem superficial de alguns arruamentos, como sejam os desnivelamentos da Av. ^a Infante D. Henrique (Morgado et al., 2017).

Resumidamente as patologias verificadas na bacia Q foram as seguintes:

- Ocorrência de inundações;
- Falta de capacidade hidráulica dos troços, detetados no modelo desenvolvido;
- Coletores em mau estado de conservação devido à falta de manutenção;
- Na drenagem superficial verificou-se uma deficiência em alguns arruamentos.

Para exemplificar uma das deficiências identificadas, mostra-se na Figura 5.4 um descarregador de tempestade quase na sua cota máxima, no caso de a pluviosidade aumentar, vai diretamente para o meio recetor.



Figura 5.4 – Descarregador de tempestade da Bacia Q (J. S. Matos et al., 2015).

Perante este enquadramento, verifica-se claramente a necessidade de avançar para a reabilitação deste sistema de drenagem, adotando algumas medidas de reforço que visam melhorar o seu desempenho hidráulico. Assim, na próxima seção são descritas as principais soluções de reabilitação e reforço, que foram preconizadas no âmbito da elaboração do PGDL 2016-2030.

5.4 Soluções de reabilitação e reforço

O sistema Beirolas recebe os caudais de várias freguesias, do Parque das Nações, Marvila, Olivais e uma parte do concelho de Loures, neste enquadramento são propostas várias soluções de reabilitação e reforço desta rede, onde foram efetuadas várias simulações para avaliar o desempenho, segundo (J. S. Matos et al., 2015) foi diagnosticado o seguinte:

- Controlar a afluência de caudais contaminados ao rio Tejo através da construção/reabilitação de descarregadores de tempestade;
- Dar solução a problemas de coletores com falta de capacidade;
- Prevenir a ocorrência de inundações;
- Implementar soluções de controlo na origem.

Este diagnóstico resultou de um modelo de simulação dinâmico, quer teve por base os dados do cadastro existente da CML, da Proteção Civil e trabalho de campo, contudo os problemas de falta de capacidade dos coletores, mau estado de conservação das tubagens e áreas de expansão da cidade e pressão urbanística.

As soluções preconizadas no PGDL 2016-2030 são as seguintes:

- Solução A (atenuação), já estava descrita no PGDL 2008, que refere a construção de um reservatório de armazenamento a montante para atenuar o caudal de ponta de cheia afluente no troço final dos coletores existentes e adequada com a sua capacidade hidráulica. O reservatório seria instalado a uma cota de oito metros

de profundidade e teria um volume de 20 100 m³ e seria construído no cruzamento da Av. ^a de Berlim com a Av. ^a Infante Dom Henrique. Este reservatório pode ter dois compartimentos um com cota superior para permitir a reposição na rede e outro a uma cota mais profunda, que necessitaria de uma bomba para poder restituir à rede. Está previsto a reabilitação cinco descarregadores de tempestade existentes, de modo a desviar eficazmente os caudais domésticos das redes de drenagem unitárias e a construção de um descarregador de tempestade na Rua Centeira, para desviar o caudal doméstico do coletor unitário para o Sistema Intercetor de Beirolas (AdTA). Pretende-se reduzir as descargas de águas residuais domésticas para o Rio Tejo e controlar a entrada de caudais pluviais no sistema interceptor;

- Solução B e C (reforço de transporte), prevê a construção de um reservatório de amortecimento de caudais, foi estudada a possibilidade de reforço da capacidade hidráulica do coletor da Av. ^a de Berlim com a construção de um coletor na Via Recíproca, Av. ^a do Índico e Rua Bojador, com DN 2500 ver Figura 5.5.

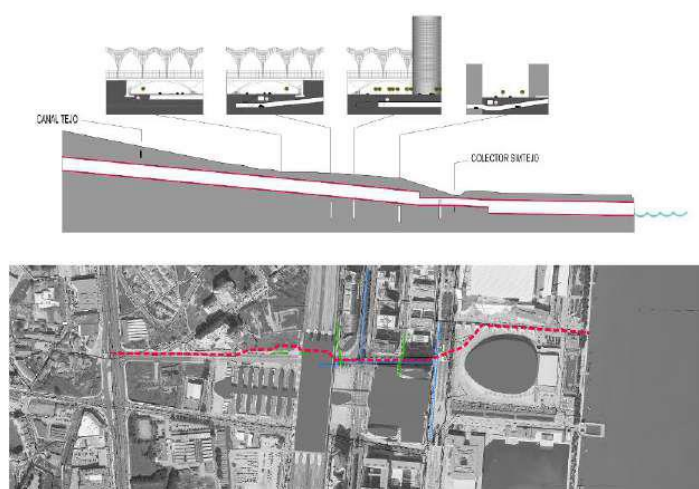


Figura 5.5 – Construção do coletor da Av. ^a de Berlim com novo coletor na Via Recíproca (J. S. Matos et al., 2015).

O estudo do traçado e perfil do coletor deve de ter em conta várias infraestruturas enterradas tais como: Canal Tejo da EPAL, o túnel e estação do metropolitano de Lisboa, a Estação do Oriente (fundações e subestação elétrica), várias entradas e saídas dos parques de estacionamento da Gare do Oriente e Centro Comercial Vasco da Gama, o sistema de drenagem de esgotos da AdTA e ainda a galeria técnica do Parque da Nações. Na última travessia desta infraestruturas, é necessário o desvio das infraestruturas (condutas de distribuição de água, cabos de eletricidade e comunicações, condutas de

transporte de RSU em vácuo, condutas de água quente e fria, etc.), inseridas na galeria técnica, pois a travessia sob esta não é possível sem inviabilizar a cota de descarga no rio (J. S. Matos et al., 2015).

A Figura 5.6 permite uma visualização do estado atual do coletor da Av. ^a de Berlim para um (período de retorno $T=10$ anos e para um nível de maré 1,95 m).

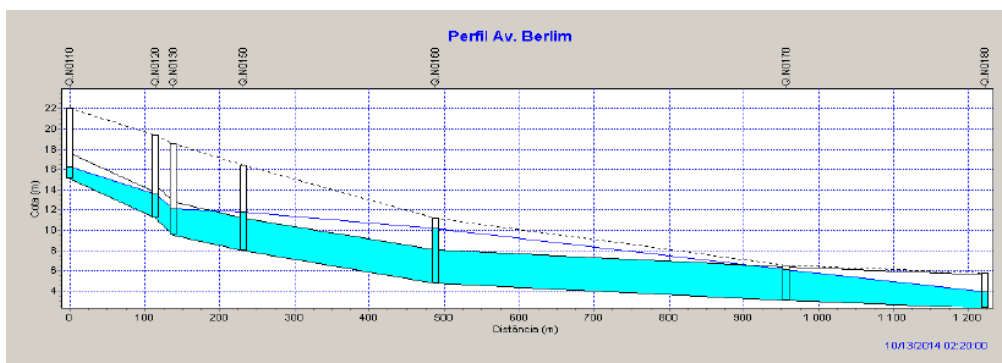


Figura 5.6 –Perfil do coletor na Avenida de Berlim.

Após a construção do novo coletor da Via Recíproca, podemos observar na Figura 5.7 que houve uma diminuição de cota.

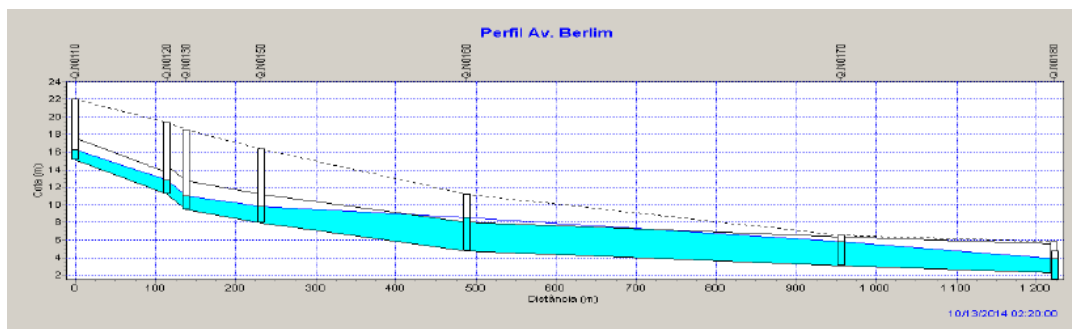


Figura 5.7 – Perfil Longitudinal do coletor da Av. ^a Berlim após a construção do coletor na Via Recíproca.

Assim pode-se concluir que é uma opção viável a construção do novo coletor. O estudo conclui falta de capacidade hidráulica da Av. ^a de Berlim, Av. ^a Infante Dom Henrique, Av. ^a Alfredo Bensaúde; a construção/ reabilitação de sete câmaras de controlo de caudal para desvio dos efluentes domésticos das redes unitárias para o sistema interceptor de Beirolas, terá de se reforçar a capacidade nestes locais descritos.

Após este estudo apresentam-se na Tabela 4.1 as dimensões propostas para o dimensionamento dos coletores.

Tabela 5.2 Apresentam-se as principais dimensões dos coletores propostos para a Bacia Q, adaptado (J. S. Matos et al., 2015).

Localização	Custo (€)	Tipo de escoamento	Dimensão (mm)	L (m)
Av. ^a Dr. Alfredo Bensaúde	62 400	Unitário	DN 1400	40
Av. ^a Dr. Alfredo Bensaúde	365 040	Unitário	DN 2000	180
Av. ^a Berlim	174 720	Unitário	DN 2500	80
Av. ^a Berlim	502 320	Unitário	DN 2000	230
Rua da Centieira	608 640	Unitário	DN 1200	470
Av. ^a Infante D. Henrique	543840	Unitário	DN 1200	420
Av. ^a Infante D. Henrique	155 400	Unitário	DN 1200	120
Av. ^a Infante D. Henrique	395 400	Unitário	DN 1500	230
Via Recíproca	1 074 840	Unitário	DN 2000	530
Av. Infante D. Henrique	947 760	Unitário	DN 2200	450
Via Recíproca	2 201 520	Unitário	DN 2500	720
Rua do Bojador	633 360	Unitário	DN 2500	290
Av. ^a Indico	950 040	Unitário	1300x3500	140

É importante referir as obras de reforço da capacidade de escoamento, se localizam em vias de difícil intervenção devido ao elevado tráfego, tais como na Av. ^a Infante D. Henrique (é um acesso importante à cidade de Lisboa) e à travessia da Gare do Oriente (Av. ^a Berlim).

5.4.1 *Principais intervenções*

Assim, a principal intervenção no sistema de Beirolas, refere-se ao reforço hidráulico dos coletores da Av. ^a de Berlim/Via Recíproca. São igualmente importantes intervenções de beneficiação da captação de escoamento de superfície (reforço de dispositivos interceptores de escoamento superficial, nomeadamente a construção de sumidouros em zona rebaixada), e a beneficiação de algumas descargas no rio Tejo.

Foi realizada uma atualização de cadastro, tendo-se verificado que o coletor Nova II, na Av. ^a de Berlin, já tinha sido intervencionado, com reforço de algumas secções, efetuadas durante a construção da Expo98. O Estudo Prévio e o Projeto de Execução, para realizar as intervenções necessárias na bacia Q, foi desenvolvido pela Sipca Consultores de Engenharia, S.A.

As principais alterações consistiram na alteração do traçado e reforço da secção (com a construção desse troço do coletor com uma secção transversal retangular de 4300x3300 mm) entre a Av. ^a D. João II e zona do Pavilhão Altice Arena e desse ponto para jusante até ao Tejo, reforçando o Nova II com um coletor paralelo de secção ovoide

de dimensões de 2600×2800 mm como se pode observar na Figura 5.8 (Morgado et al., 2017).

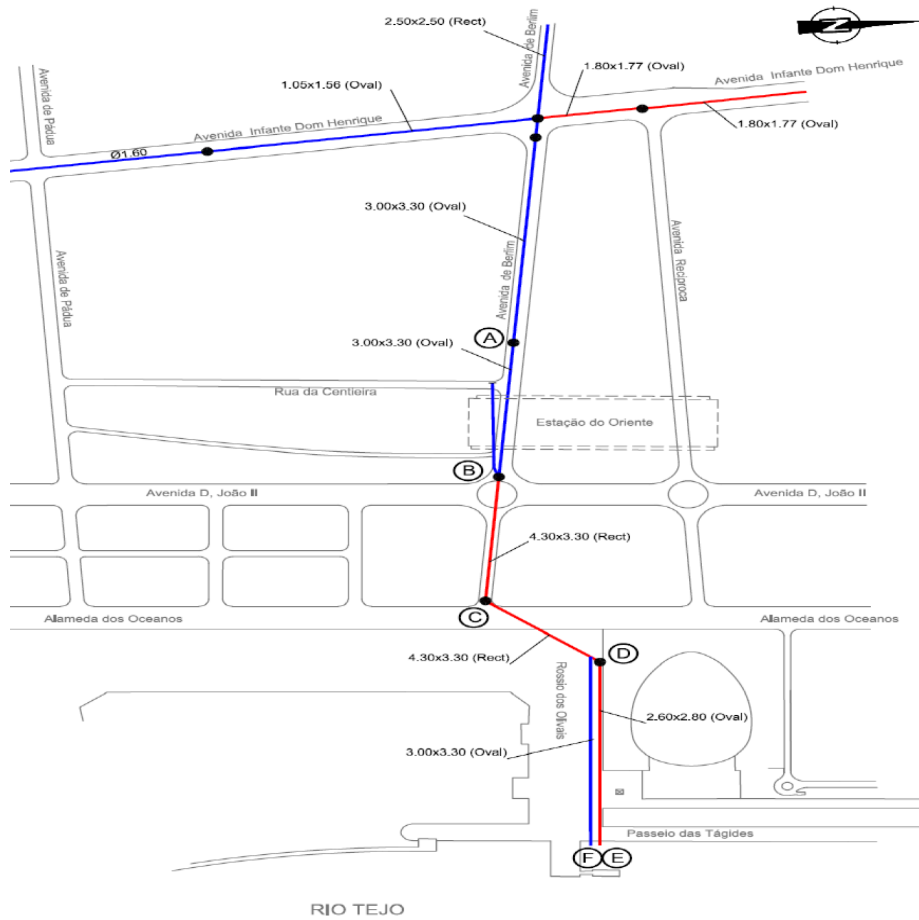


Figura 5.8 – Esquema da rede com atualizações de cadastro realizadas assinaladas, (Morgado et al., 2017).

No atual contexto foi analisado o reforço pela falta de capacidade hidráulica com a construção de um coletor em paralelo ao existente na Av. ^a Infante Dom Henrique, como se mostra na Figura 5.9 que vai ligar ao coletor Nova II, instalado na Av. ^a de Berlim.

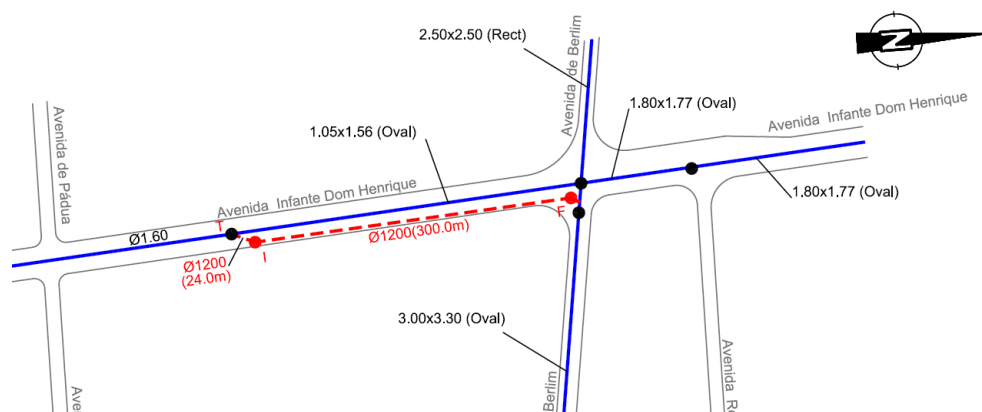


Figura 5.9 – Esquema de localização do coletor circular DN 1200 a construir (Morgado et al., 2017).

Assim transcreve-se o processo de construção do método preconizado pela Sipca Consultores de Engenharia, S.A., que assentou no recurso a microtunelagem, devido aos constrangimentos que existiriam, associados à opção pela construção em vala aberta.

O processo de cravação por microtúnel (ver Figura 5.10), compreende basicamente os seguintes trabalhos preparatórios:

- Abertura de um poço de ataque de dimensões adequadas;
- Instalação e estabilização do berço e sistema hidráulico da máquina de “microtunnelling” no poço de ataque;
- Instalação do contentor de controlo e sistemas auxiliares (circuito de bombagem e sedimentação de água e ar comprimido);
- Instalação de cabeça e corte e do primeiro tubo a cravar;
- Abertura de um poço de saída para extração da cabeça de corte.

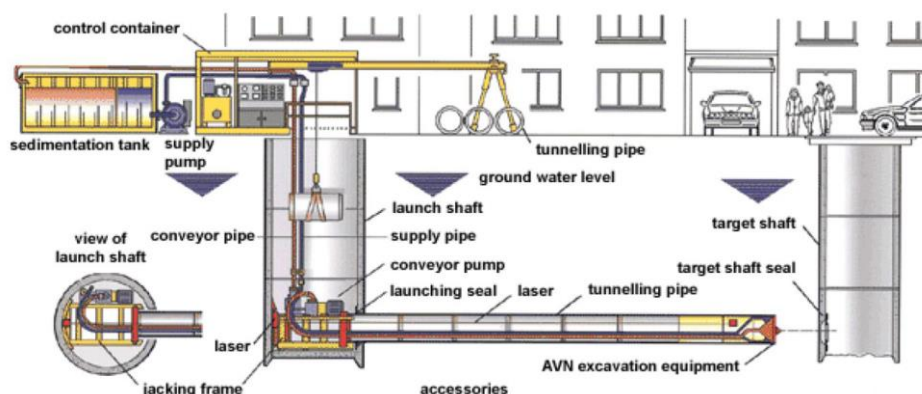


Figura 5.10 –Esquema de uma cravação por microtúnel (Morgado et al., 2017).

A intervenção seguinte refere-se à reabilitação da seção da obra de transição, junto ao Altice Arena, entre o coletor Nova II e os dois emissários com seção ovoide. Esta ligação tinha sido construída de forma pouco eficiente do ponto de vista do nível hidráulico. A transição para os ovoides apresentava uma transição que não era gradual, pelo que as seções estavam estranguladas e apresentavam mudanças de direção do escoamento muito acentuadas. Estas patologias no coletor Nova II retiravam-lhe a capacidade de escoamento e provocavam o efeito de regolfo para montante, para além de não estar a distribuir pelos dois ovoides a carga hidráulica.

Segue-se a intervenção na confluência da Av. ^a Infante Dom Henrique, com a Av. ^a Berlim, no poço de chegada após a saída da tuneladora, em que a caixa foi preparada para ligar ao coletor Nova II. Na Av. ^a de Berlim existe um descarregador de tempestade que permite desviar, fora dos períodos de cheia, os caudais residuais domésticos para o Sistema Intercetor de Beirolas. A estrutura de derivação é muito básica, sendo constituída por um descarregador frontal, murete construído transversalmente ao coletor Nova II, com cerca de 0,70 m de altura, e por uma tomada

de água lateral, direta para o coletor de intersecção de 800 mm de diâmetro. Este descarregador será mantido construindo-se a montante um poço de grossos (Morgado et al., 2017).

Na rua dos Argonautas, a caixa existente será remodelada com a de repartição de caudais com um descarregador frontal relativamente à entrada e a derivação para a ETAR a 90°. Na Av. ^a Ulisses, à semelhança do que foi referido na anterior será remodelada com a de repartição de caudais com um descarregador frontal relativamente à entrada e a derivação para a ETAR a 90°.

Na Av. ^a Atlântico o trabalho a desenvolver será semelhante ao projetado para a derivação na Av. ^a de Berlim.

No apeadeiro de Moscavide existe uma caixa de derivação de caudais que está inoperacional, vai sofrer uma intervenção para remover a comporta plana lá instalada e sectionar a conduta pluvial, será construída uma nova caixa a jusante com os mesmos critérios das anteriores.

O coletor Nova II foi reabilitado em 1998 e após a inspeção visual efetuada verificou-se que tem algumas patologias consideradas estruturantes, neste sentido é proposto a reabilitação do coletor para reparar as deficiências encontradas, nessa altura tem-se os estaleiros montados e os equipamentos disponíveis, pelo que será menos oneroso fazê-lo em conjunto com os trabalhos propostos.

5.5 Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se uma descrição geral do sistema de drenagem de Beirolas, onde está inserida a Bacia Q, cuja reabilitação do sistema de drenagem, será abordada no próximo capítulo. Neste sentido, após a caracterização das bacias Q e P, que constituem o sistema de drenagem de Beirolas, apresentaram-se os principais resultados relativos ao diagnóstico, que foi elaborado sobre o desempenho hidráulico da bacia Q Av. ^a de Berlim, com base nos quais se confirmou a necessidade de avançar para a reabilitação deste sistema de drenagem, adotando algumas medidas de reforço que visam melhorar o seu desempenho hidráulico.

Neste contexto, foram também descritas as principais soluções de reabilitação e reforço, que foram preconizadas no âmbito da elaboração do PGDL 2016-2030, bem como as intervenções necessárias, ao nível de execução de obras, para a implementação das supracitadas soluções de reabilitação e reforço.

6 REABILITAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA Q

6.1 Considerações iniciais

O principal objetivo que motivou a realização deste trabalho está associado ao acompanhamento das obras de reabilitação e reforço de diversos elementos do sistema de drenagem da bacia Q (Beirilas) da cidade de Lisboa.

Atendendo que o acompanhamento da realização destas obras é feito na perspetiva de um técnico da Câmara Municipal de Lisboa, que integra a equipa responsável pelo acompanhamento da sua execução, por parte do promotor da obra (a CML), o capítulo inicia com uma descrição geral dos vários intervenientes, designadamente a equipa da CML, o consórcio de empresas que desenvolveram os estudos associados ao PGDL, a empresa responsável pela execução do projeto e o empreiteiro responsável pela execução da obra.

Numa fase subsequente do capítulo, serão descritas sumariamente as obras correspondentes às intervenções referidas no capítulo anterior, bem como a especificidade do tipo acompanhamento, que foi feito a estas obras. A referência às obras será feita tendo por base as seguintes frentes de obra:

- Av. ^a Infante D. Henrique
- Av. ^a de Berlim
- Rua de Moscavide junto ao apeadeiro do comboio, lado do Parque das Nações
- Rua dos Argonautas
- Av. ^a dos Ulisses
- Av. ^a do Atlântico
- Coletor Nova II e obra transição junto ao Altice Arena

Destas frentes de obra destaca-se a referente à Av. ^a Infante D. Henrique, uma vez que envolveu o recurso a microtunelagem para a instalação do coletor, sendo as restantes obras de menor dimensão e complexidade.

6.2 Descrição geral dos intervenientes na obra e custos associados

O acompanhamento da execução desta obra foi realizado por uma equipa multidisciplinar, associada a uma vereação da CML, constituída por doze elementos, que envolve um coordenador, cinco engenheiros civis, um engenheiro do ambiente, um arquiteto, um jurista, um geólogo e o apoio de uma assistente técnica, que formam a designada Equipa de Projeto do Plano Geral de Drenagem de Lisboa (EPPGDL).

Embora os elementos da equipa tenham formações específicas, o papel individual de cada um foi bastante versátil e adaptado às circunstâncias específicas de cada momento de obra, atendo às diversas frentes de obra e às especificidades de cada uma delas.

É neste enquadramento que se enquadra a realização deste trabalho, que de uma forma simples equivale a um relatório onde é expressa a intervenção e a experiência de um dos elementos da referida equipa.

A realização de uma obra desta dimensão envolve diversas fases e diversos tipos de intervenientes, começando pelo dono de obra, que neste caso é a CML e que funcionou como promotor do empreendimento, nomeadamente ao nível da preparação e do lançamento das empreitadas a concurso público e acompanhamento da realização de todas as fases da obra.

Neste caso face ao tipo de problemas associados e à especificidade do tipo de intervenção foi necessário avançar, numa fase inicial, com um estudo prévio que remonta a alguns anos atrás. Esse estudo foi realizado por um consórcio formado pelas seguintes empresas: Hidra Hidráulica e Ambiente, Engidro - Engineering Solutions, Lda. e BlueFocus.

Após este estudo verificou-se que era necessário fazer uma reabilitação e construção de novos coletores, para fazer face ao aumento da população que por sua vez tornou o sistema subdimensionado.

A execução do projeto ficou a cargo da SIPCA- Consultores de Engenharia, SA, que promoveu a realização de um novo levantamento cadastral, no qual se verificou que existia um coletor de grandes dimensões (que não do conhecimento dos autores do estudo prévio), o que motivou a implementação de algumas alterações ao estudo prévio, que perspetivam a redução de alguns custos e alguns tempos de execução da empreitada.

A execução da obra e gestão geral da empreitada ficou a cargo da Manvia Conduitas, tendo a fiscalização sido assegurada pela Prospetiva - Projetos, Serviços e Estudos, SA.

Neste contexto, a intervenção de um técnico da CML envolve diversas interações com projetista, empreiteiro e fiscalização para assegurar o normal desenrolar da obra. Na Figura 6.1 apresenta-se um esquema dos intervenientes na obra.



Figura 6.1 – Esquema dos intervenientes na obra.

Por último convém referir que se está perante uma obra pública com uma dimensão considerável, para a qual foi considerado um orçamento inicial da ordem de 3 milhões euros, em que um dos objetivos da EPPGDL, era garantir a boa execução do projeto e que os valores da adjudicação eram cumpridos. Em termos gerais a componente mais onerosa esteve associada à utilização da microtuneladora, envolvendo cerca 1,2 milhões de euros. Neste contexto algumas frentes de obra envolveram custos pouco significativos, devido à reduzida dimensão e pouca complexidade do tipo de obra executado, como é o caso da rua dos Argonautas e av. ^a Atlântico, quando comparados com os mais relevantes, como a caixa da rua de Moscavide e a obra de transição no Nova II, junto ao Altice Arena. No que se refere a estas duas frentes, no caso da rua de Moscavide existiu um custo significativo associado às contenções que tiveram de ser realizadas, enquanto na última frente devido à elevada complexidade da intervenção e às condições associadas à realização dos trabalhos.

No entanto convém salientar que embora a obra de transição no Nova II, junto ao Altice Arena, tenha sido uma das que envolveu um custo significativo, foi aí que se conseguiu uma poupança significativa, de cerca de 500 mil euros, uma vez que não se realizou o que estava inicialmente previsto. Durante a obra, após as visitas técnicas de preparação da mesma, foi acordado pelas partes envolvidas (CML, projetista e empreiteiro) um ajuste importante aos trabalhos previstos, aproveitando de forma mais racional a infraestrutura existente (que não se encontrava devidamente cadastrada), o que permitiu obter a poupança indicada.

Perante este enquadramento o custo total da obra ficou em cerca de 2,5 milhões de euros, o que permitiu uma poupança de cerca de 500 mil euros, num balanço global entre trabalhos a mais e poupanças equivalentes às da frente obra de transição no Nova II, junto ao Altice Arena, mas com menor impacto.

Como já se referiu anteriormente, convém salientar que se está perante uma obra com diversas frentes, as quais serão apresentadas na seção seguinte.

6.3 Acompanhamento das diversas frentes de obras

O acompanhamento desta empreitada foi seguido de perto, pela EPPGDL, como já foi referido anteriormente. No essencial, assentou no acompanhamento das frentes onde se desenvolviam os trabalhos mais complexos, como por exemplo a verificação da implantação dos serviços afetados, acompanhamento das escavações e respetivas entivações, bem como a verificação do recobrimento das armaduras, acompanhamento das betonagens e acompanhamento da progressão da microtunelação.

Para além do referido anteriormente, é ainda de destacar a participação em diversas reuniões, que tipicamente tinham uma periodicidade semanal, onde definia a programação dos trabalhos a realizar e se verificava o cumprimento das anteriores calendarizações de trabalhos, realizados anteriormente. Nessas reuniões, também se analisavam e discutiam algumas das soluções previstas no projeto, para as quais se anteviam dificuldades de execução no terreno, face ao que era encontrado após escavação. Para algumas era fácil encontrar uma solução expedita, que não desvirtuassem o projeto, enquanto para outras era mesmo necessário recorrer à intervenção do projetista.

Nos pontos seguintes descrevem-se os aspetos mais relevantes, associados a cada uma das frentes de obra.

6.3.1 Av. ^a Infante D. Henrique

A obra mais complexa foi construída na Av. ^a Infante D. Henrique, frente ao n.º 337. Corresponde à construção de um coletor de 1200 mm, com recurso a um sistema de microtunelagem. Esta opção envolveu o recurso a um processo construtivo menos intrusivo, o que proporcionou um menor impacto à superfície, pelo que foi possível manter uma faixa de rodagem em cada sentido. A opção em alternativa, seria o recurso ao método de escavação a céu aberto, o que envolveria escavações a uma profundidade de 9 metros, em que os taludes teriam de ter um grau de inclinação mínimo de 30%, o que ocuparia todas as faixas de rodagem.

O recurso à microtunelagem envolveu a construção de um poço de ataque, que é o local onde se iniciou a escavação da microtuneladora, e um poço de chegada, para a saída da máquina. Na Figura 6.2 mostra-se um aspeto geral do estaleiro recorrendo a uma imagem aérea retirada do *Google Earth*.



Figura 6.2 – Imagem estaleiro da Av. ^a Infante D. Henrique.

No poço de ataque foi construída uma cortina de estacas de 600 mm secantes, armadas e não armadas (aproximadamente a 12 metros de profundidade), foi também construído uma parede de arranque/reação de 30 cm, ver Figura 6.3, junto às estacas para suportar os macacos da tuneladora quando é colocada a tubagem. Neste método os tubos são colocados e empurrados, utilizando os quatro macacos hidráulicos que aplicam uma força de avanço na parede referida anteriormente.

A construção do poço de ataque envolve um conjunto de tarefas específicas que se descrevem resumidamente de seguida:

- Abertura de um poço de ataque de dimensões adequadas (neste caso utilizaram-se as dimensões mínimas de $7 \times 6 \times 9$ (profundidade) metros);
- Instalação e estabilização do berço e do sistema hidráulico da máquina de microtunelagem no poço de ataque;
- Instalação do contentor de controlo e sistemas auxiliares (circuito de bombagem e sedimentação, de água, ar comprimido, etc.);
- Instalação da cabeça de corte e do primeiro tubo a cravar;
- Abertura de um poço de saída para extração da cabeça de corte;
- Cravação sequencial das manilhas (escavação e construção do túnel) (Gomes et al., 2019).

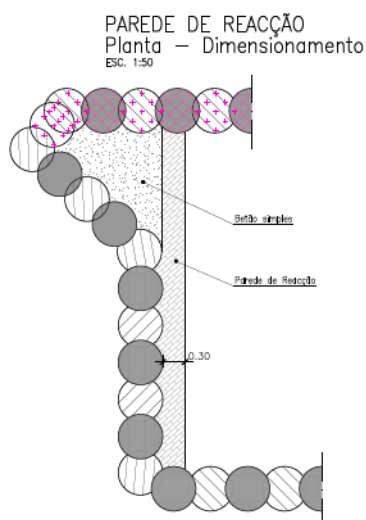


Figura 6.3 – Parede de reação/arranque da Av. ^a Infante D. Henrique.

Na Figura 6.4 apresentam-se algumas imagens referentes à localização do estaleiro e do poço de ataque.

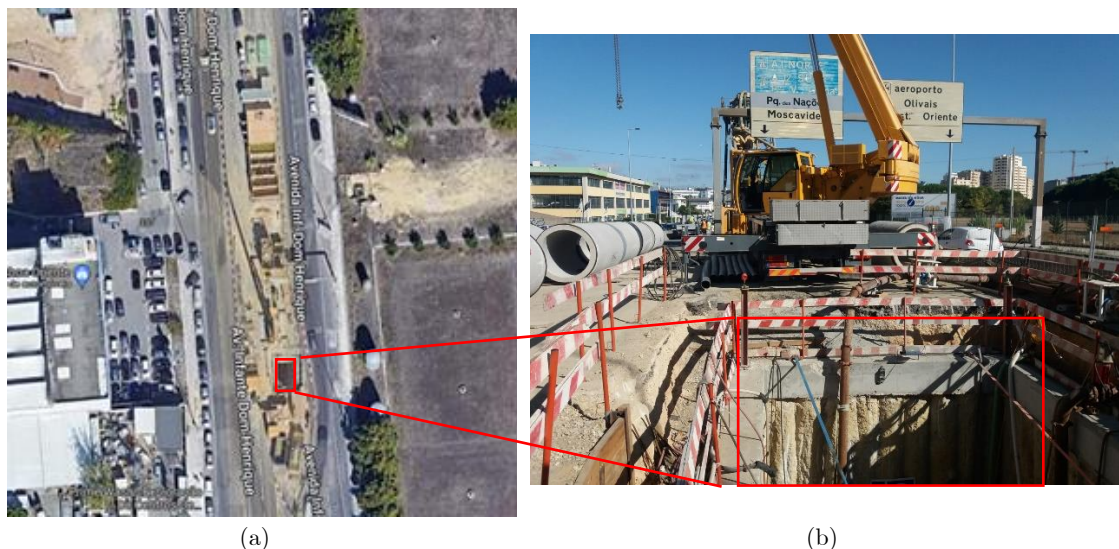


Figura 6.4 – Estaleiro da Av.ª Infante Dom Henrique: a) imagem aérea obtida a partir do Google Earth; b) imagem superficial da abertura do poço de ataque.

Na Figura 6.5 representa-se a planta do poço de ataque legendada com algumas medições, tais como:

- Diâmetro das estacas;
- Perfis de suporte às estacas;
- Parede de reação simples, de entrada da microtuneladora;
- Parede de reação armada, onde é aplicada uma força de avanço.

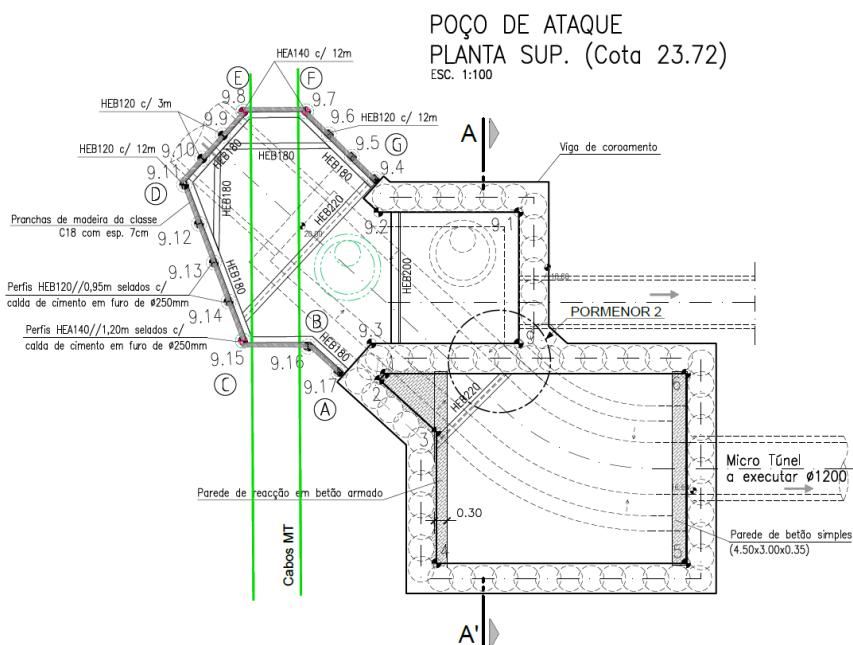


Figura 6.5 – Planta do Poço de ataque da Avª Infante Dom Henrique.

A tuneladora utilizada corresponde ao modelo “AVN1200TB Pipe Jacking”, que se encontra representado na Figura 6.6, na forma de um esquema ilustrativo. A perfuração esteve a cargo da empresa Pfeifer que foi subcontratada pela Manvia Conduatas.

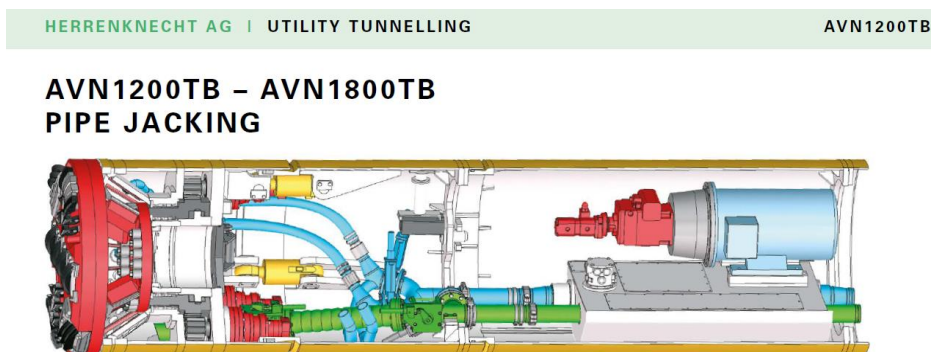


Figura 6.6 – Esquema ilustrativo tuneladora (Documento cedido por Herrenknecht AG).

Assim, de seguida descreve-se o processo de colocação e montagem da microtuneladora, para esta começar a operar.

A microtuneladora apresenta uma cabeça com um diâmetro com 1215 mm e um corpo com um comprimento de 8 m, tal como se pode ver na Figura 6.7. Após a perfuração permite a colocação de um coletor com um diâmetro de 1200 mm.



Figura 6.7 – Cabeça de corte e corpo da microtuneladora.

Na Figura 6.8 observa-se a montagem do berço, que é a estrutura que vai receber a tuneladora. Também se pode ver a parede de betão que serve de guia para a entrada da máquina.

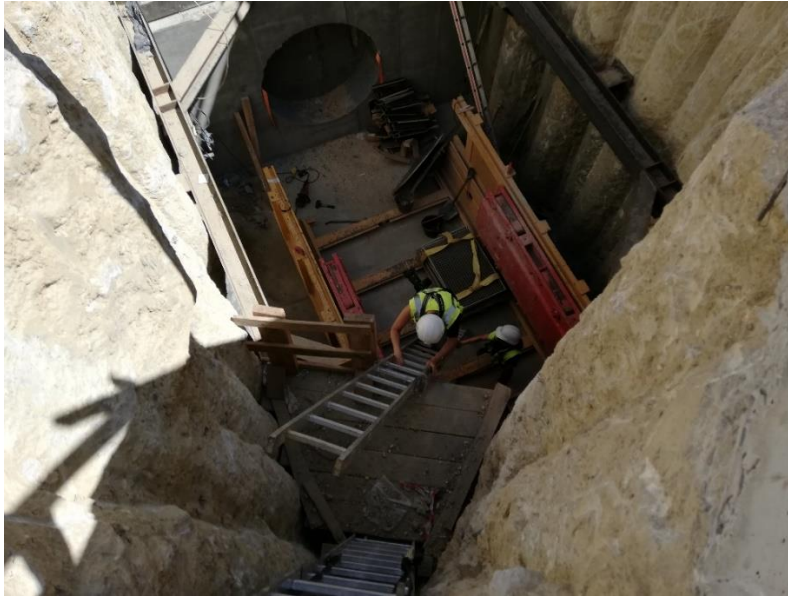


Figura 6.8 – Montagem do berço da micro tuneladora.

Na Figura 6.9 mostra-se todo o equipamento colocado no poço, onde é possível verificar que uma parte da tuneladora já se encontra encaixada na parede guia, antes de começar a perfuração. Neste local de entrada da tuneladora, as estacas não têm armadura, o que permite a furação em betão simples.

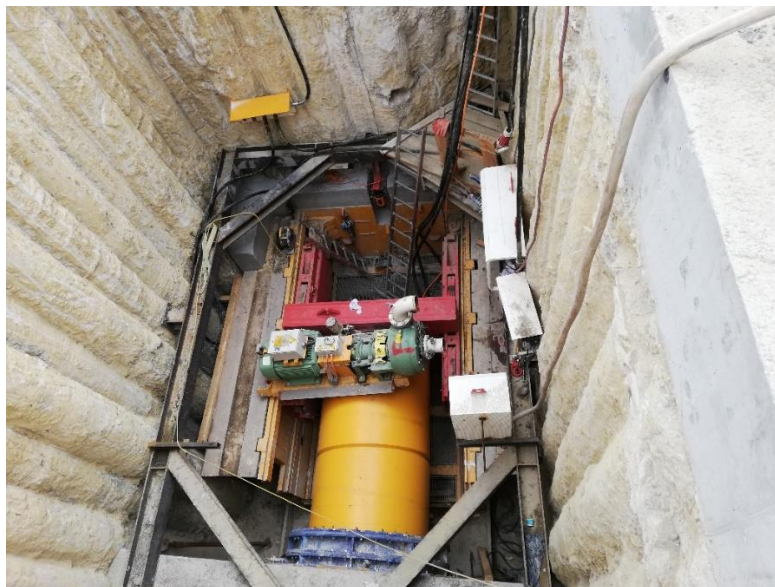


Figura 6.9 – Microtuneladora e equipamentos associados.

A Figura 6.10 mostra o transporte de um tubo (do coletor) para colocação, que já leva no seu interior o equipamento necessário para garantir a continuidade da operação da tuneladora. Este equipamento é composto por cabos de energia e essencialmente por tubos de aço, que asseguram a introdução de bentonite, para estabilização da frente de

escavação, e recobrimento dos vazios (deixados pela cabeça da tuneladora), que envolvem os tubos que formam o coletor, de maneira a evitar a ocorrência de assentamentos.



Figura 6.10 – Colocação do tubo.

Na Figura 6.11 mostra-se a colocação do tubo n.º 129 e todo equipamento envolvente, dentro do poço de ataque.



Figura 6.11 – Tubo 129 e todo o equipamento.

A Figura 6.12 mostra uma perspectiva do estaleiro, onde é possível ver um camião a descarregar tubos. Ao lado do camião encontra-se a estação de peneiração do material escavado, que é composta por dois andares de malhas filtrantes, que descarregam o material escavado no contentor verde. Na Figura 6.13 mostra-se o material escavado. Os contentores amarelos, de onde sai um tubo, contêm a água que é necessária para o funcionamento da torre de peneiração.



Figura 6.12 – Imagem do equipamento apoio a tuneladora).



Figura 6.13 – Produto escavado.

Na Figura 6.14 mostra-se um conjunto de tubos alinhados, antes da sua colocação através do poço de ataque. Estes tubos têm um aro metálico, na extremidade onde os macacos hidráulicos aplicam a força de avanço, enquanto na outra extremidade é colocada uma borracha vedante.



(a)



(b)

Figura 6.14 – a) Tubos alinhados para colocação b) Tubo com a borracha vedante.

A Figura 6.15 mostra uma imagem da sala do piloto da microtuneladora. É nesta pequena sala que o piloto controla o funcionamento da tuneladora, nomeadamente, garante a orientação definida para o percurso de furação, define a força a aplicar durante o processo de furação e verifica a existência de alguma anomalia durante o processo de furação/cravação.



Figura 6.15 – Cabine do piloto da tuneladora.

Na Figura 6.16, mostra-se o topógrafo a preparar/calibrar os equipamentos de georreferenciação para instalar dentro das tubagens (do coletor). O sistema de georreferenciação é aferido através de um laser, cuja projeção num alvo instalado na máquina de perfuração permite obter a informação em tempo real dos desvios verificados

ao longo do percurso de furação. Este sistema serve essencialmente para a monitorização dos desvios durante a perfuração e proceder à correção de eventuais desvios.

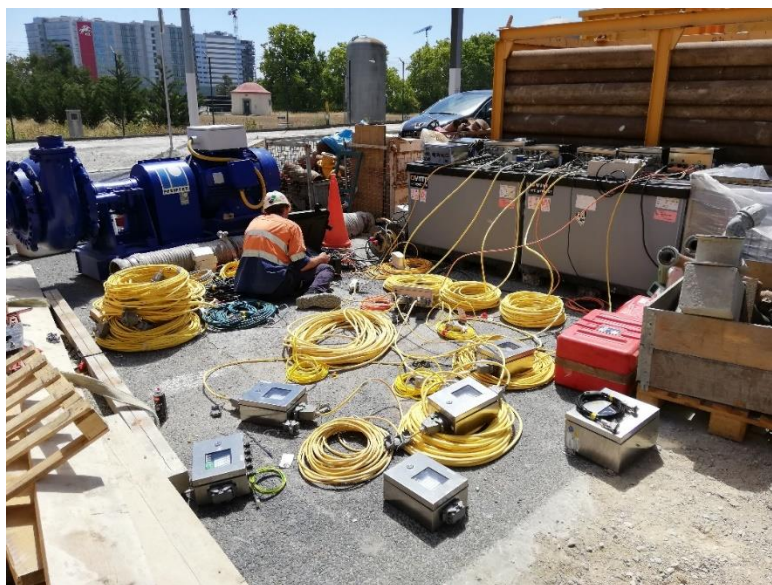


Figura 6.16 – Preparação dos cabos para georreferenciação.

Na Figura 6.17 mostra-se um perfil geológico do terreno, no qual se pode observar que a geologia atravessada é muito heterogénea, apresentando estratos de argila, calcário e calcário argiloso, apresentando uma intercalação ao longo do percurso de escavação. progressão de escavação. Mas aos 39 metros de escavação houve uma paragem devido ao aparecimento de pedaços de varões aço de uma suposta estaca, a julgar por alguns especialistas, este tipo de aço deixou ser usado na construção, na década de 80, que a partir daí passou a ser aplicado o aço nervurado

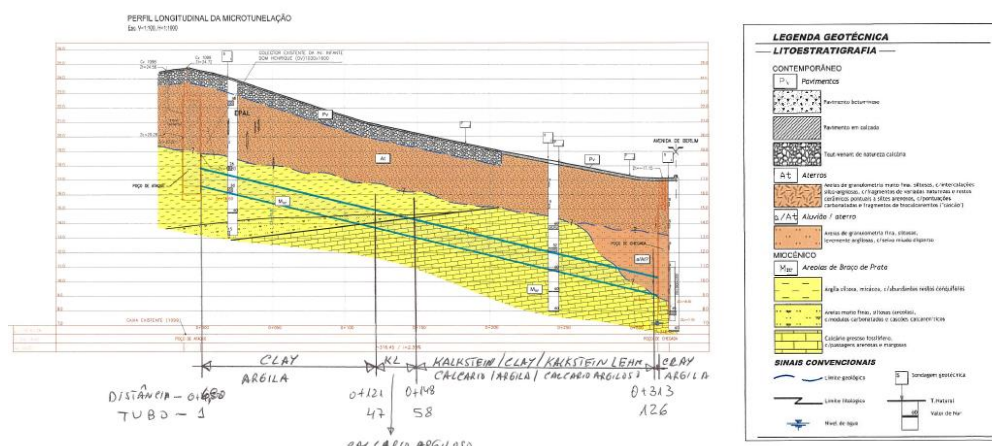


Figura 6.17 – Perfil geológico das unidades a atravessar.

A Figura 6.18 mostra alguns pedaços de um varão de aço que saíram com o produto de escavação. Estes pedaços de varão motivaram um atraso de algumas horas na progressão

e também uma pequena mudança de direção do sentido de escavação, tendo-se retomado rapidamente a orientação.



Figura 6.18 – Pedacos de varão aço liso encontrado na escavação com tuneladora.

6.3.2 Av. ^a de Berlim

Na Av. ^a de Berlim, a obra estende-se desde o cruzamento com a Av. ^a Infante D. Henrique e vai até junto à gare do Oriente. Nesta frente de obra, foram construídas três caixas, logo no início do troço (ver estaleiro representado na Figura 6.19), a primeira corresponde ao poço de chegada/receção da microtuneladora, a segunda corresponde ao início do coletor Nova II e a terceira estabelece a ligação à ETAR de Beirolas.



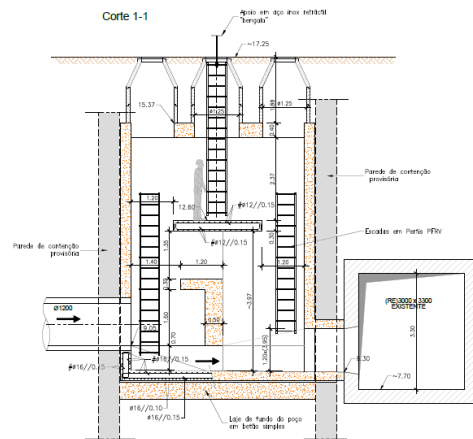
Figura 6.19 – Vista aérea do *Google Earth*, das caixas na Av. ^a de Berlim.

Na Figura 6.20 mostra-se a caixa correspondente ao poço de chegada/receção da microtuneladora. A contenção desta caixa apresenta estacas de 600 mm, secantes, armadas e não armadas, com reforço estrutural horizontal com HEB 180. A opção por esta contenção justifica-se com a sua profundidade e verticalidade, devido ao confinamento do estaleiro.

Esta caixa foi posteriormente aproveitada para estabelecer uma ligação ao coletor Nova II, que irá permitir dar vazão ao caudal do novo coletor construído (proveniente da Av. ^a Infante D. Henrique).



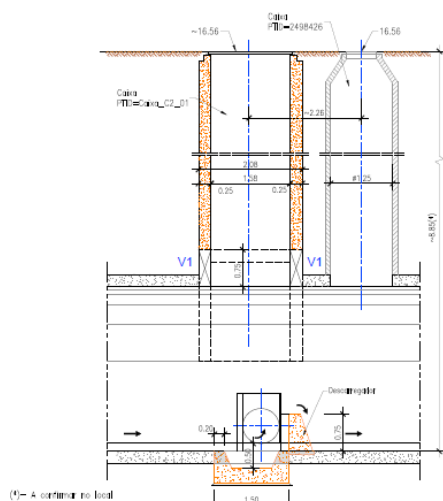
a)



b)

Figura 6.20 – a) Poço de chegada da microtuneladora, b) Corte esquemático do poço de Chegada (Morgado et al., 2017).

A segunda caixa, irá servir para estabelecer o acesso ao descarregador que limita o final do coletor proveniente do aeroporto e que liga ao coletor Nova II. Na Figura 6.21 mostra-se um desenho do corte referente ao acesso criado para aceder ao coletor Nova II e uma imagem da abertura na estrutura do Nova II, para criar o referido acesso ao poço de grossos construído, também se pode observar o coletor de 800 mm que liga à caixa número 3. No início do coletor Nova II construiu-se um poço de grossos para reter os materiais mais pesados antes de chegar ao descarregador. A tampa desta caixa está dimensionada para a descida de uma garra pequena para recolha dos materiais retidos no poço. Esta segunda caixa liga à próxima (terceira), através de um coletor de 800 mm que se encontra localizado acima do poço de grossos.



(a)



(b)

Figura 6.21 – a) Desenho do corte do poço de grossos e conduta de 800 mm (Morgado et al., 2017); b) trabalhos associados à abertura do acesso ao coletor Nova II.

Como já se referiu anteriormente, a terceira caixa estabelece a ligação à ETAR de Beirolas. A Figura 6.22 mostra a fase final do processo de abertura, desta caixa, onde se pode observar que foi executada uma contenção do tipo “Berlim”, com HEA 140 e pranchas C18 com 7 cm de espessura.

A Figura 6.22 também mostra um coletor do lado esquerdo, que foi atravessado pela cravação das estacas. Importa referir que este coletor não se encontrava cadastrado, nem estava em funcionamento, encontrando-se tamponado a montante e jusante desta caixa. Devido ao perigo de colapso, este coletor, foi cheio com betão pobre.

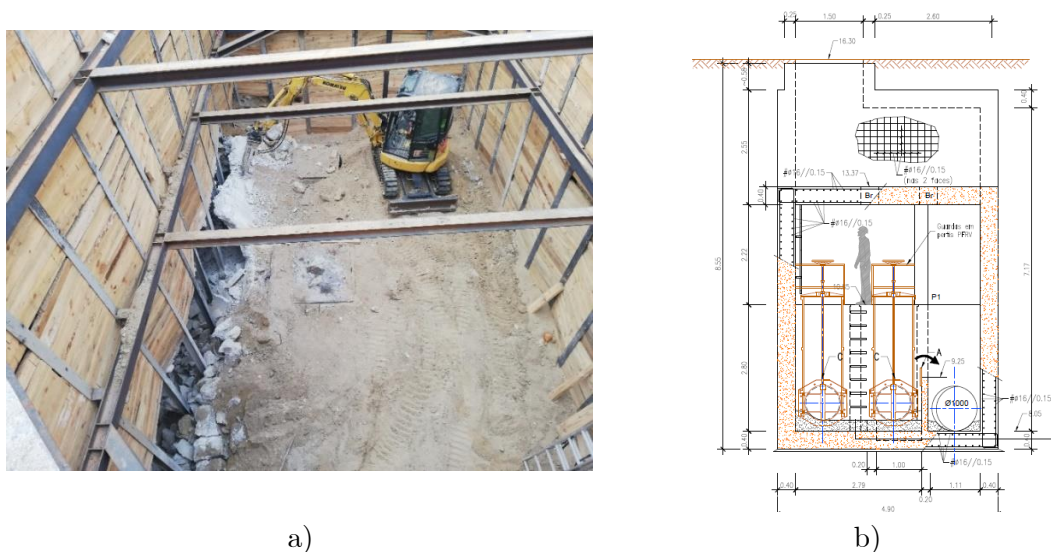


Figura 6.22 – a) Abertura da terceira caixa na Av.ª de Berlim, b) Corte perpendicular (Morgado et al., 2017).

Nesta terceira caixa foram colocadas válvulas de controle de caudal, que gerem a ligação à ETAR de Beirolas e que também permitem dar apoio a eventuais ações de gestão e manutenção destes coletores.

6.3.3 Rua de Moscavide junto ao apeadeiro do comboio, lado do Parque das Nações

Neste local foi também contruída uma nova caixa, à semelhança dos outros locais mencionados anteriormente, sendo que aqui já existia uma pequena caixa para derivação de caudais, que estava inoperacional.

A intervenção nesta caixa, teve por objetivo remover uma comporta plana que aí estava montada, e assim garantir o aumento da conduta que passará a ter início neste local.

A contenção periférica neste local foi executada de forma diferente de todos os outros locais da empreitada, neste caso, procedeu-se a uma contenção modular como se pode ver na Figura 6.23.

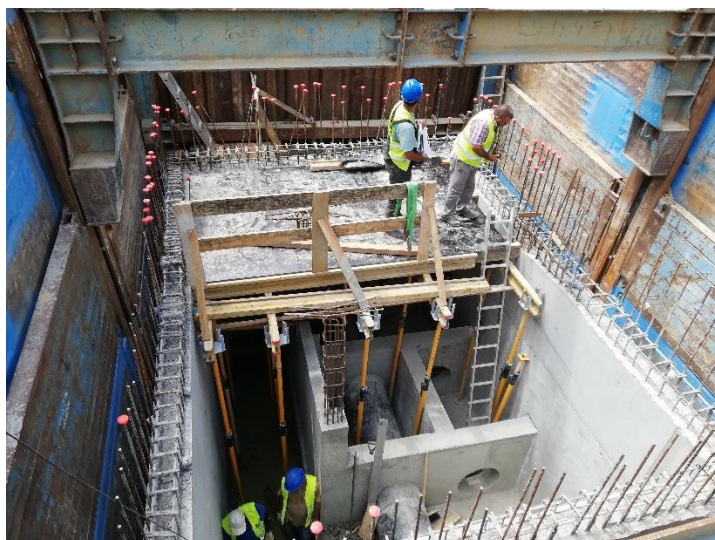


Figura 6.23 – Caixa do apeadeiro de Moscavide.

Na Figura 6.24 mostra-se uma vista da caixa em construção, na qual já é possível observar alguns coletores já colocados. Nesta caixa foram posteriormente instaladas duas válvulas de corte, do tipo mural, que permitem efetuar operações de gestão e manutenção envolvendo também a possibilidade de efetuar operações de *by-pass*, em caso de avaria.



Figura 6.24 – Caixa do apeadeiro de Moscavide vista N/S.

Na Figura 6.25 mostra-se uma imagem do *google earth*, através da qual se pode observar uma vista da aérea do estaleiro montado em Moscavide, que é o principal estaleiro de todas as frentes de obra.



Figura 6.25 – Vista aérea *google earth* estaleiro de Moscaide.

6.3.4 Rua dos Argonautas

Na rua dos Argonautas existia uma caixa (ver Figura 6.26) de pequenas dimensões, que já não se adequava nem às necessidades de escoamento do coletor existente, nem permitia as necessárias operações de gestão e manutenção, uma vez que o acesso de homem era muito limitado.



Figura 6.26 – Caixa existente na rua dos Argonautas.

Na Figura 6.27 mostra-se uma perspetiva da nova caixa, numa fase em que se vê toda a cofragem num momento anterior à sua betonagem. Nesta figura vê-se claramente que a contenção é do tipo “Berlinense”.

Esta caixa, apresenta uma maior dimensão e como tal passou a ter uma maior capacidade de operacionalidade dentro da mesma.



Figura 6.27 – Construção da nova caixa na rua dos Argonautas.

No corte que se apresenta na Figura 6.28, é possível observar que foram instaladas duas válvulas de controle de caudal e um poço de grossos maior do que existia anteriormente.

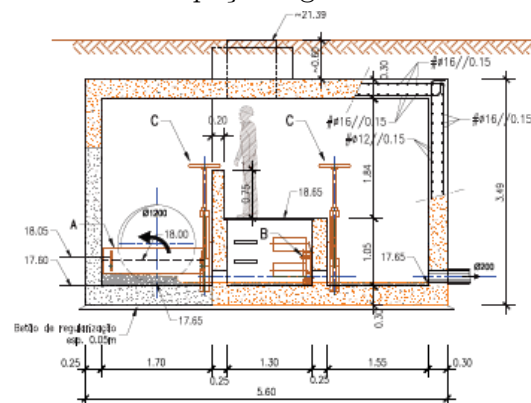


Figura 6.28 – Corte da caixa na rua dos Argonautas.

6.3.5 Av. ^a de Ulisses

Na Av. ^a Ulisses também foi necessário remodelar a caixa existente, para melhorar as condições de operação e manutenção, do coletor aí existente. Na Figura 6.29 mostra-se uma vista aérea do pequeno estaleiro associado à realização desta obra, obtida a partir do *google earth*.

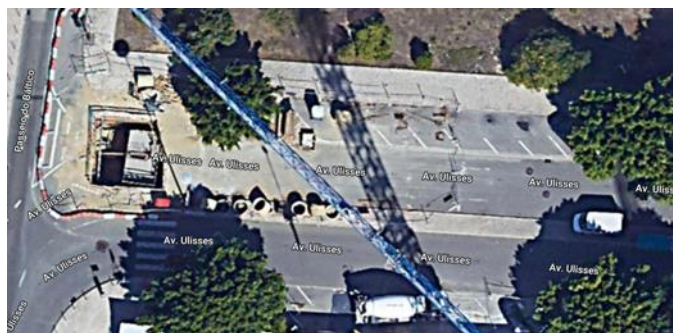


Figura 6.29 – Vista aérea *google earth* do estaleiro na Av. ^a Ulisses.

A contenção utilizada para a construção desta caixa é também do tipo “Berlinense”, como se pode ver na Figura 6.30. Quando se iniciou a furação para colocar os perfis HEA verticais, sentiu-se um odor intenso a combustível, que se veio a confirmar ser de hidrocarbonetos após análises de laboratório. Esta contaminação teria proveniência da antiga petroquímica ali instalada. Neste sentido, as terras/solos retirados foram para aterro certificado para o tipo de solos contaminados.

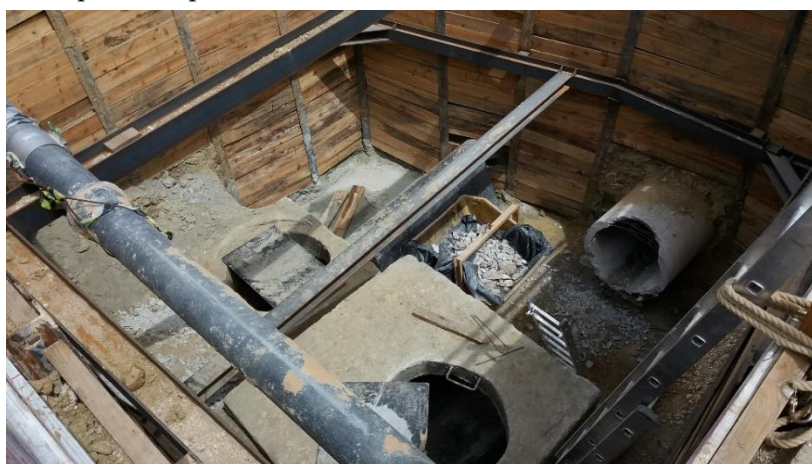


Figura 6.30 – Demolição da caixa existente na Av. ^a Ulisses.

Na Figura 6.31 mostra-se um corte desta caixa, a partir do qual é possível visualizar que tem 2 válvulas de controlo de caudal.

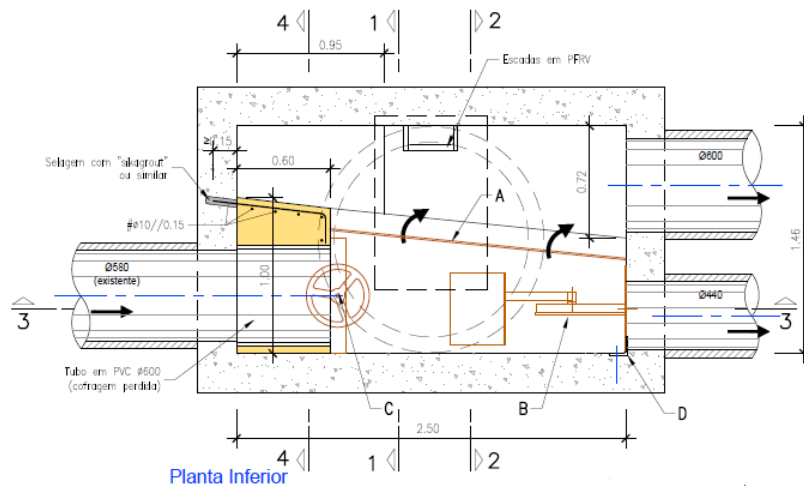


Figura 6.33 – Planta da caixa na Av. ^a do Atlântico (Morgado et al., 2017).

Na Figura 6.34, mostra-se que os trabalhos realizados na Av. ^a do Atlântico foram muito reduzidos, tendo apenas ocupado uma pequena parte do passeio, na proximidade da caixa intervencionada.



Figura 6.34 – Estaleiro da Av. ^a do Atlântico.

6.3.7 Reabilitação do Nova II e substituição da obra transição junto ao Altice Arena

O coletor Nova II encontra-se implantado num troço que vai deste o cruzamento da Av. ^a de Berlim com a Av. ^a Infante Dom Henrique, até ao Altice Arena.

Como já foi referido anteriormente, o coletor Nova II foi inspecionado ainda durante a realização do projeto, tendo-se verificado alguns problemas no seu estado de conservação. Neste contexto, foram identificadas algumas patologias preocupantes nos elementos estruturais, que era necessário reparar, para aumentar a capacidade de vazão, de maneira a proteger a estrutura e assim aumentar a sua durabilidade.

De seguida indicam-se alguns dos diferentes tipos de patologias identificadas, que se podem observar na Figura 6.35:

- Destacamento do betão e exposição e corrosão de armaduras;

- Oxidação das escadas verticais de acesso;
- Ligação tamponada de forma incorreta;
- Ligação obstruída;
- Fissuração e perda de estanquicidade;
- Abertura e degradação de juntas com consequente falta de estanquicidade.



Figura 6.35 – Patologias Nova II: a) Acesso ao coletor com armaduras à vista; b) Delaminação do betão; c) Armaduras totalmente corroídas; d) Pouco recobrimento; e) Transição de coletores com resto de cofragem; f) Entradas de água obstruídas.

No final do coletor Nova II existe uma transição para dois emissários com seção ovoide que vão desaguar no rio Tejo. Esta transição foi efetuada na altura da Expo 98 de forma pouco eficiente do ponto de vista hidráulico, pois não previa uma transição gradual entre as diferentes seções, apresentava seções estranguladas e com alterações abruptas na direção do escoamento. Assim, devido a esse défice hidráulico existia um regolfo que anulava a capacidade de transporte de todo o trecho do coletor Nova II. Também devido a esse constrangimento, a distribuição de caudais nos dois emissários não era feita tendo em conta a sua capacidade de transporte.

A solução encontrada para resolver este problema assentou na construção de uma parede central, denominada por septo, que divide o escoamento para os dois emissários como se pode ver numa planta do projeto que se apresenta na Figura 6.36.

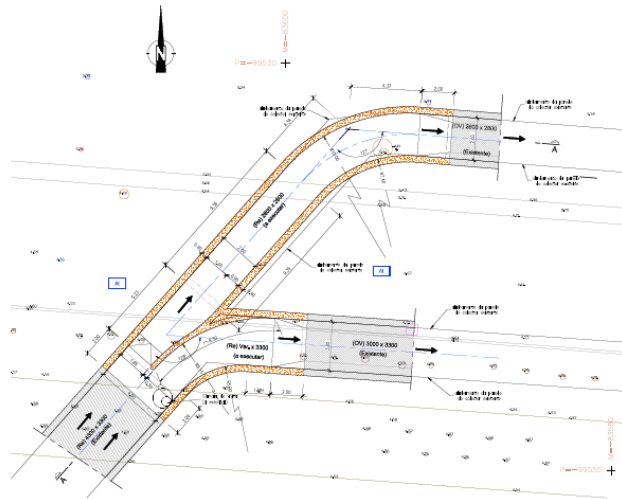
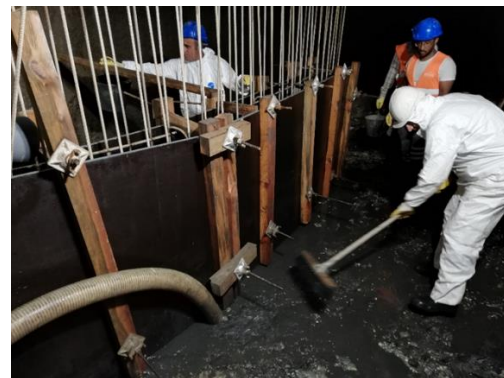


Figura 6.36 – Projeto da câmara de transição (Morgado et al., 2017).

Na Figura 6.37 mostram-se algumas imagens referentes à construção do septo correspondente à solução preconizada no projeto.



(a)



(b)

Figura 6.37 – Construção do septo: a) Vista no sentido de escorrência; b) Vista do lado montante.

Como se pode observar através da figura anterior, houve alguma dificuldade em realizar esta componente da obra, devido ao nível da maré, uma vez que durante a maré cheia não se conseguia trabalhar.

Na Av. ^a de Berlim, próximo do início do coletor Nova II, foi necessário proceder à construção de mais calceiras transversais e proceder à substituição das instaladas, com se pode ver na Figura 6.38.



Figura 6.38 – Caldeiras transversais, na Av. ^a de Berlim, próximo do início do coletor Nova II.

Com esta melhoria do escoamento superficial, na Av. ^a de Berlim, os caudais são quase todos retidos e encaminhados para o coletor Nova II, assim a acumulação de águas da chuva, junto à gare do Oriente, fica melhorado, desde que as grelhas instaladas se mantenham limpas.

6.4 Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se a equipa da CML responsável pela implementação do PGDL 2016/2030, associada à execução da obra de reabilitação da bacia Q, que estava preconizada no PGDL.

O acompanhamento das diversas obras foi descrito, tendo sido indicadas as principais intervenções para cada frente de obra, relativamente às quais se pode estabelecer as seguintes considerações finais:

- A intervenção na Av. ^a Infante D. Henrique foi considerada a obra principal pelo facto de se utilizar um método de escavação que não é muito comum. A escavação por meio de uma microtuneladora, permitiu verificar que a sua utilização na aplicação de coletores de grande diâmetro é uma mais-valia em obras nos grandes

centros urbanos. Podendo-se concluir que o recurso a este processo construtivo é extremamente interessante para a construção/reabilitação de sistemas de drenagem em zonas urbanas, evitando-se assim grandes constrangimentos às outras atividades, nomeadamente no que se refere à circulação de tráfego urbano.

- A av. ^a de Berlim foi alvo de grande intervenção, com a construção de três caixas, sendo uma delas o poço de chegada da microtuneladora, neste sentido criou-se alguma expectativa em relação à saída da máquina. Como se referiu a georreferenciação é uma etapa fundamental na progressão da escavação, tendo sido realizada de acordo com o previsto.

Ainda na av. ^a Berlim, na segunda caixa, a intervenção efetuada vai permitir um melhoramento do tratamento na ETAR, devido à construção do poço de grossos e uma pequena subida do descarregador. A drenagem superficial com a colocação dos sumidouros transversais, o final da av. ^a de Berlim evita a ocorrência de lençóis de água no pavimento.

Quanto à intervenção na terceira caixa, vai permitir o melhoramento da operação e manutenção da rede.

- Na rua de Moscovide, com a construção da nova caixa obteve-se igualmente um benefício evidente no controle das águas na rede.
- A rua dos Argonautas, uma das frentes de trabalho em que também foi renovada a caixa, irá também contribuir para um melhor comportamento hidráulico da rede.
- Na av. ^a dos Ulisses o trabalho executado foi muito importante, porque irá permitir um melhoramento na eficiência hidráulica da rede, bem como do ponto de vista da manutenção e operação o sistema ficou mais operacionalizado.
- Na av. ^a do Atlântico a requalificação da caixa, vai ter uma drenagem mais eficiente e a manutenção e operação também será mais facilitada.
- A intervenção no coletor Nova II e obra transição junto ao Altice Arena, irá melhorar as condições de durabilidade permitindo que a sua operação se estenda por mais uns anos e garantindo uma melhoria na sua eficiência hidráulica.

Finalmente importa referir que o custo total da obra ficou em cerca de 2,5 milhões de euros, o que representa menos cerca de 500 mil euros, em relação ao que estava inicialmente orçamentado (cerca de 3 milhões) e que se deveu a algumas poupanças que foi possível aplicar, sendo a mais significativa, a diminuição de cerca de 500 mil euros associada à alteração efetuada junto ao Altice Arena.

7 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

7.1 Principais conclusões

Este trabalho consistiu na elaboração de um relatório de estágio sobre o acompanhamento da reabilitação de diversos elementos da rede de saneamento da bacia Q (Beirolas) da cidade de Lisboa. No entanto, numa primeira fase houve a necessidade de introduzir alguns dos principais conceitos sobre hidrologia urbana, para demonstrar a importância do redimensionamento dos sistemas de drenagem de águas em grandes cidades, de maneira que estes tenham a capacidade suficiente para corresponderem em boas condições de desempenho hidráulico perante fenómenos de precipitação intensos (cada vez mais frequentes), uma vez que os níveis de impermeabilização em grandes cidades são extremamente elevados, o que potencia a ocorrência de cheias e inundações.

Numa fase subsequente procurou-se demonstrar a importância de aplicar adequadamente os requisitos de desempenho de manutenção e operação, preconizados para os sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, através da norma europeia EN 752-5, bem como a pertinência de em alguns casos se recorrer a metodologias de inspeção para efetuar um adequado diagnóstico sobre o desempenho hidráulico destes sistemas de drenagem, ou de algumas das suas componentes, em que já foram identificados problemas de desempenho.

Com a apresentação do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, conclui-se que nos últimos séculos foram feitos vários estudos de sistemas de drenagem, assim os Planos de Drenagem de Lisboa enunciados são uma continuação dos estudos necessários para colmatar os eventos/alterações climáticas ou necessidades de falta de capacidade dos coletores sejam eles, pluviais ou domésticos. Verificou-se que a reformulação do PGDL 2008 para o PGDL 2016/2030, trouxe inúmeras vantagens como por exemplo o período de retorno aumentar de 10 anos para 100 anos. Em termos de manutenção e operação o PGDL 2016/2030, pela construção dos túneis tem-se maior capacidade de transporte e menor manutenção com períodos de 3 a 5 anos, enquanto com as bacias do PGDL 2008 seria anual e com equipamentos com grande manutenção.

Descreveu-se o sistema Beirolas onde está inserida a Bacia Q, onde se apresentaram os resultados do diagnóstico e principais medidas de reabilitação para melhorar o desempenho hidráulico, que foram preconizadas no PGDL 2016/2030, o que motivou a implementação do plano e seguir para o reforço e reabilitação.

Finalmente, no último capítulo do trabalho, descreveu-se o trabalho realizado começando pela apresentação da equipa da CML, que está a colocar em prática o PGDL, bem como os outros intervenientes no processo, nomeadamente a empresa que desenvolveu o projeto

da Bacia Q, que teve por base o PGDL 2016/2030, a equipa de fiscalização e a empresa que executou a obra. Procurando-se assim evidenciar a complexidade associada à execução, das obras de reabilitação e reforço de uma componente do plano de drenagem da cidade de Lisboa. Também ficou demonstrada a importância dos trabalhos de acompanhamento destas obras, nomeadamente refletidos numa poupança dos valores inicialmente orçamentados, de cerca de 500 mil euros.

No que se refere aos trabalhos, que foram executados, as principais conclusões que se podem retirar do acompanhamento das várias frentes de trabalho, estão associadas às opções que foram tomadas, evidenciando-se a opção pelo recurso à microtunelagem na frente que tinha maior complexidade de execução (Av. ^a Infante D. Henrique). Esta opção proporcionou vantagens evidentes quer em termos técnicos, quer em termos sociais e económicos, dos quais se destacam a facilidade de escavação, menor impacto nas atividades existentes à superfície, nomeadamente no tráfego rodoviário e nas atividades comerciais. Ao nível ambiental também se poderá dizer que tendo existido uma menor aplicação de materiais contribuiu-se para um ambiente mais sustentável. Por fim, as melhorias efetuadas em todas as frentes de trabalho, também contribuem para que exista uma separação dos efluentes e conseqüentemente menos poluição no meio recetor, que no caso estudado é o rio Tejo.

7.2 Perspetivas futuras

Atendendo que se abordou apenas a intervenção numa das componentes associadas ao PGDL, perspetiva-se dar continuidade à implementação do PGDL 2016/2030, e assim diminuir a poluição do meio recetor, rio Tejo, a renovação do sistema de drenagem, para evitar eventuais fugas/perdas de caudal, e por outro lado combater as alterações climáticas com a construção dos túneis de drenagem.

Este relatório deu uma perspetiva, como num futuro próximo possa dar um contributo para uma melhoria nos sistemas de drenagem no caso na cidade de Lisboa, talvez possa vir fazer uma análise de todo sistema de drenagem de Lisboa verificadas pelo PGDL 2016/2030 e poder resolver essas deficiências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, I. (2012). As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa. *Finisterra*, 3(5), 79–84. <https://doi.org/10.18055/finis2513>
- Ambitec. (2016). *Parque Urbano do Vale da Ameixoeira, Bacias de retenção*.
- Baptista, J. M., & Alegre, H. (2000). *Especificação de materiais para as redes de abastecimento de água de Oeiras e Amadora, Relatório 193/00 – NES, LNEC, Lisboa*.
- C.M. Sesimbra. (2022). *Saneamento*. <https://www.sesimbra.pt/viver/agua-e-saneamento/saneamento>
- Campos, A. R. de O. (2014). *Soluções de Reabilitação de Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cooper, M. (2010). Advanced Bash-Scripting Guide An in-depth exploration of the art of shell scripting Table of Contents. *Okt 2005 Abruflbar Uber Httpwww Tldp OrgLDPabsabsguide Pdf Zugriff 1112 2005, 2274*(November 2008), 2267–2274. <https://doi.org/10.1002/hyp>
- Costa, M. C. B., Silva, L. S., Nogueira, M. H. P., Lima, G. K. M., & Batista, N. J. da S. (2019). Estudo da viabilidade técnica do uso de concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional. *RCT - Revista de Ciência e Tecnologia*, 5(8). <https://doi.org/10.18227/rct.v5i8.5217>
- Couto, J. L. V. (2019). *CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA BACIA*. <https://agronomos.ning.com/profiles/blogs/caracter-sticas-fisiogr-ficas-da-bacia-1>
- Decreto regulamentar n° 23/95. (1995). *Decreto regulamentar n° 23/95*.
- EPAL. (2022). *Ciclos da água*. <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunicação-ambiental/ciclo-da-água>
- Ferreira, S. C. G. (2013). *Contributos para melhoria da gestão do sistema de drenagem da AdRA*. Universidade de Aveiro.
- Garcia, V. (2017). *Geografia, relevo e hidrografia*. https://aminoapps.com/c/conhecimento-escolar/page/blog/o-relevo-e-a-hidrografia-geografia/Z6Kd_MQYcBu5QDKZ38VbwMzV8Lk7dkoovj5
- Gleason, J. A. (2017). *El Ciclo del agua*. <https://agua.org.mx/actualidad/ciclo->

- del-agua/
- Gomes, T., Penedo, C., Sousa, M. Â., & Gordinho, P. (2021). *Desenvolvimento e execução*.
- Gomes, T., Penedo, C., Sousa, M., & Gordinho, P. (2019). *Microtunelagem no âmbito do PGDL - caso de obra*.
- Goulão, J. S. (2014). Chuva causou inundações em várias zonas de Lisboa. *Jornal de Notícias*. <https://www.jn.pt/local/noticias/lisboa/lisboa/chuva-causou-inundacoes-em-varias-zonas-de-lisboa-4139127.html>
- Hidra, Engidro, & Bluefocus. (2018). *Vulnerabilidade às inundações, retificação para a situação futura*.
- Hipólito, J. R. e A. C. V. (2012). *HIDROLOGIA E Balanço hidrológico de uma bacia hidrográfica*.
http://www.kunene.riverawarenesskit.com/kunenerak_com/pt/RIO/HYDROLOGY/PRINCIPLES_OF_HYDROLOGY/WATER_BALANCE.HTM
- Lisboa, C. M. (1991). *Regulamento para Lançamento de Efluentes Industriais na Rede de Colectores de Lisboa*.
- Lourenço, R. (2014). *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis*. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA.
- Lusa. (2021). Número de mortes causadas pelas cheias na Europa continua a subir. *Expresso*. <https://expresso.pt/lusa/2021-07-16-Numero-de-mortes-causadas-pelas-cheias-na-Europa-continua-a-subir-c9fbb8b6>
- Maldonado. (2010). *Esquema típico de obra*.
<https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/148004-La-tecnologia-del-pipe-jacking-Ventajas-sobre-los-tuneles-de-dovelas-de-mediano-diametro.html>
- Martins, C., Temido Mendes, M., Abreu, J., Lopes de Almeida, J., de Lima, J. L. M. P., & de Lima, M. I. P. (2010). *Hidrologia urbana - Conceitos básicos Hidrologia*.
- Matheus, M. S. (2011). *Drenagem Urbana, Meio Ambiente*.
<https://www.aquafluxus.com.br/drenagem-urbana-classica-x-sustentavel/?lang=en>
- Matos, J. S. (2002). *Comportamento hidráulico e ambiental de sistemas unitários- um olhar para trás, em direção ao futuro. 10ª ENaSB*.
- Matos, J. S., Gerreiro, A., Monteiro, A., Ferreira, F., Braunschweig, F., Simões,

- J., Guimarães, J., Estudante, M., Pinheiro, M., Ribeiro, P., Oliveira, R. P., Leboeuf, Y., & Fernandes, Z. (2015). Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030. In *Revista Recursos Hídricos*.
- Matos, R. S., & Rodrigues, C. C. (2014). *ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE* December 1999. <https://doi.org/10.4995/ia.1999.2799>
- Melo, F. de M. A. e. (2011). *Beware the water - “Água vai.”* <https://www.lisboa.pt/exposicao-agua-vai>
- Moreira, N., Prates, F., Ferreira, J., Neto, J., Bugalho, L., Lopes, M. J., Mendes, M., Frada, M. J., Pinto, P., Cota, T., & Cabrinha, V. (2008). *Instituto de Meteorologia , * ECMWF V Encontro Nacional de Riscos*.
- Morgado, A., Franco, A. B., & Biscaia, T. (2017). *Câmara Municipal de Lisboa, projeto de substituição/reabilitação/reforço/ construção de diversos elementos da rede de drenagem*.
- Oliveira, L. (2010). *Redes de esgoto e redes de drenagem*. <https://www.cesan.com.br/noticias/redes-de-esgoto-e-redes-de-drenagem-voce-sabe-a-diferenca-2/>
- Oseias, B. (2022). *Models*. <https://3dwarehouse.sketchup.com/user/u67d0cadae8e3-4373-8bf2-7b2c97337ce4/OSEIAS-B>
- Público. (2010). *As maiores cheias de 1967 a 2010*. <https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?f=/pt/media/noticias/arquivo/2016/cheias-1967.html>
- Queiroz, M. S., & Alves, N. de S. (2020). *APLICAÇÃO DE DIFERENTES FÓRMULAS DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO PARA UMA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA*. 219–231.
- Ramos, C., & Reis, E. (2001). As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra*, 36(71), 61–82. <https://doi.org/10.18055/finis1648>
- Rebello, F. (2008). UM NOVO OLHAR SOBRE OS RISCOS? O EXEMPLO DAS CHEIAS RÁPIDAS (O EXEMPLO DAS CHEIAS RÁPIDA (O EXEMPLO DAS CHEIAS RÁPIDAS (FLASH FLOODS) EM DOMÍNIO MEDITERRÂNEO.) EM DOMÍNIO MEDITERRÂNEO. *Territorium 15*, 83–94. https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_15_1/2485
- Rodrigues, C. M., Moreira, M., & Guimarães, R. C. (2006). *Apontamentos para as aulas de hidrologia*.

- Sebastião, A., Leitão, J., Ferreira, F., & Matos, J. S. (2006). *Monitorização e gestão avançada de sistemas de drenagem urbana*.
- Singh, V. P. (1992). *Elementary Hydrology*.
- TPF, 2019. (2019). *Reabilitação do Sistema de Drenagem da cidade de Maputo*.
<https://www.tpf.pt/pt/reabilitacao-do-sistema-de-drenagem-da-cidade-de-maputo-c-1818-5-206---6.html>
- Zêzere, J. L. (2001). *Distribuição e ritmo dos movimentos de vertente na Região a Norte de Lisboa* (Issue January).