



Estudo Hidrológico e Hidráulico das Bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto-Lei n.º 115/2010

Município de Oeiras

Dezembro de 2011

Relatório Final

VOLUME 1 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO REGIME DE CHEIAS

Elaborado por:



FICHA TÉCNICA

NOME	FUNÇÃO	ESPECIALIDADE
Nelson Mileu	Coordenação do Projecto	
Nuno Colaço	Coordenador da equipa da GIBB Portugal	Engenharia Agrónoma
Rui Silva Santos	Coordenador da equipa da RSS \ Hidrologia \ Hidráulica	Engenharia Civil /Hidráulica
Eduarda Matos	Hidrologia \ Hidráulica	Engenharia Civil /Hidráulica
Hugo Custódio	Hidrologia \ Hidráulica \ Modelação	Engenharia Civil /Hidráulica
Fernando Freitas	Hidráulica \ Modelação \ SIG	Engenharia Agrónoma
Cecília Correia	Hidrologia \ Hidráulica \ Modelação \ SIG	Engenharia de Recursos Hídricos
Rosa Oliveira	Topografia \ Fotogrametria	Engenharia Geográfica
Pedro Burrica	Topografia	Engenharia Civil
Pedro Neto	Topografia	Topógrafo
César Barata	Sistemas de Informação Geográfica	Técnico SIG
José Venâncio	Reconhecimento e fichas de campo	Desenhador projectista
Anabela Veríssimo	Reconhecimento e fichas de campo	Engenharia Biofísica
Filipe Corado	Reconhecimento e fichas de campo	Desenhador

ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE OEIRAS PARA ELABORAÇÃO DE CARTA DE ZONAS INUNDÁVEIS DE ACORDO COM DECRETO-LEI N.º 115/2010

RELATÓRIO FINAL

VOLUME 1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO REGIME DE CHEIAS

RELATORIO FINAL - INDICE GERAL DE VOLUMES

VOLUME 1 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO REGIME DE CHEIAS

VOLUME 2 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DAS CHEIAS NA RIBEIRA DE ALGÉS

VOLUME 3 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DAS CHEIAS NO RIO JAMOR

VOLUME 4 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA RIBEIRA DE BARCARENA

VOLUME 5 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DAS CHEIAS NA RIBEIRA DE PORTO
SALVO

VOLUME 6 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DAS CHEIAS NA RIBEIRA DA LAGE

VOLUME 7 – CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DAS CHEIAS NAS OUTRAS LINHAS DE
ÁGUA

VOLUME 8 – ANEXO (PEÇAS DESENHADAS E FICHAS DE LEVANTAMENTO DE SINGULARIDADES)

ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE OEIRAS PARA ELABORAÇÃO DE CARTA DE ZONAS INUNDÁVEIS DE ACORDO COM DECRETO-LEI N.º 115/2010

RELATÓRIO FINAL

VOLUME 1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO REGIME DE CHEIAS

INDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	DADOS E ELEMENTOS DE BASE	3
2.1	ELEMENTOS DE BASE	3
2.2	CRIAÇÃO DE DADOS DE BASE	5
3	CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CONCELHO DE OEIRAS.....	10
3.1	ENQUADRAMENTO GERAL	10
3.2	BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	18
3.2.1	Ribeira de Algés	18
3.2.2	Rio Jamor	19
3.2.3	Ribeira de Barcarena.....	20
3.2.4	Ribeira de Porto Salvo.....	21
3.2.5	Ribeira da Laje	23
3.2.6	Outras linhas de água	24
4	SELECÇÃO DE SECÇÕES DE REFERÊNCIA	26
5	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO REGIME DE CHEIAS	27
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	27
5.2	PERÍODOS DE RETORNO	29
5.3	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	30
5.4	CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE CHUVADAS INTENSAS	32
5.4.1	Considerações gerais.....	32
5.4.2	Precipitação máxima diária anual para vários cenários de ocorrência.....	33
5.4.3	Análise da distribuição temporal (para curtas durações) da precipitação diária.....	35
5.4.4	Hietogramas de projecto	35
5.5	NÚMERO DE ESCOAMENTO	36
5.6	MODELO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA.....	38
5.7	APLICAÇÃO DO MODELO HEC-HMS. ESCOLHA DO CENÁRIO DE PRECIPITAÇÃO	39
6	CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO REGIME DE CHEIAS.....	43

6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	43
6.2	DADOS DE BASE UTILIZADOS NA APLICAÇÃO DO MODELO HEC-RAS	44
6.2.1	Configuração geométrica da rede hidrográfica.....	44
6.2.2	Coefficientes de perda de carga.....	44
6.2.3	Caudais circulantes	45
6.2.4	Condições de fronteira a jusante.....	45
6.3	RESULTADOS DO MODELO HEC-RAS	45
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
8	BIBLIOGRAFIA	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	– Carta de Declives	7
Figura 2.2	– Número de escoamento.....	8
Figura 2.3	– Densidade de drenagem	9
Figura 3.1	– Delimitação do Concelho de Oeiras	10
Figura 3.2	– Precipitação mensal (mm) (Fonte - Projecto de Regularização do Rio Jamor).....	10
Figura 3.3	– Principais sub-bacias hidrográficas do Concelho de Oeiras	11
Figura 3.4	– Vista 3D das Bacias e Rede Hidrográfica	12
Figura 3.5	– Concelho de Oeiras. Mapa hipsométrico	13
Figura 3.6	– Principais unidades geológicas do Concelho de Oeiras.....	14
Figura 3.7	– Evolução da Ocupação e Uso do Solo, entre 1947 e 2009 (Fonte: Atlas de Oeiras).....	15
Figura 3.8	– Evolução da área edificada na ribeira da Laje (Retirado de “Avaliação Ex-Post de Medidas Não-estruturais de Defesa contra Cheias na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Laje”, Saraiva G.; Correia, Nunes; Carmo, Victor.....	16
Figura 3.9	– Ocupação e Uso do Solo nas sub-bacias do concelho de Oeiras.....	17
Figura 3.10	– Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira de Algés (Linha de água principal).....	18
Figura 3.11	– Rectângulo Equivalente e Perfil do Rio Jamor (Linha de água principal).....	19
Figura 3.12	– Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira de Barcarena (Linha de água principal)	21
Figura 3.13	– Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira de Porto Salvo (Linha de água principal)	22
Figura 3.14	– Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira da Laje (Linha de água principal).....	23
Figura 4.1	– Bacia da rib ^a de Algés. Exemplo da topologia para modelação hidrológica.....	26
Figura 5.1	– Postos meteorológicos (Fonte – SNIRH)	32
Figura 5.2	– Precipitações diárias para vários períodos de retorno	34
Figura 5.3	– Chuvada de 6 horas. Hietogramas para o período de retorno de 100 anos	36
Figura 5.4	– Caudais de ponta de cheia. Comparação com estudos e projectos anteriores.....	42

INDICE DE TABELAS

Tabela 3.1	- Principais características das linhas de água do Concelho de Oeiras	12
Tabela 5.1	– Caudais máximos registados nas 4 estações hidrométricas da região.....	28

Tabela 5.2 – Precipitações diárias deduzidas por aplicação de curvas i-d-f	33
Tabela 5.3 – Precipitações diárias máximas anuais em postos meteorológicos. Ajustamento da lei Pearson III .	33
Tabela 5.4 – Sub-bacias hidrográficas. Números de escoamento	37

Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com Decreto- Lei n.º 115/2010

RELATÓRIO FINAL

VOLUME 1 – CARACTERIZAÇÃO do Regime de cheias no concelho de oeiras. síntese

1 INTRODUÇÃO

Na sequência das cheias repentinas ocorridas em Novembro de 1983 na zona da Grande Lisboa foram efectuados diversos estudos de avaliação dos efeitos e detecção das causas que originaram avultados danos. Estes trabalhos prosseguiram com a formulação de uma vasta gama de medidas estruturais e não estruturais que tem vindo a ser implementadas.

No que respeita ao primeiro tipo de actuação, e analisando as linhas de água do Concelho de Oeiras, foram elaborados (para o INAG/PCCRL) projectos de regularização fluvial e defesa contra cheias para as ribeiras de Algés, Jamor, Barcarena, Porto Salvo e Laje, cujas intervenções (beneficiação da geometria dos leitos com aumento da capacidade de vazão, confinamentos laterais, criação de bacias de retenção, etc.) têm vindo a ser executadas, embora parcialmente.

Relativamente às medidas não estruturais, foram levadas a cabo inúmeras propostas que visaram o desenvolvimento de um modelo de ordenamento de bacias hidrográficas com significativa ocupação urbana e elevada vulnerabilidade ao fenómeno de cheias repentinas, que culminaram com a definição da Zona Adjacente (figura jurídica prevista na legislação do domínio público hídrico) em vários cursos da água, tendo sido publicados quatro, das quais duas atravessam o Município de Oeiras: Ribeira da Laje (Decreto Regulamentar n.º 45/86 de 26/9) e Rio Jamor (Portaria n.º 105/89 de 15/2).

Assim, para o caso das linhas de água do município de Oeiras, o zonamento e a regulamentação do uso do solo nas zonas inundáveis foram incorporados e integrados no respectivo Plano Director Municipal (1995), actualmente em vigor.

Nesta nova fase de revisão do PDM de Oeiras e do Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil, afigura-se absolutamente pertinente a reavaliação e actualização dos estudos hidrológicos e hidráulicos de caracterização do fenómeno das cheias no município que, em consonância com a análise da evolução da ocupação urbana em leitos de cheias, constitui uma verdadeira avaliação “ex-post” das áreas adjacentes da

Laje e Jamor e das zonas inundáveis das restantes linhas de água do concelho, decorridas já mais de duas décadas.

O objectivo mais abrangente desta avaliação, e para além da revisão e actualização da delimitação das zonas afectadas pelas cheias (tendo em consideração a evolução da ocupação), incide na análise da forma como as recomendações e propostas desenvolvidas foram implementadas e seguidas, bem como sobre o grau de eficácia das medidas de restrição da ocupação urbana em áreas inundáveis.

De acordo com o cronograma de trabalhos apresentado, o estudo desenvolve-se em três fases distintas:

- Fase 1 – Com a recolha e análise de elementos de base, actualização de dados e elaboração de fichas de levantamento e caracterização das passagens hidráulicas e singularidades e modelação hidrológica do regime de cheias.
- Fase 2 – Modelação hidráulica e delimitação das zonas inundáveis para vários cenários de ocorrência
- Fase 3 – Relatório final e cartografia com a análise criteriosa dos resultados discriminados por zonas naturais, zonas urbanas e mistas e elaboração das memórias e peças desenhadas

A 1ª fase do trabalho, correspondendo à elaboração do Relatório Preliminar, englobou as seguintes tarefas principais:

1. A recolha e análise de elementos de base e de projectos e estudos hidrológicos e hidráulicos já efectuados para a região.
2. A caracterização fisiográfica das linhas de água (no interior do Concelho de Oeiras), com a identificação de secções críticas e singularidades que, posteriormente, foram objecto de trabalhos de reconhecimento, levantamento topográfico e validação.
3. A apresentação da metodologia a aplicar na simulação hidrológica do regime de cheias nas bacias hidrográficas em estudo, com a identificação de cenários alternativos para o estabelecimento das chuvadas associadas a vários períodos de retorno e das condições iniciais de humidade de água no solo.

Nesse relatório foi apresentada a metodologia proposta para a simulação hidrológica do fenómeno das cheias que ocorrem no Concelho de Oeiras e, igualmente, foram estabelecidos cenários alternativos para a caracterização das chuvadas críticas e de condições iniciais de humedecimento do solo, a submeter à apreciação e decisão da Câmara Municipal de Oeiras (CMO). Após essa fase de apreciação e decisão por parte da CMO, definiu-se o cenário a adoptar e, assim, pôde avançar-se para as simulações hidrológicas e, posteriormente, para a análise hidráulica com a delimitação das áreas inundáveis, trabalhos esses que correspondem às Fases 2 e 3 e que são objecto deste Relatório Final.

É de referir que foram analisadas, para o cenário de precipitação escolhido pela CMO, as situações de humedecimento médio e máximo anteriores do solo e, dentro de cada uma delas, para 4 diferentes períodos de retorno – 20, 50, 100 e 500 anos -, de forma a que a CMO possa, na posse destes 8 cenários, mais facilmente elaborar as suas cartas seguindo as determinações do DL 115/2010.

2 DADOS E ELEMENTOS DE BASE

2.1 ELEMENTOS DE BASE

Para efeitos de realização deste trabalho são necessários vários elementos de base, tendo a CMO disponibilizado toda a informação que tinha. A partir dos mesmos foi possível criar vários dados que serviram de base aos estudos a desenvolver, bem como a realização das Fichas de Campo, que se anexam a este Relatório. Dos vários elementos, destacam-se os seguintes:

- Cartografia do concelho de Oeiras à escala 1:2000 (Vôo de Abril de 2010);
- Cartas de Solos, Folhas 416, 417, 430 e 431 obtidas por conversão analógico-digital da Carta Complementar de Solos 1:25 000, propriedade do DGADR, correspondente às séries editadas pelo SROA/CNROA/IEADR e existente na Divisão da Gestão do Regadio e da Qualidade da Água da DGADR; Escala 1:25000; Sistema de projecção de Gauss - Elipsóide Internacional - Datum de Lisboa e coordenadas militares usadas pelo IGeoE;
- Carta de Uso e Ocupação do Solo, Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007, Instituto Geográfico Português, Sistema de Referência PT-TM06/ETRS89;
- Carta Geológica, Folhas 416, 417, 430 e 431, Área Metropolitana de Lisboa, I.N.E.T.I. e U.N.L., Escala 1:25000; Sistema de projecção de Gauss - Elipsóide Internacional - Datum de Lisboa e coordenadas militares usadas pelo IGeoE;
- Carta do Número de Escoamento obtida a partir da Carta de Solos e Carta de Uso e Ocupação do Solo;
- Rede de Drenagem obtida a partir Cartografia do Concelho de Oeiras à escala 1:2000;
- Cartas Militares n.º 416, 417, 430 e 431, Instituto Geográfico do Exército, Escala 1:25000; Sistema de projecção de Gauss - Elipsóide Internacional - Datum de Lisboa e coordenadas militares usadas pelo IGeoE;
- Levantamentos de campo efectuados, que serviram para caracterizarem as diversas singularidades bem como linhas de água em estudo;
- Estudos e Projectos no DEP e DPGU da CM Oeiras, nomeadamente:

— Bacia da Ribeira de Algés

- Regularização da Linha de Água da Quinta de St.º António em Algés

- Bacia da Ribeira da Junça
 - Inundações no Dafundo – Estudo de Diagnóstico Técnico
 - Inundações no Dafundo – Projecto de Execução
 - Duplicação da Ribeira da Junça 2ª Fase (Inundações no Dafundo) – Projecto de Execução
 - Duplicação da Ribeira da Junça 2ª Fase (Inundações no Dafundo) – Projecto de Execução – Nota Técnica de Substituição de desenhos do Proj. Exec.

- Bacia do Rio Jamor
 - Regularização do Rio Jamor e da Ribeira da Falagueira – Estudo Prévio – Vol.1, Tomo I, MDJ
 - Regularização do Rio Jamor e da Ribeira da Falagueira – Estudo Prévio – Nota Técnica – Estudo Hidrológico
 - Regularização do Rio Jamor e da Ribeira da Falagueira – Estudo Prévio – Vol.1, Tomo 1, Adenda

- Bacia da Ribeira da Laje
 - Regularização da Ribeira da Laje – Projecto de Execução – Vol.1 Tomo I MDJ
 - SP 4/2000 – Regularização da Ribeira da Laje

- Bacia de Porto Salvo
 - Regularização e Recuperação da Ribeira de Porto Salvo – Revisão e Actualização – Estudo Prévio. MDJ
 - Regularização e Recuperação da Ribeira de Porto Salvo – Revisão e Actualização – Desenhos

- Legislação diversa

- Outros

2.2 CRIAÇÃO DE DADOS DE BASE

Os dados de base são essenciais na determinação de caudais de cheia. Assim, torna-se importante que a sua criação seja feita com rigor a fim de produzir resultados mais correctos, como é o caso das cartas de declives, cartas com número do escoamento, entre outros.

Como dados de base, obtidos a partir dos elementos de base, enumeram-se o MDT, as Áreas das Bacias, Cartas de declives, Cartas com números de escoamento por bacia, entre outros.

- **Modelo Digital do Terreno (MDT)**

A Carta com o MDT foi obtida a partir da cartografia e informação altimétrica, após criação do modelo TIN. Este género de modelos digitais do terreno, como uma malha de triângulos irregulares adjacentes, mais conhecidos por TIN, do inglês "triangular irregular network", apresenta inúmeras vantagens, uma vez que permite representar superfícies de uma forma mais precisa e com menor volume de informação que outros modelos.

Para a construção da Rede Irregular de Triângulos para a área de estudo foram utilizados os dados seguintes:

Concelho	Entidades	Escala	Sistema de Coordenadas	Fonte
Oeiras	Linhas de Rotura Pontos Cotados Muros de Suporte Estradas Hidrografia	1:2000	PT-TM06/ETRS89	Município
Amadora	Curvas de nível (equidistância 1m) Pontos Cotados Hidrografia	1:1000	Hayford-Gauss Datum 1973 transformado para PT-TM06/ETRS89	C.M. Amadora
Cascais	Curvas de nível (equidistância 5m) Pontos Cotados Hidrografia	1:5000	PT-TM06/ETRS89	Município
Lisboa	Curvas de nível (equidistância 5m) Pontos Cotados Hidrografia	1:5000	PT-TM06/ETRS89	Município
Sintra	Curvas de nível (equidistância 5m)	1:5000	PT-TM06/ETRS89	Município

Pontos Cotados

Hidrografia

Como os dados tinham várias origens, com escalas e sistemas de coordenadas diferentes, houve necessidade de compatibilizar previamente toda a informação cartográfica para o mesmo sistema de coordenadas e para o nível de pormenor pretendido.

Com base na Rede Irregular de Triângulos, construiu-se um Modelo Digital de Terreno Matricial com resolução de 5 metros que esteve na origem dos temas derivados.

- **Carta com Áreas das Bacias**

A Carta com delimitação das bacias hidrográficas das várias linhas de água, foi obtida com base no Modelo Digital de Terreno Matricial, tendo-se obtido automaticamente através da ferramenta de modelação hidrológica “r.basins.fill” do *software* GRASS e ajustadas manualmente com o apoio das curvas de nível nas áreas mais complexas.

- **Carta de Declives**

A Carta de declives, foi obtida automaticamente através da ferramenta r.slope.aspect.slope do *software* GRASS, com uma resolução de 5m e foi obtida a partir do MDT matricial elaborado anteriormente. O cálculo dos declives foi efectuado em percentagem e em graus.

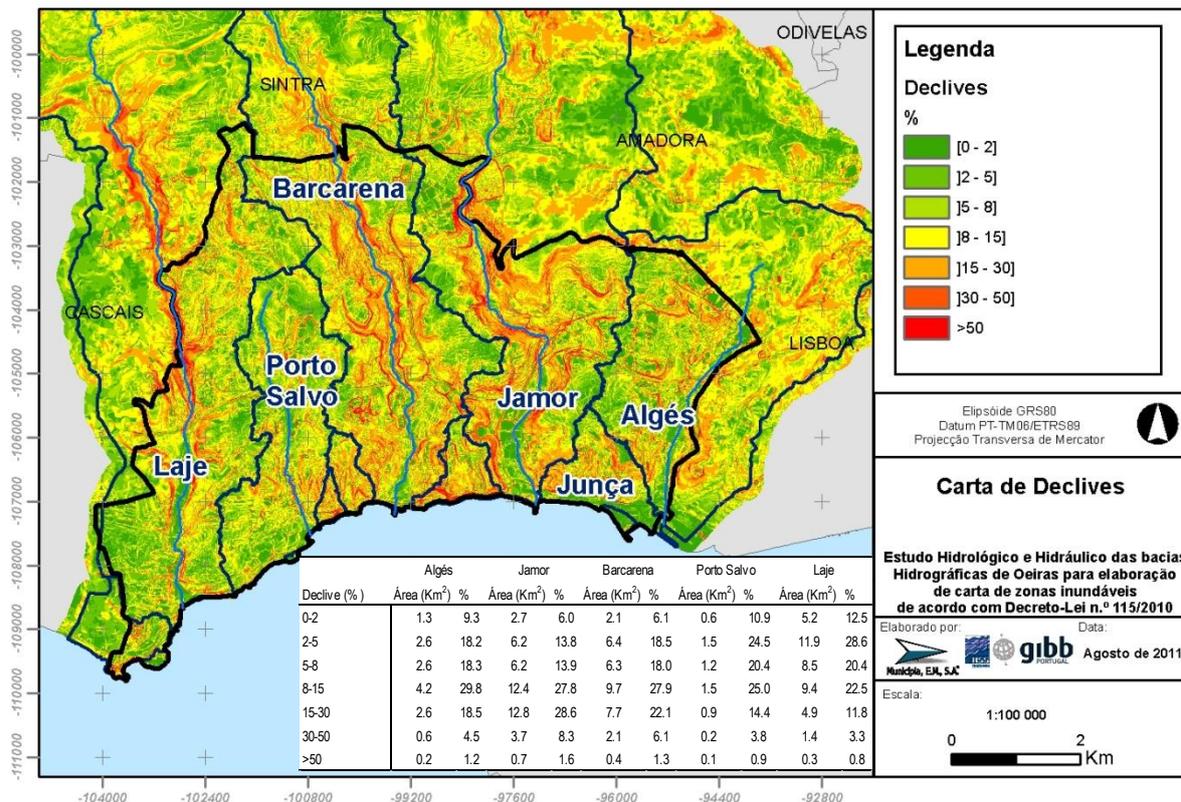


Figura 2.1 – Carta de Declives

- **Números de Escoamento (CN)**

A Carta com o número de escoamento (CN II) foi obtida com base nas cartas dos tipos de solo, do grupo hidrológico do solo, das condições de erodibilidade do solo e ainda de uma tabela que estabelece a relação entre os vários factores.

A partir dessa informação, será possível determinar para cada bacia e sub-bacia o valor ponderado do CN para condições médias de humedecimento do solo AMC II (sendo AMC acrónimo de “*antecedent moisture conditions*”)

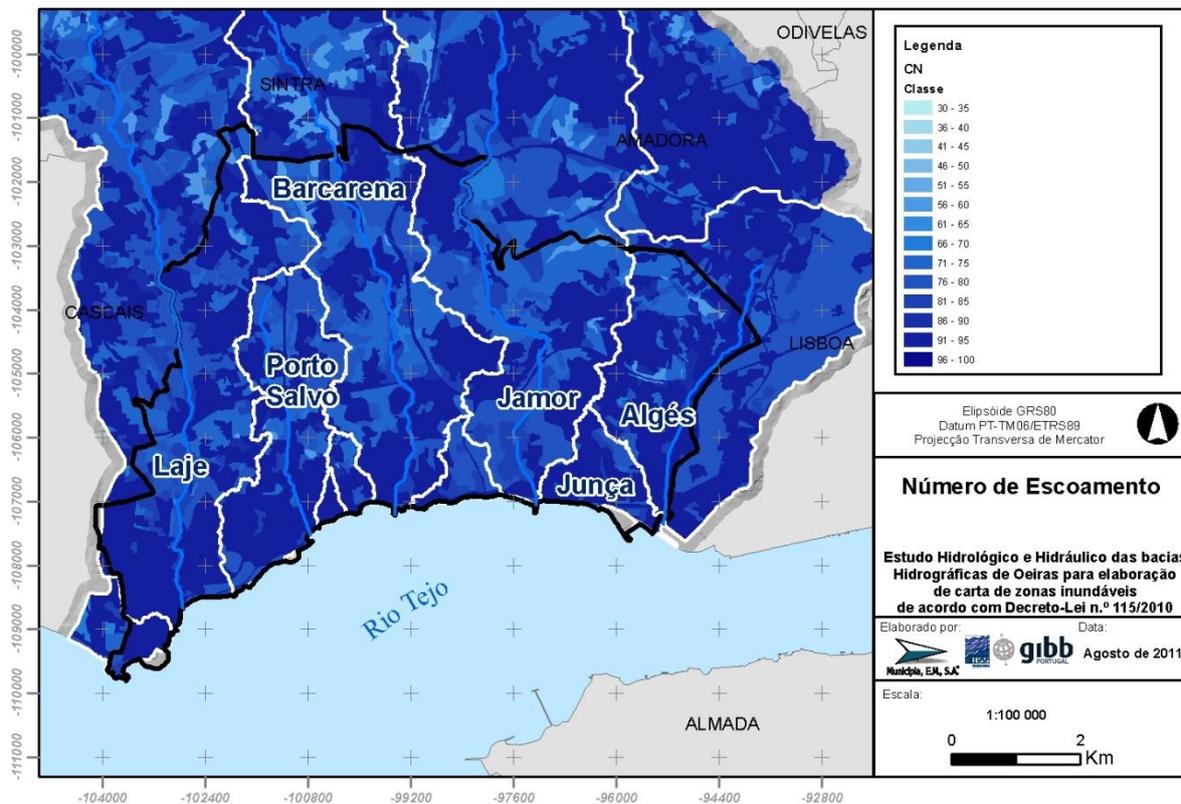


Figura 2.2 – Número de Escoamento

- **Densidade de Drenagem**

A Carta com a Densidade de Drenagem foi construída com base nos temas de hidrografia identificados anteriormente sobre uma grelha de 250 por 250 metros.

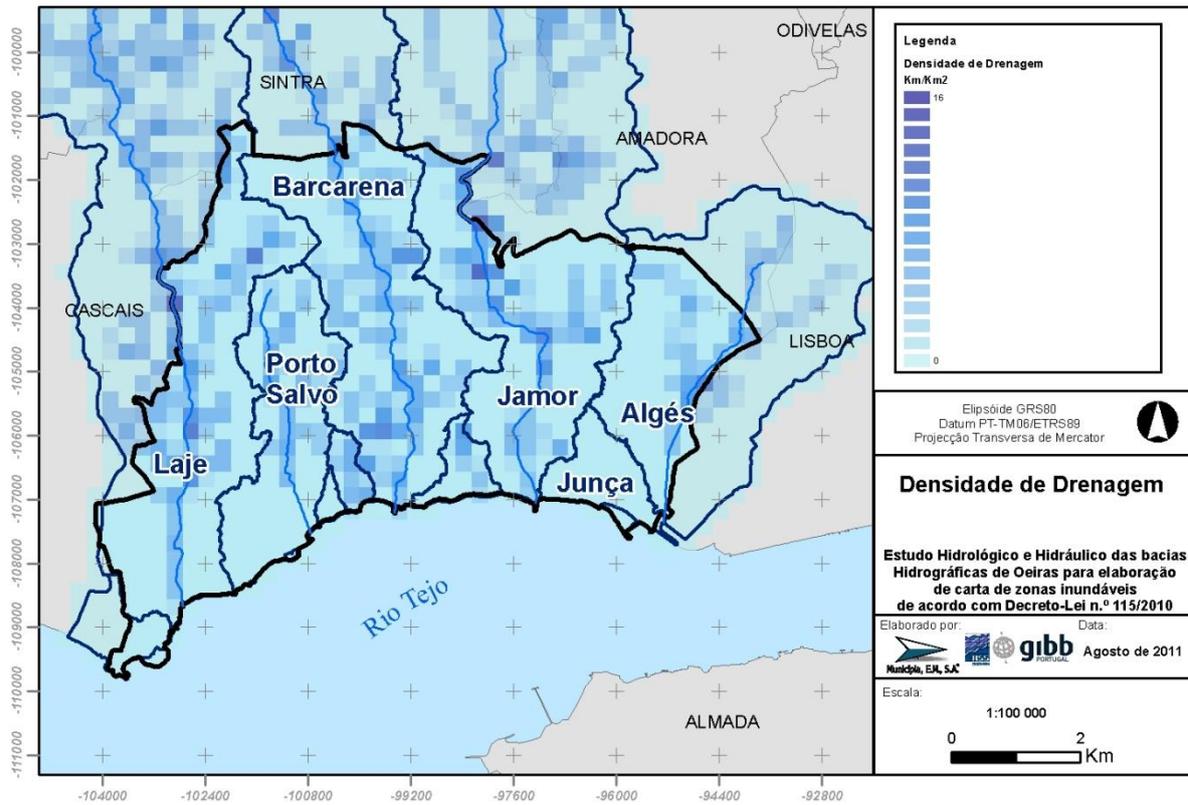


Figura 2.3 – Densidade de Drenagem

3 CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CONCELHO DE OEIRAS

3.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O município de Oeiras, integrado na Área Metropolitana de Lisboa, localiza-se a poente de Lisboa e tem o estuário do rio Tejo como fronteira natural a sul, numa extensão de 9 km. O concelho, com uma área total de 46 km², confina a Norte com os municípios de Sintra e Amadora e a Oeste com o de Cascais.

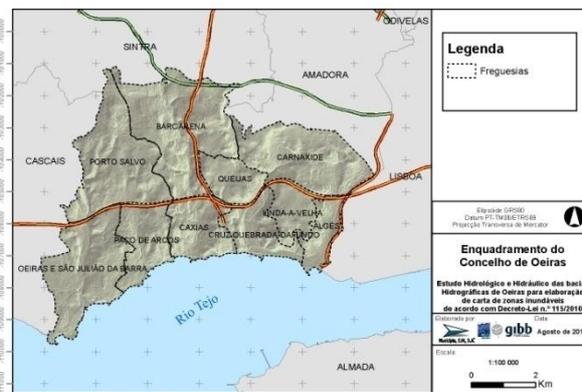


Figura 3.1 – Delimitação do Concelho de Oeiras

A precipitação anual média é da ordem de 800 mm. No semestre húmido (Out-Mar) concentra-se cerca de 77% da precipitação anual.

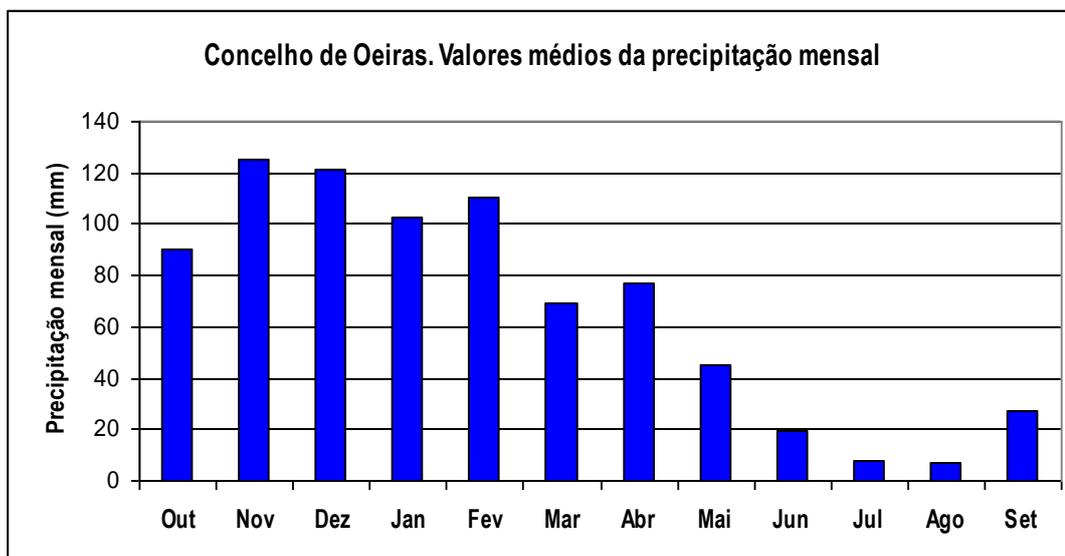


Figura 3.2 – Precipitação mensal (mm) (Fonte - Projecto de Regularização do Rio Jamor)

A temperatura média anual é da ordem de 16,7º e os ventos predominantes são de Norte.

A morfologia do terreno é marcada pelas bacias hidrográficas dos cinco cursos de água principais que atravessam o Concelho no sentido Norte-Sul e desaguam no estuário do Tejo: ribeira de Algés, rio Jamor e as ribeiras de Barcarena, Porto Salvo e Laje.

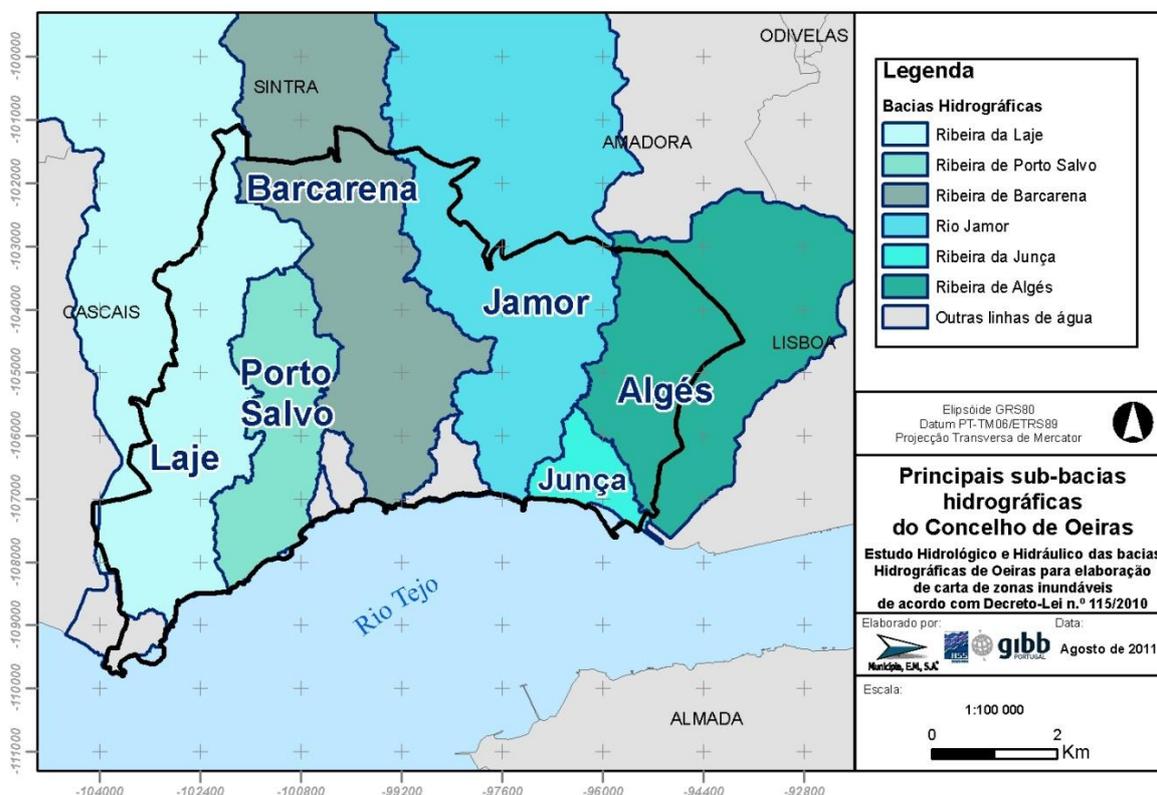


Figura 3.3 – Principais sub-bacias hidrográficas do Concelho de Oeiras

Na tabela seguinte apresentam-se as características gerais das principais linhas de água do Concelho:

	Algés	Jamor	Barcarena	Porto Salvo	Laje
Area total da bacia hidrográfica (km ²)	14,0	44,69	34,7	4,86	41,60
Perímetro da bacia hidrográfica (km)	19,35	44,9	50,4	17,7	46,64
Comprimento da linha de água principal (km)	4,67	14,74	19,27	4,18	17,26
Cota máxima da bacia	215	342	332	148	228
Cota mínima da bacia	0	0	0	0	0
Altura média da bacia (m)	94,5	169,26	160,0	72,9	132,2
Cota máxima do curso de água	130,06	221,7	281,55	125	198
Cota mínima do curso de água	0	0	0	0	0
Declive médio do curso de água principal (%)	1,9	1,49	1,42	2,64	1,16
Relação de Bifurcação Média	5,57	3,14	4,10	3,17	4,16
Índice de compacidade de Gravelius	1,45	1,88	2,40	2,31	2,05
Factor de forma	0,27	0,15	0,09	0,23	0,16
Rectângulo Equivalente					
Comprimento (km)	7,9	20,2	23,7	8,3	21,4
Largura (km)	1,8	2,2	1,5	0,6	1,9
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,85	1,96	1,99	1,84	1,48
Número de escoamento (condições AMCII)	87	82	82	88	86

	Algés	Jamor	Barcarena	Porto Salvo	Laje
Sub-bacia no Concelho de Oeiras:					
Area da bacia (km ²)	5,35	9,20	10,52	4,86	9,77
Comprimento da ribeira (km)	4,17	7,34	7,13	4,18	5,71
Cota máxima da bacia	165	197	180	148	182
Cota mínima da bacia	0	0	0	0	0
Cota máxima do curso de água	59,5	85,5	78,8	125	52
Cota mínima do curso de água	0	0	0	0	0
Declive médio do curso de água principal (%)	1,43	1,17	1,11	2,64	0,91

Tabela 3.1 - Principais características das linhas de água do Concelho de Oeiras

De um modo geral, estas linhas de água desenvolvem-se em vales relativamente encaixados, com interflúvios planos e encostas de declives acentuados (onde se registam as maiores pendentes do território municipal).

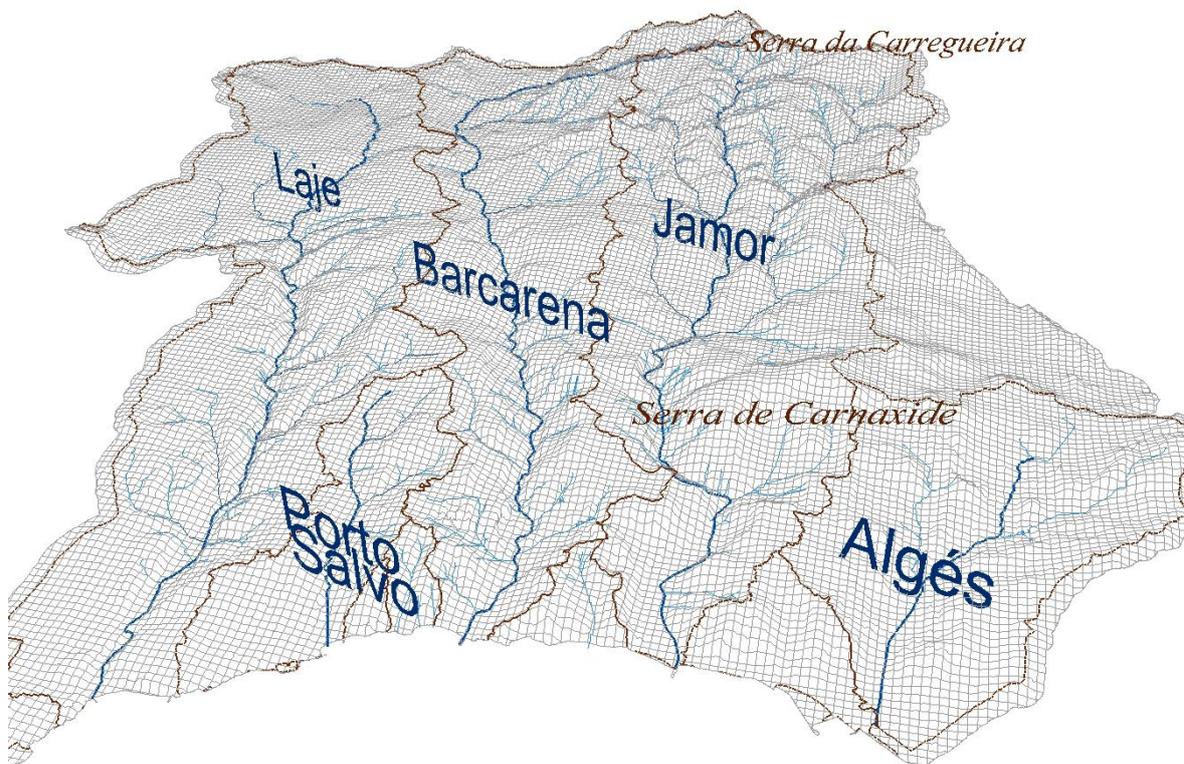


Figura 3.4 – Vista 3D das Bacias e Rede Hidrográfica

Em algumas zonas de Algés, de Linda-a-Velha e ainda em encostas do rio Jamor identificam-se zonas de elevado risco de erosão, com ocorrência (já verificada e potencial) de deslizamentos.

O relevo do concelho de Oeiras caracteriza-se por um ondulado suave de baixas altitudes, sendo na Serra de Carnaxide que se atinge a cota mais elevada (cota 197). Constitui, assim, a área mais importante em termos geomorfológicos. A par desta acrescentam-se outros elementos marcantes, como o Alto da Mama Sul, Alto dos Barrinhos, Alto do Montijo, Alto das Confeiteiras, Alto de Alfragide e Leceia.

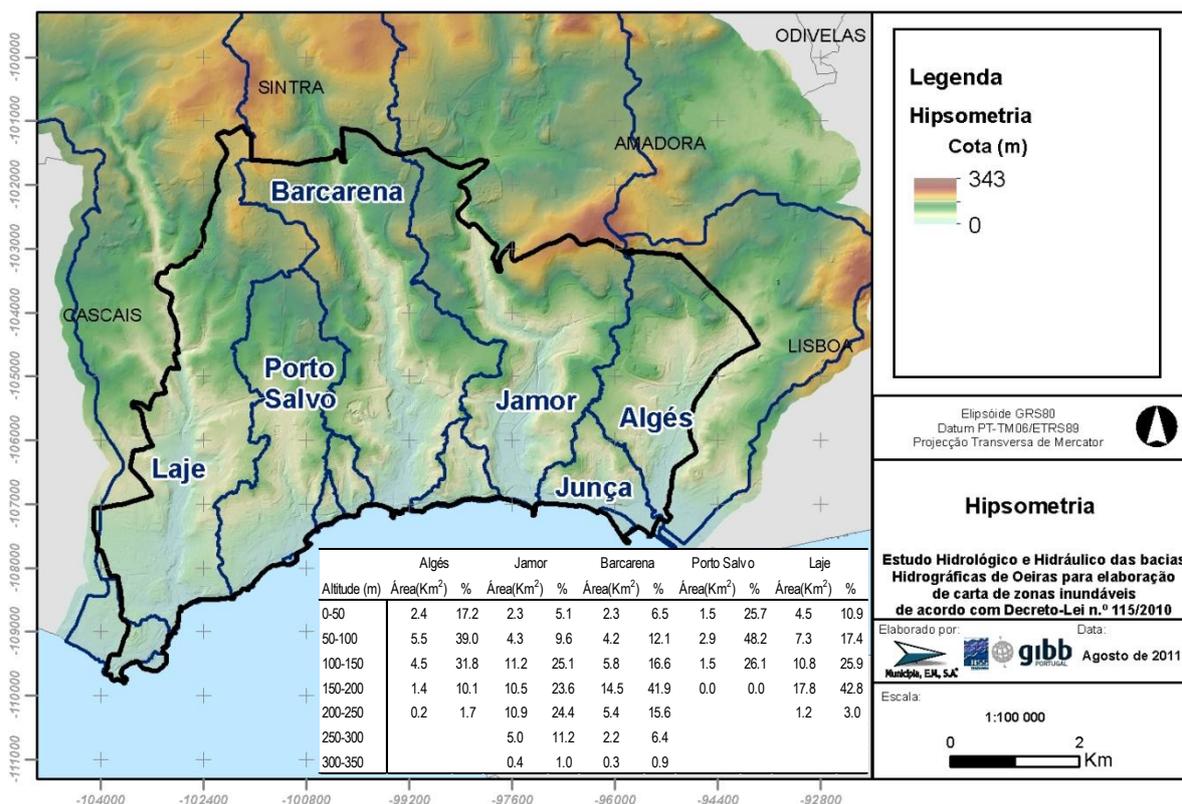


Figura 3.5 – Concelho de Oeiras. Mapa hipsométrico

A rede de drenagem do Concelho desenvolve-se em terrenos essencialmente basálticos, nomeadamente no manto basáltico. A constituição do complexo basáltico de Lisboa está representada na Serra de Monsanto (margem esquerda da ribeira de Algés), com derrames lávicos (basalto compacto) alternando com níveis de rocha menos compacta (brechas e tufo vulcânicos). Na bacia da ribeira de Algés aflora basalto compacto muito alterado e mesmo decomposto, constituindo solos escuros argilosos.

A meteorização dos basaltos conduz à formação de solos argilosos de baixa permeabilidade. O escoamento superficial das águas pluviais é intenso e não está condicionado pela estrutura da rocha, originando assim uma rede de drenagem dentrítica.

A espessura média do manto basáltico é da ordem de 70 m sobre calcários margosos e recifais que abundam na zona a Norte de Porto Salvo, em Leceia e Nova Barcarena e ainda ao longo das ribeiras da Laje, Porto Salvo e Barcarena.

Os designados “Calcários de Entre-Campos” afloram na envolvente da vila de Oeiras, enquanto a formação argilosa dos Prazeres é significativa junto ao litoral, entre as ribeiras de Porto Salvo, Barcarena, Jamor e Algés.

Referem-se ainda as aluviões confinadas ao leito maior das ribeiras, colmatando os fundos dos vales.

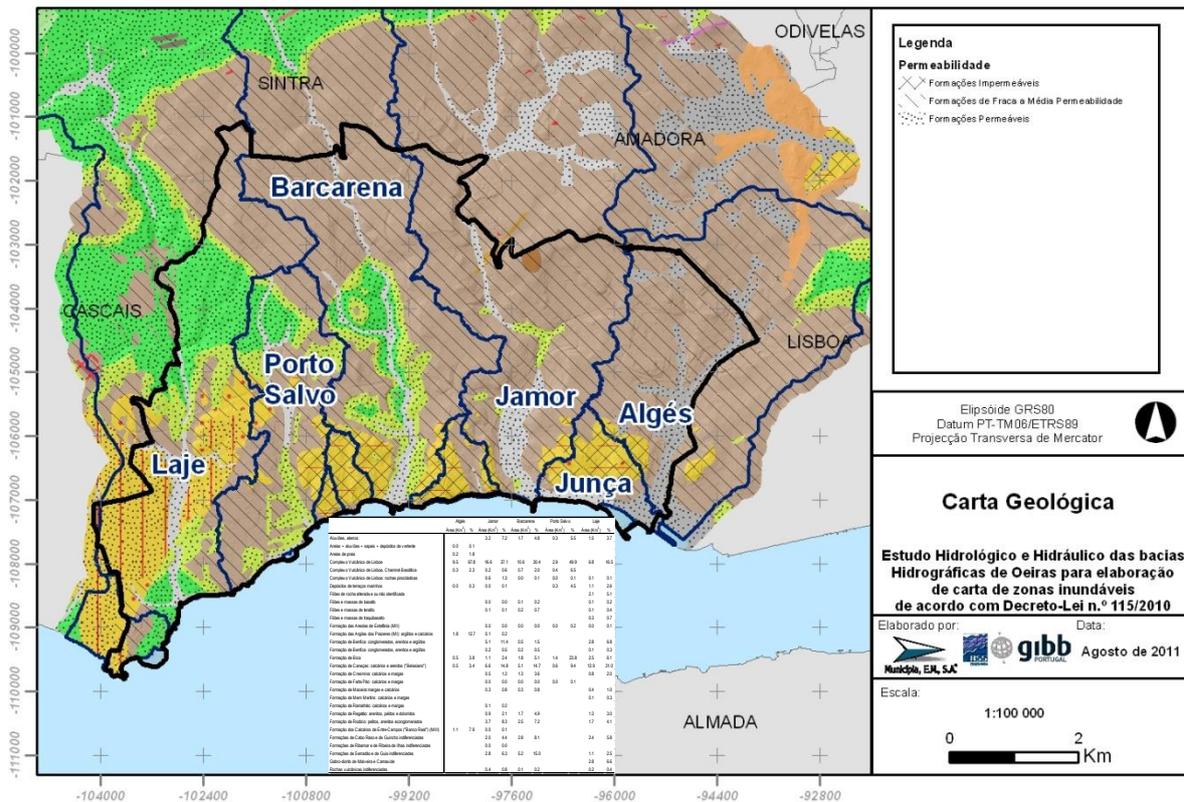


Figura 3.6 – Principais unidades geológicas do Concelho de Oeiras

Os vales dos cursos de água, com solos de boa aptidão agrícola, ditaram o carácter marcadamente rural do Concelho até há poucas décadas. Esta situação alterou-se significativamente nos últimos anos, não só pela pressão imobiliária ditada pela proximidade de Lisboa, mas também pela dinâmica de desenvolvimento conduzida pelo Município, com a criação de vários pólos industriais e parques tecnológicos, a par da expansão de áreas residenciais, bem como áreas verdes e equipamentos de diversos tipos.

O intenso crescimento dos aglomerados urbanos, embora efectuado, de um modo geral, de forma ordenada e integrada, contribuiu significativamente para o aumento da vulnerabilidade do concelho aos riscos de cheia. Com efeito, o aumento da área impermeável potencia o escoamento superficial (com diminuição dos fenómenos de intercepção, retenção e infiltração) e favorece a aceleração da afluência da água precipitada

ao meio hídrico (maiores velocidades do escoamento em meio urbano), traduzindo-se na ocorrência de cheias repentinas com elevados caudais de ponta.

A figura seguinte corresponde aos diferentes tipos de ocupação e uso do solo, e à respectiva variação percentual ao longo das décadas consideradas no Concelho de Oeiras.

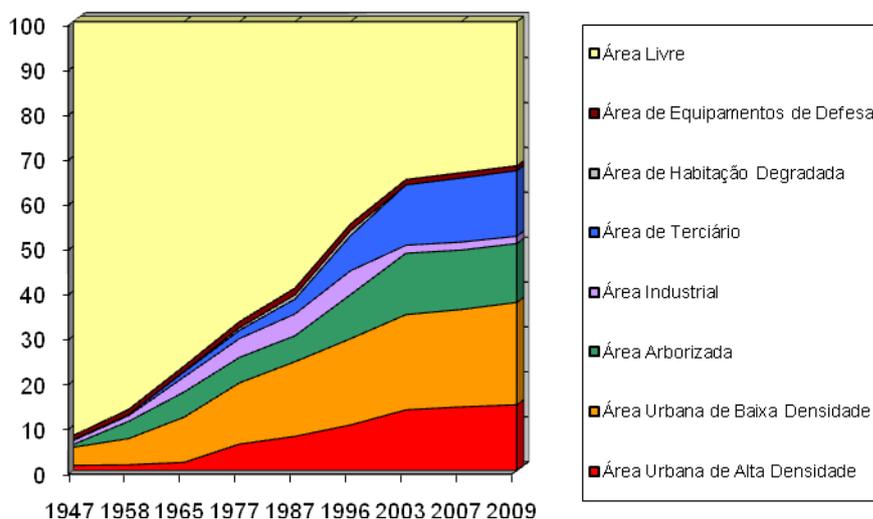


Figura 3.7 – Evolução da Ocupação e Uso do Solo, entre 1947 e 2009 (Fonte: Atlas de Oeiras)

Da análise destes dados, verifica-se que a Área Livre tem vindo a diminuir ao longo destes últimos 50 anos, muito principalmente por via da expansão urbana. Assim, desde 1947, quando a Área Livre representava mais de 90% do território do Concelho de Oeiras, até 2009, quando este valor não vai além de 32%, a redução tem ocorrido à razão de 10% por década. Apesar disso e até 1996, a Área Livre continuou a ocupar a maior superfície do território de Oeiras (14,75 km²) e só a partir dessa data se verifica que a soma das restantes Usos do Solo ultrapassa o total da Área Livre.

A título exemplificativo, apresenta-se na figura seguinte a evolução da área edificada na ribeira da Laje, que triplicou em 3 décadas (1965 a 1994).

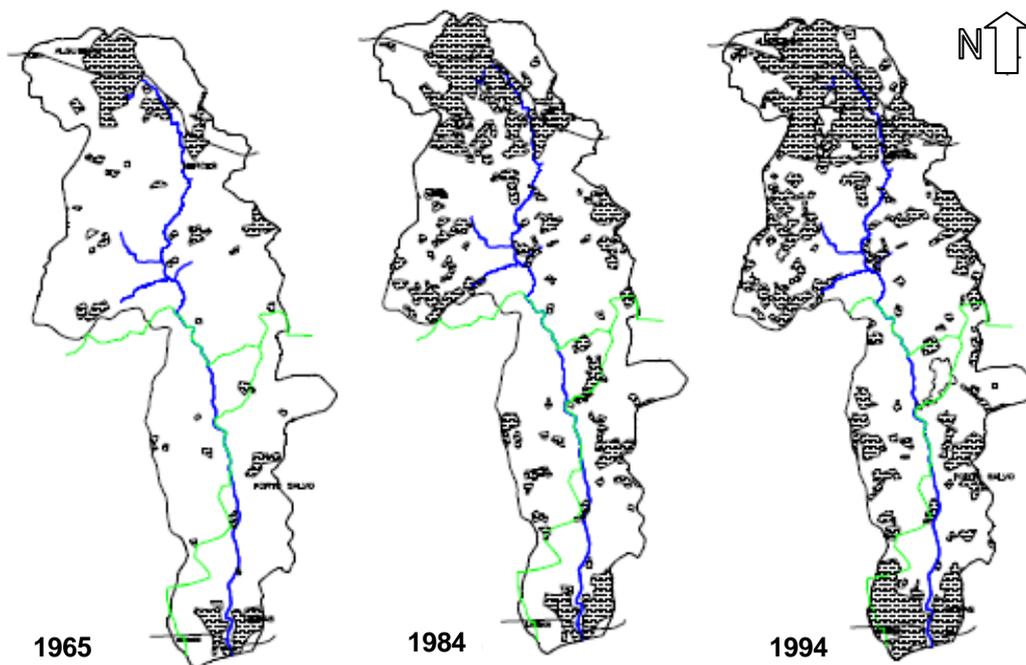


Figura 3.8 – Evolução da área edificada na ribeira da Laje (Retirado de “Avaliação Ex-Post de Medidas Não-estruturais de Defesa contra Cheias na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Laje”, Saraiva G.; Correia, Nunes; Carmo, Victor

Em 2007, o Concelho de Oeiras tem 48% do território ocupado pelas classes Tecido Urbano Contínuo (28%), Tecido Urbano Descontínuo (6%) e Indústria, Comércio e Serviço (14%), concentradas, principalmente, junto ao litoral entre Medrosa/Alto da Barra/Nova Oeiras e Caxias e no lado Este junto a Lisboa, entre Algés e Carnaxide, para além dos núcleos de Queijas/Linda-a-Pastora; Tercena/Queluz de Baixo; Porto Salvo/Casal da Choca e Taguspark.

Os maiores núcleos de concentração de Tecido Urbano Contínuo são: Nova Oeiras/Medrosa/Alto da Barra, Oeiras/St.º Amaro/Figueirinha, Paço de Arcos/Caxias, Cruz-Quebrada/Dafundo, Algés/Miraflores, Linda-a-Velha, Carnaxide, Outurela-Portela, Queijas, Porto Salvo. No que se refere ao Tecido Urbano Descontínuo destacam-se os núcleos do Casal da Choca; Murganhal; Norte de Carnaxide e Urbanização Cabanas Golf.

As áreas Industriais e de Comércio e Serviços concentram-se a Este do Concelho, junto a Lisboa e ao longo da A5 até Linda-a-Pastora, no Taguspark, em Queluz de Baixo e no Lagoas Park.

Em 2007, as áreas em expansão ocupavam 2% do território.

Relativamente aos Espaços Verdes Urbanos, esta classe passou, em 2007, a ocupar 4% do território. Destacam-se as áreas existentes nas Freguesias de Oeiras e Paço de Arcos, no lugar de Miraflores e na Urbanização Cabanas Golf.

A classe Matos e Espaços Vazios ocupava, em 2007, um total de 25% do território concelhio, com especial destaque para a Serra de Carnaxide.

No que concerne as Áreas Agrícolas, em 2007 ocupam 8% do território e localizam-se principalmente na ex-Estação Agronómica Nacional; a Sul da Urbanização Cabanas Golf até à Quinta da Moura e entre Valejas e Queijas.

A classe Espaço Florestal mantém-se nos 5% do território, concentrando-se no Centro de Desporto Nacional do Jamor.

Os Equipamentos Desportivos, Culturais e de Lazer também se mantêm, aproximadamente, nos 2% do território, concentrados na área do Centro de Desporto Nacional do Jamor.

A classe Redes Viárias e Ferroviárias e Espaço Associado ocupam 4% da área concelhia.

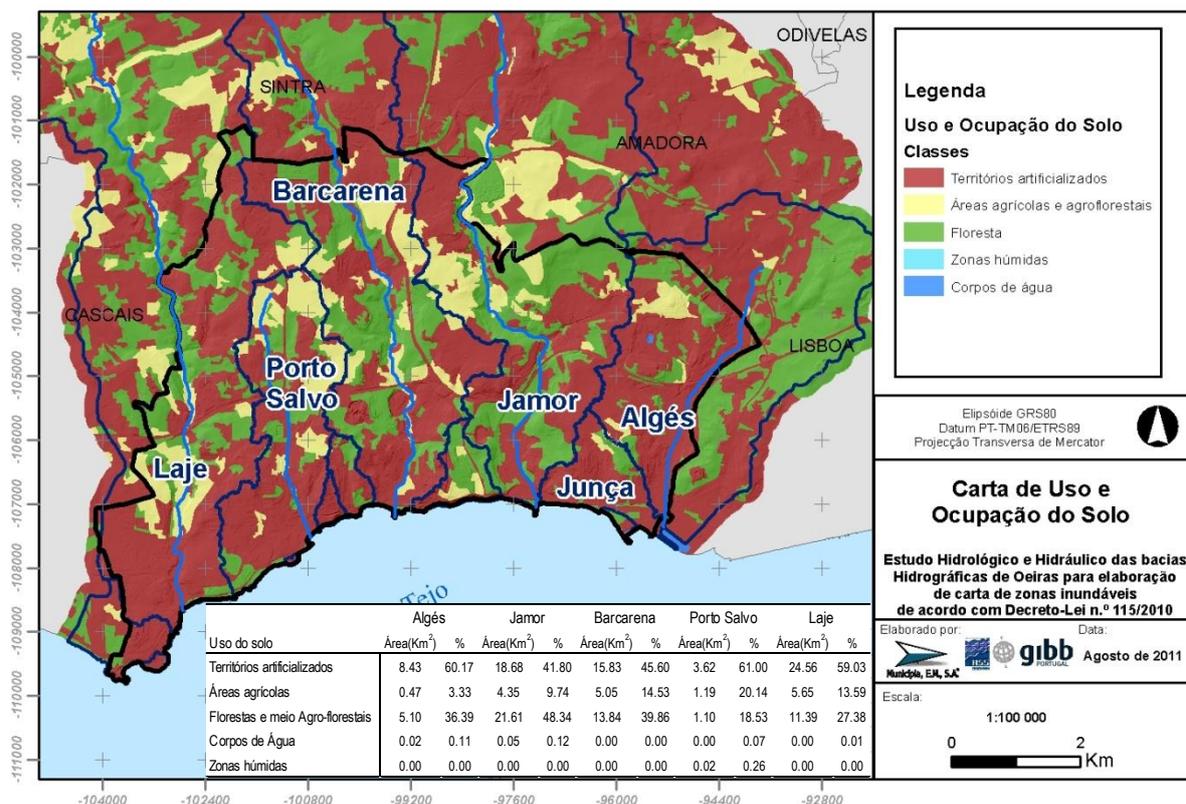


Figura 3.9 – Ocupação e Uso do Solo nas sub-bacias do concelho de Oeiras

3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

3.2.1 Ribeira de Algés

A ribeira de Algés tem origem no concelho da Amadora, na zona do Bairro do Zambujal, sendo a sua bacia dividida por 3 concelhos, Amadora, Lisboa e Oeiras. A bacia hidrográfica tem uma área total de cerca de 14 km², dos quais cerca de 5,35 km² são localizados no concelho de Oeiras.

A bacia tem uma orientação sensivelmente N-E para S-O, apresentando uma forma relativamente arredondada. É uma bacia em geral muito artificializada com excepção para a zona drenada da serra do Monsanto.

Em termos altimétricos verifica-se uma cota máxima na bacia hidrográfica de cerca de 215 na zona do Monsanto, e uma altura média de 103. O curso de água principal, com uma cota máxima de 88m, e uma extensão de cerca de 5 km, (4 km dos quais em Oeiras), tem um declive médio de 1,9 %.

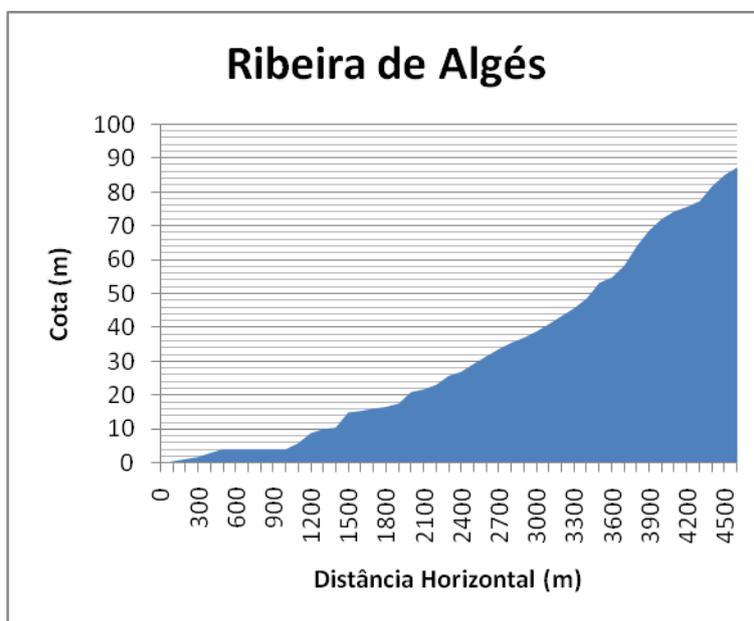
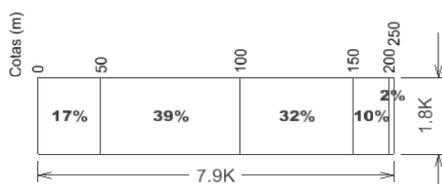


Figura 3.10 – Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira de Algés (Linha de água principal)

Tendo em conta que esta ribeira atravessa vastas zonas habitacionais e industriais, as linhas de água estão, também, muito artificializadas: em alguns troços revestidas com colchão Reno e muitas vezes confinadas entre muros de betão (atravessamento da zona industrial de Alfragide e Carnaxide), ou mesmo encanada, sendo poucos os trechos em que se encontra em estado natural. No último troço, com perto de 2km, o atravessamento de Algés é feito através do caneiro com o mesmo nome, prolongando-se até à foz.

3.2.2 Rio Jamor

A bacia hidrográfica do rio Jamor abrange parte dos concelhos de Sintra, Amadora e Oeiras, e desenvolve-se entre a encosta sul da Serra da Carregueira e o estuário do Tejo. Tem uma área total de 44,7 km² (dos quais 9,2 km² estão no concelho de Oeiras) e está delimitada a Este pelas ribeiras de Algés e de Alcântara, e a Oeste pela ribeira de Barcarena.

Apresenta uma orientação N-S, e uma forma alongada, com um índice de Gravelius igual 2,14. As cotas mais elevadas são da ordem do 342 e verificam-se nas cabeceiras próximo da povoação de D. Maria (221,7m no início da linha de água principal), sendo a altitude média da bacia de cerca de 169.

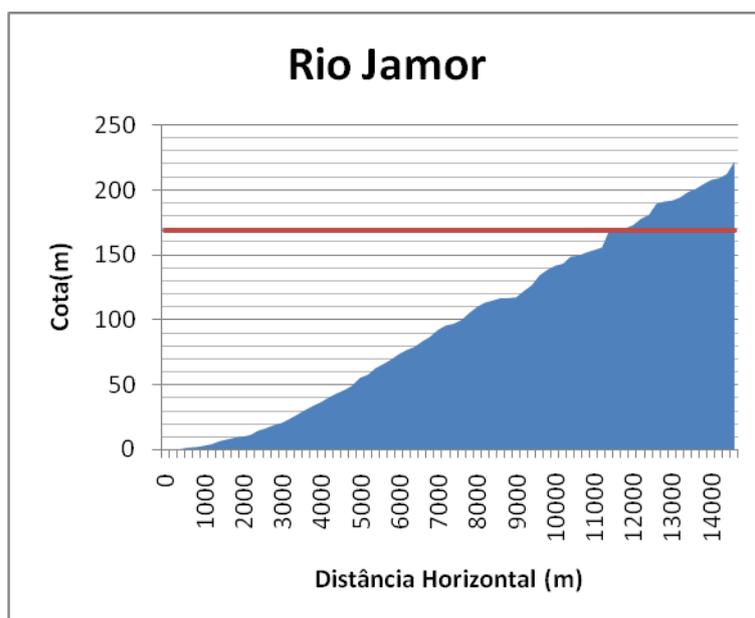
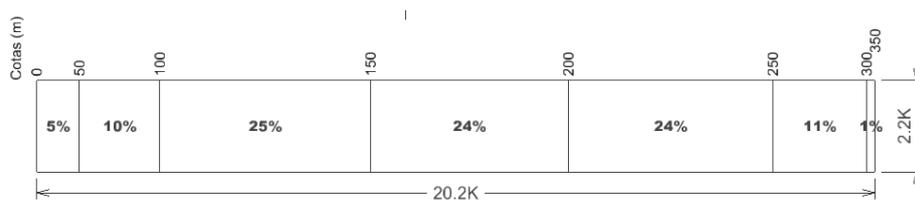


Figura 3.11 – Rectângulo Equivalente e Perfil do Rio Jamor (Linha de água principal)

O curso de água tem um desenvolvimento total de cerca de 15 km, dos quais 7,3 km são no concelho de Oeiras, com um declive médio de 1,5 %.

A densidade urbana nas zonas de cabeceira é ainda relativamente reduzida, verificando-se para jusante um aumento da mesma.

A linha de água está no geral bastante intervencionada, estando em muitos casos delimitada por muros de betão e de pedra, ou revestida com colchão Reno e enrocamento, como é o caso do troço final em que o rio atravessa o Estádio Nacional antes desaguar no estuário do rio Tejo na zona da Cruz Quebrada.

3.2.3 Ribeira de Barcarena

A ribeira de Barcarena desenvolve-se desde a serra da Carregueira até ao Estuário do rio Tejo, na localidade de Caxias. A bacia hidrográfica abrange de Sintra e Oeiras, e está localizada entre as bacias do rio Jamor a Este e das Ribeiras de Porto Salvo e Laje a Oeste, perfazendo uma área total de 34,7 km² (10,5 km² no concelho de Oeiras).

Tem uma forma marcadamente alongada estando orientada segundo o sentido N-S. Verifica-se alguma ocupação urbana nas zonas mais a jusante da bacia, sendo esta significativamente menor nas zonas de cabeceiras. As cotas mais elevadas estão situadas nas cabeceiras próximo da povoação da Portela, e são da ordem de 332.

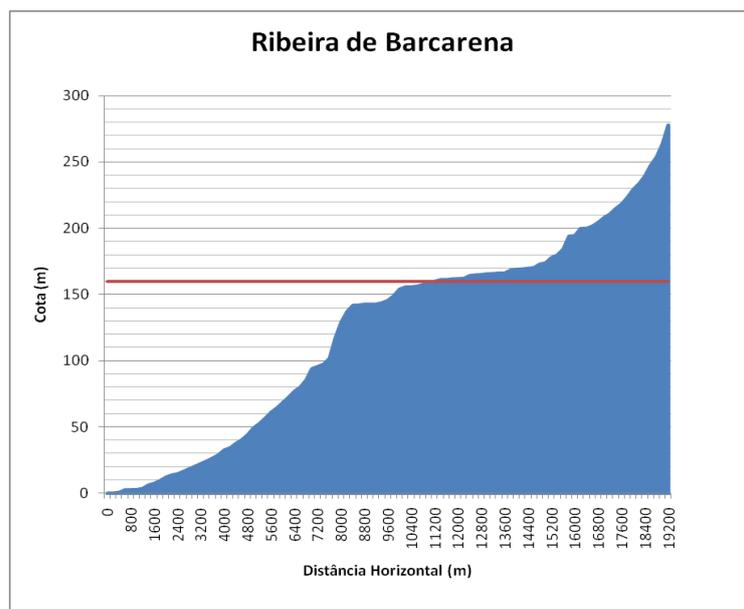
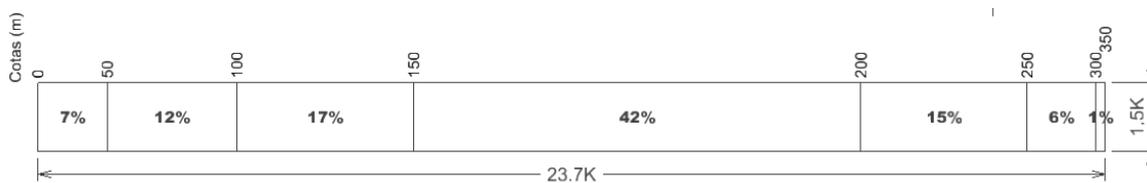


Figura 3.12 – Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira de Barcarena (Linha de água principal)

A linha de água principal desenvolve-se desde a cota 278 apresentando um declive médio de cerca de 1,4 %. No troço inicial a mesma apresenta uma orientação NE-SO, até à zona da Rinchoa onde sofre uma inflexão passando a ter uma orientação próxima de N-S. A partir desta zona o curso de água apresenta um traçado muito linear seguindo quase sempre junto à estrada Nacional 250. Para além disto em grande parte da sua extensão ela está delimitada por propriedade privadas, apresentando muitas zonas regularizadas, e principalmente confinadas, quer por muros de suportes de estradas, muros de propriedades, ou mesmo pelas próprias paredes de algumas edificações.

Nesta ribeira é visível em diversas zonas, inclusivamente em zonas muito urbanas, a ausência de manutenção e limpeza, existindo zonas em que o curso de água é obstruído praticamente na sua totalidade pela vegetação.

3.2.4 Ribeira de Porto Salvo

A bacia hidrográfica da Ribeira de Porto Salvo localiza-se integralmente no concelho de Oeiras, numa área de cerca de 5 Km², apresentando um regime torrencial devido não só às condições pluviométricas como pelo facto de grande parte do seu traçado ser um vale numa zona encaixada.

Caracterizada ainda pela forte pressão urbanística, a Ribeira de Porto Salvo encontra-se muitas vezes “pressionada” pela ocupação urbana.

Em termos gerais, a Ribeira de Porto Salvo apresenta alguns troços canalizados, outros a céu aberto em terreno natural ou troços regularizados com materiais diversos, desde enrocamentos, troços em betão, entre outros, apresenta passagens hidráulicas mal dimensionadas e/ou mal implantadas, troços obstruídos com sedimentos e/ou lixo, leitos ocupados com construções, existindo mesmo troços cujas margens do leito principal são paredes de casas e/ou muros de limites de propriedade, com ocupação dos leitos de inundação. Refira-se que está prevista a criação de duas bacias de retenção de forma a diminuir significativamente os riscos de cheia, já que a única existente (da Tapada do Mocho) por si só apenas atenua o problema das inundações.

A Ribeira de Porto Salvo tem uma orientação basicamente N-S, com nascente em Leião e foz no Rio Tejo, na zona de Paço de Arcos. Apresenta quase toda a extensão do seu traçado a céu aberto, sendo a zona de jusante, canalizada sob a zona densamente urbanizada de Paço de Arcos. Na secção final, apresenta uma bifurcação, apresentando deste modo, duas descargas no Rio Tejo.

A caracterização da bacia de Ribeira de Porto Salvo pode avaliar-se em vários aspectos, destacando-se preliminarmente a boa densidade de drenagem, com baixos percursos superficiais.

Outros aspectos relevantes da bacia do ponto de vista físico são a sua altitude máxima de cerca de 150m (108m no início da linha de água principal), o seu declive médio de, aproximadamente 8% (o que ilustra bem a grande declividade da bacia) e um declive do curso de água principal de cerca de 3%.

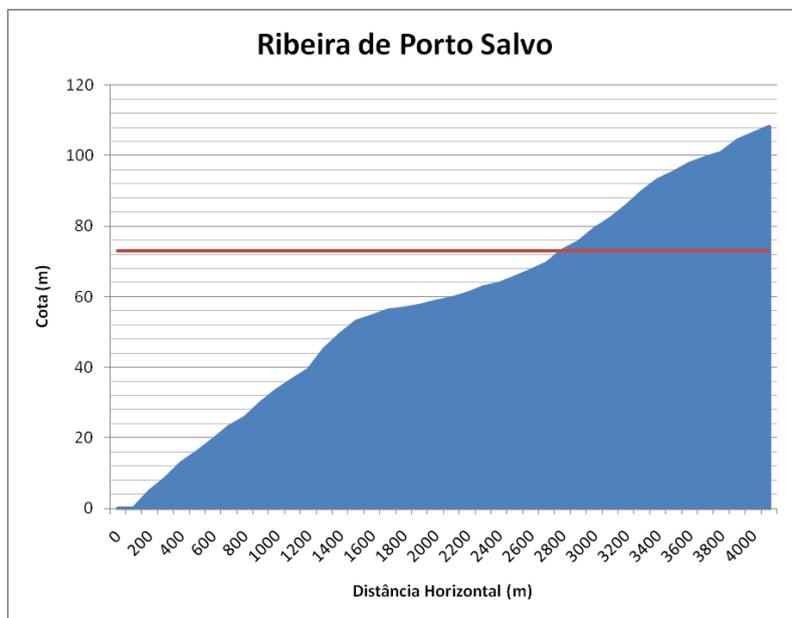
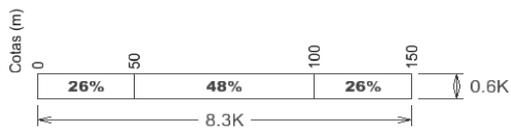


Figura 3.13 – Rectângulo Equivalente e Perfil da Ribeira de Porto Salvo (Linha de água principal)

3.2.5 Ribeira da Laje

A bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, abrange parte dos concelhos de Sintra, Cascais e Oeiras. Tem uma área de cerca de 41 Km² e desenvolve-se entre a encosta oriental da Serra de Sintra e o estuário do Tejo com orientação aproximada N-S.

Em termos altimétricos verifica-se uma cota máxima na bacia hidrográfica de cerca de 228 na zona de Mem-Martins e uma altura média de 131. O curso de água principal, com uma cota máxima de 202, e uma extensão de cerca de 14,8 km, (5,7 km dos quais em Oeiras), tem um declive médio de 1,11 %.

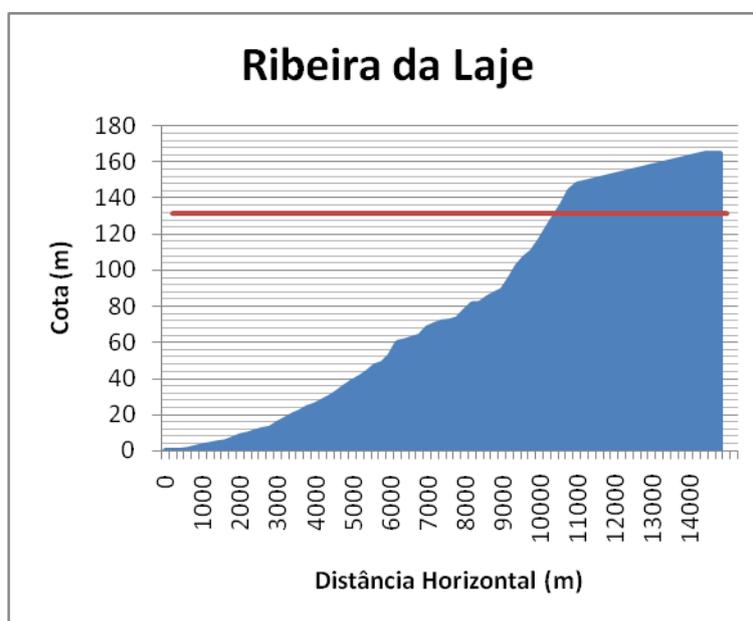
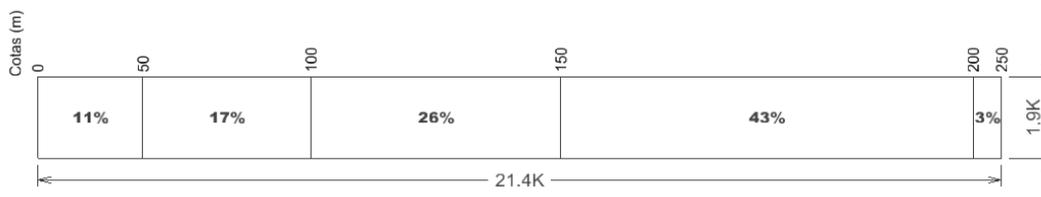


Figura 3.14 – Retângulo Equivalente e Perfil da Ribeira da Laje (Linha de água principal)

Trata-se de uma bacia hidrográfica marcada por fortes cheias acompanhadas pela inundação de zonas urbanas.

Ao longo de toda a ribeira, cujo comprimento total é sensivelmente de 14,8 Km, as cheias normalmente originam a escavação do fundo do leito e provocam estragos nos muros que confinam em grande parte do seu traçado. Esta situação é também ajudada pela forte inclinação do leito da ribeira. As cheias têm também como consequência nefasta o arrastamento de todo o tipo de detritos que depois ficam acumulados nos terrenos marginais e nas zonas menos inclinadas da própria linha de água.

As condições do leito da ribeira ao longo de todo o seu desenvolvimento são bastante diversificadas, encontrando-se alguns troços em que, em resultado da ocupação do leito de cheia, as secções transversais são manifestamente insuficientes para garantir o escoamento dos caudais de ponta, correspondentes à cheia de projecto.

À semelhança do que também ocorre na Ribeira de Porto Salvo, em toda a ribeira pode verificar-se, em geral, uma quase total ausência de manutenção e limpeza que, além do aspecto de abandono que deixa transparecer, constitui um perigo em caso de cheias. Efectivamente, os detritos, despejos, entulhos e vegetação são altamente susceptíveis de se acumularem em travessias e estrangulamentos, reduzindo assim, substancialmente a capacidade de vazão da ribeira.

Finalmente, refira-se que está prevista a criação de diversas bacias de retenção de forma a diminuir os caudais para jusante, pois existem zonas em que se torna fisicamente impossível o alargamento do leito e, por outra parte, diminuir-se-ão os custos de regularização fluvial.

3.2.6 Outras linhas de água

Existem várias bacias hidrográficas, pequenas, que por vezes não têm linhas de água associadas propriamente ditas, que se localizam nas zonas finais entre as ribeiras da Laje e Porto Salvo, Porto Salvo e Barcarena e Barcarena e Algés, e que drenam directamente para o Rio Tejo. Correspondendo a zonas urbanas, essas bacias drenam para os sistemas de drenagem que, por sua vez, descarregam no Tejo.

Das outras linhas de água do concelho contam-se as que drenam directamente para o rio de cabeceiras unificadas e elevadas pendentes. Na maioria dos casos, constituem linhas de drenagem natural em terrenos que, progressivamente, foram sofrendo um intenso processo de urbanização. Este facto deve-se também à assimetria demográfica que se regista no concelho de Oeiras presentemente, com uma maior concentração populacional no litoral do concelho e uma menor densidade no seu interior. A procura imensa de posição privilegiada de urbanizações com vista para o Estuário do Tejo, fez com que as encostas a sul do concelho, fossem invadidas pela construção urbana em grande escala. A rede viária respectiva, que cresce ao mesmo ritmo, configura-se pelas curvas de nível e/ou em socacos, substituindo as linhas direccionais de drenagem natural, facto que promove o escoamento superficial em detrimento da infiltração das águas pluviais.

A considerável redução de áreas de infiltração, rede viária frequentemente construída sobre canais de drenagem natural, promovem um escoamento preferencial acelerado, com graves situações de inundações para a jusante, neste caso direccionalmente até ao estuário do Tejo.

Efectivamente, nestes casos, as estradas substituem as linhas de água, quase sempre na totalidade da sua extensão, nas quais são instaladas as, nem sempre adequadas, estruturas de escoamento pluvial – valas, colectores e sumidouros.

Além dos problemas de impermeabilização dos terrenos e da frequente deposição anárquica de lixo nessas áreas, sobressai a construção de moradias no leito dos canais, diminuindo sua secção transversal e, em consequência a vazão de escoamento, causando as enchentes urbanas. A expansão da malha urbana pode levar ao desaparecimento dos cursos de água, nomeadamente os de regime temporário, através da sua canalização subterrânea ou do seu entulhamento, sendo os antigos leitos fluviais ocupados por ruas, prédios e outro tipo de construção.

A proposta deste trabalho, consistia em efectuar a marcação de áreas inundáveis, a partir do cálculo hidrológico e hidráulico, em zonas que não estivessem canalizadas. Nas zonas urbanas, ou troços canalizados, onde a linha de água fizesse parte (ou estivesse ligada) da drenagem pluvial urbana, a marcação de áreas inundáveis seria efectuada a partir de informação de campo e marcas de água.

Deste modo, no âmbito da proposta deste trabalho, foram analisadas as bacias hidrográficas adicionais, que pudessem ser incluídas neste Volume, a fim de se poder proceder à caracterização de caudais de cheia e posterior mapeamento de áreas inundáveis.

Nesta análise de referência a outras linhas de água, contam-se as seguintes quatro importantes zonas de drenagem, bacias pouco individualizadas ou linhas de água desviadas e/ou destruídas, que dizem respeito a: linha de água que desagua junto à futura urbanização “Lusalite”, ribeira da Terrugem, Linha de água que atravessa a Quinta da Boa Viagem e Ribeira da Junça, que se desenvolve no Volume 7.

4 SELECÇÃO DE SECÇÕES DE REFERÊNCIA

Para a modelação hidrológica do fenómeno das cheias nas bacias dos cursos de água principais do concelho de Oeiras, estas foram subdivididas em unidades elementares que apresentam características fisiográficas, geológicas e de ocupação do solo, homogéneas.

Tendo em vista a integração com a actividade seguinte de simulação hidráulica do escoamento em situação de cheia, foram também consideradas, na topologia hidrológica da rede, as secções em que se verificam alterações significativas na rede hidrográfica (passagem de leitos a céu aberto para estruturas enterradas, zonas de estrangulamento e alargamento do vale, etc.).

Na figura seguinte apresenta-se, a título exemplificativo, a topologia da bacia da ribeira de Algés a considerar na modelação hidrológica do fenómeno das cheias que aí ocorrem.



Figura 4.1 – Bacia da rib^a de Algés. Exemplo da topologia para modelação hidrológica

5 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO REGIME DE CHEIAS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A ocorrência de cheias naturais em Portugal é determinada, fundamentalmente, pelas condições climatológicas e fisiográficas das bacias hidrográficas.

A principal condição meteorológica responsável pela origem de elevados escoamentos e caudais nos cursos de água naturais é, de um modo geral, a ocorrência de precipitação de grande quantidade sobre as bacias, ou seja, a ocorrência de precipitações intensas.

Além das condições climáticas, os factores fisiográficos das bacias condicionam a ocorrência de cheias. Os factores geométricos são a área, densidade de drenagem e relevo. Os factores físicos são o uso e tipo de solo, cobertura vegetal, condições geológicas e rede hidrográfica.

Para a modelação hidrológica do regime de cheias, utilizou-se o programa HEC-HMS- "Hydrologic Modeling System" da autoria do Hydrologic Engineering Center, U.S.A Army Corps of Engineers. Trata-se de um modelo determinístico, conceptual e estacionário de transformação de chuvadas em escoamento.

O tipo de metodologia adoptada – modelo de simulação do tipo precipitação-escoamento – afigurou-se o mais adequado para a caracterização do regime das cheias, uma vez que não se dispõem de amostras de registos de pontas de cheia de dimensão aceitável.

Por consulta ao SNIRH, verifica-se que na rede hidrográfica em análise existem três estações hidrométricas activas:

- Senhora da Rocha (21B/04H), implantada no rio Jamor e dominando uma bacia com 41,36 km²
- Laveiras (21B/03H) na ribeira de Barcarena (bacia com 33,2 km²)
- Estação Agronómica Nacional (21B/02H) localizada na ribeira da Laje (área de drenagem de 37,6 km²)

Até 1999 funcionou ainda o posto de Ponte de Miraflores na ribeira de Algés.

As séries de caudais e níveis máximos registados nestas 4 estações hidrométricas apresentam uma dimensão muito reduzida, não sendo possível proceder à análise estatística desta informação para extrapolação para as secções de interesse da rede hidrográfica em análise.

Data de registo	Caudais máximos instantâneos registados (m ³ /s)			
	Est. Agronó. Nacional (21B/02H)	Laveiras (21B/03H)	Pte de Mira- flores (21B/06H)	Senhora da Rocha (21B/04H)
19-02-1986	20,29	-	-	-
25-02-1987	17,23	-	-	-
22-02-1988	57,68	28,70	-	-
08-11-1988	-	-	38,32	-
24-02-1989	7,45	-	-	4,77
26-11-1989	78,59	-	-	24,34
29-11-1989	-	-	2,02	-
12-12-1989	-	42,86	-	-

Tabela 5.1 – Caudais máximos registados nas 4 estações hidrométricas da região

Na aplicação do modelo HEC-HMS as componentes seleccionadas para a simulação do processo de escoamento em cheia foram a precipitação, os fenómenos de interceptação-retenção-infiltração, o escoamento superficial (incluindo a contabilização de possíveis aflúencias de outros cursos de água) e a propagação da onda de cheia (ao longo da rede hidrográfica, amortecimento em bacias de retenção ou albufeiras, derivações laterais, etc.).

Tendo em consideração a inexistência de dados de base (registos simultâneos de chuvadas e dos caudais/níveis de cheia gerados) para a calibração dos modelos hidrológicos, optou-se por recorrer a opções de metodologias de cálculo (quer para avaliação das perdas, quer para a transformação da precipitação útil em escoamento e da sua propagação) vulgarmente adoptadas em estudos similares ao agora em desenvolvimento e que se baseiam em parâmetros já aferidos para bacias portuguesas com características semelhantes.

Assim, a primeira actividade consistiu na delimitação das bacias hidrográficas em todas as secções de interesse da rede hidrográfica interceptada, seguindo-se a respectiva caracterização fisiográfica.

Esta incluiu a estimativa do tempo de concentração das várias sub-bacias a analisar, tempo que a precipitação caída no ponto hidraulicamente mais longínquo da bacia leva a escoar-se até à secção de jusante, representando o intervalo de tempo entre o início da chuvada e a contribuição total da bacia. Assim, a ponta de cheia numa bacia é directamente condicionada pela precipitação máxima ocorrida durante um intervalo de tempo igual ao tempo de concentração.

Na impossibilidade de modelar (através da utilização de modelos determinísticos do tipo precipitação-escoamento ou de modelos estatísticos), por inexistência de elementos de base que permitam a calibração dos modelos, o tempo de concentração das sub-bacias, a sua avaliação foi efectuada com base na aplicação de fórmulas empíricas.

Tendo em consideração a ordem de grandeza dos tempos de concentração das bacias hidrográficas no Concelho de Oeiras (subcapítulo 5.3) foram avaliadas as chuvadas de projecto, associadas a vários cenários de ocorrência, com durações de 6 e 12 horas.

Os hietogramas com duração de 12 horas aplicam-se às sub-bacias do rio Jamor e ribeiras de Barcarena e Laje. No subcapítulo 5.4 encontra-se a caracterização do regime de chuvadas intensas na região, com a apresentação de quatro cenários alternativos.

Para estimar as perdas por intercepção-retenção-infiltração aplicou-se a metodologia preconizada pelo SCS, baseada no sistema de classificação de solos em função das respectivas características de drenagem (definição do número de escoamento).

De acordo com a classificação hidrológica dos solos nas sub-bacias em análise [14], estes são do tipo D (elevado potencial de escoamento superficial). Tendo, também, em consideração a ocupação e uso do solo na situação actual, estimaram-se os números de escoamento para todas as sub-bacias em análise, para condições humedecimento do solo AMCII – médias e AMCIII – elevadas (subcapítulo 5.5).

Para simular a componente do escoamento superficial utilizou-se o hidrograma unitário do SCS. A utilização deste método requer a definição, para cada sub-bacia, do tempo de crescimento que é função do tempo de concentração.

Para a propagação das ondas de cheia ao longo da rede hidrográfica foram aplicadas metodologias distintas em função das características dos vales e cursos de água, sendo de destacar os métodos de Muskingum e da onda cinemática e, em zonas de vales mais amplos (sem ocupação edificada) com maior capacidade de armazenamento, de balanço de massa.

5.2 PERÍODOS DE RETORNO

Para a caracterização do regime de cheias no concelho de Oeiras foram seleccionados os fenómenos associados a períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, que permitem cobrir um leque alargado de cenários de ocorrência.

As redes urbanas de drenagem pluvial são, vulgarmente, dimensionadas para cheias com períodos de retorno de 20 anos ou inferior.

Já nas intervenções de regularização fluvial e de defesa contra inundações em zonas de ocupação edificada, e segundo orientações seguidas pelo PCCRL-INAG, estas são dimensionadas para permitir a vazão dos caudais de ponta da cheia centenária.

Finalmente, e como no DL 115/2010 é referida a necessidade de análise para situações com uma probabilidade menor do que a da cheia centenária, adoptou-se para esse caso o período de retorno de 500 anos.

5.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o tempo que uma gota de chuva que cai no ponto hidrologicamente mais afastado da bacia, leva a chegar à secção de controlo. Ou seja, decorrido este tempo, toda a área da bacia estará a contribuir para o escoamento.

Existem várias fórmulas empíricas que permitem calcular o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, face a um acontecimento pluviométrico, devendo ser escolhidas as equações que melhor descrevem a bacia em estudo.

A sua mais ou menos familiarização com as diferentes equações tem muitas vezes a ver com a “popularidade” das equações e nem sempre com a adequabilidade ao caso em estudo. Assim sendo, em seguida descrevem-se algumas das equações mais utilizados para determinação do tempo de concentração.

Para calcular o tempo de concentração da bacia, recorre-se a diversas formulações, nomeadamente as seguintes:

- Kirpich

$$t_c = 0,0663 \frac{L^{0,77}}{d_m^{0,385}},$$

com t_c [min] e L [m].

sendo:

t_c – tempo de concentração da bacia;

d_m – declive médio do curso de água principal da bacia (m/m);

L – comprimento do curso de água principal da bacia.

- Temez

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L}{d_m^{0,25}} \right)^{0,76},$$

com t_c [h] e L [km].

- *National Environment Research Council* (NERC)

$$t_c = 2,8 \left(\frac{L}{\sqrt{d_{10,85}}} \right)^{0,47},$$

com t_c [h] e L [km].

sendo:

$d_{10,85}$ – declive entre 10 e 85% do comprimento (m/m);

– SCS – Soil Conservation Service

sendo:

$$tc = \frac{100.(L.1000)^{0,8} . (\frac{1000}{CN} - 9)^{0,7}}{0,3038.1900.\sqrt{Sm}}$$

tc - tempo de concentração, em *min*;

CN - Número de escoamento (“curve number”);

L – Comprimento do curso de água principal, em *km*;

Sm – Declive médio da bacia hidrográfica, em %.

– Giandotti

$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m}}$$

sendo:

tc em horas,

A a área em *km*²,

Lo comprimento da linha de água em *km*

hm a altura média, em *m*, da bacia hidrográfica.

Para a estimativa dos tempos de concentração de todas as sub-bacias foram utilizadas as várias formulações, para que pudessem ser analisados e comparados resultados e seleccionado aquele que se entender que se adequa melhor às características e particularidades da bacia e do curso de água. De uma maneira geral adoptou-se o do SCS não só porque, na esmagadora maioria dos casos, é o que conduz a um valor inferior - e, conseqüentemente, o mais a favor da segurança -, como, por outro lado, é uma formulação mais completa e que adopta mais parâmetros caracterizadores da bacia, contrariamente, por exemplo, às formulações de Temez e Kirpish em que interessa apenas o comprimento e a inclinação da linha de água, independentemente de características fundamentais, como a ocupação da bacia ou o tipo e características do solo.

De acordo com cálculos preliminares já efectuados os tempos de concentração dos quatro principais cursos de água (Algés, Jamor, Barcarena e Laje) variam entre cerca de 2 a 6 horas.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE CHUVADAS INTENSAS

5.4.1 Considerações gerais

Na região em estudo existem vários postos climatológicos (com influência nas sub-bacias hidrográficas em análise) que dispõem de registos da precipitação máxima diária anual.

Na figura seguinte apresenta-se, de forma esquemática, a localização das estações meteorológicas (tal como consta do SNIRH), bem como a dimensão da amostra disponível e o respectivo valor médio.



Figura 5.1 – Postos meteorológicos (Fonte – SNIRH)

Foram já realizados diversos trabalhos sobre o regime de precipitações intensas na região da Grande Lisboa, com a dedução de curvas intensidade-duração-frequência (i-d-f).

De entre estes, destacam-se os elementos disponibilizados pelo INMG em 1984 para os estudos desenvolvidos na sequência das cheias ocorridas em Fevereiro de 1983 no distrito de Lisboa ([2]) e as curvas i-d-f deduzidas em [7]-INAG, 2001 para os postos de S.Julião do Tojal, Lisboa(IGIDL) e Lisboa (Portela).

No sub-capítulo seguinte apresentam-se as estimativas da precipitação máxima diária efectuada quer por aplicação de expressões deduzidas em estudos anteriores, quer por análise estatística das séries de registos disponíveis nos postos meteorológicos da zona, que levaram ao estabelecimento de três cenários para a caracterização das chuvadas diárias associadas a vários períodos de retorno.

Para a caracterização da distribuição temporal da precipitação diária, isto é, conhecimento da repartição da chuva em intervalos de tempo mais reduzidos, recorreu-se às curvas intensidade-duração-frequência (curvas i-d-f) deduzidas para a estação udométrica de S.Julião do Tojal, localizada um pouco a NW da zona em estudo (constantes de [7] - INAG, 2001) e ainda para o posto de Lisboa (IGIDL). A utilização deste último padrão de distribuição das chuvas deu origem ao designado cenário 4.

Assim, apresentam-se no subcapítulo 5.4.4 os hietogramas das chuvas intensas na região de Oeiras (hietograma balanceado do SCS) correspondentes aos quatro cenários estabelecidos quer para a precipitação máxima diária, quer para a sua repartição temporal.

5.4.2 Precipitação máxima diária anual para vários cenários de ocorrência

Na tabela seguinte apresentam-se os valores da precipitação máxima diária anual (associados a vários períodos de retorno) estimados com base na aplicação de curvas i-d-f deduzidas em estudos existentes:

T (anos)	Chuvadas diárias (mm)			
	A	B	C	D
2	-	54,26	54,36	46,65
5	77,47	81,61	69,17	70,78
10	91,19	99,66	78,50	86,66
20	-	117,21	88,19	101,88
25	91,19	-	-	-
50	101,37	139,00	100,03	121,45
100	111,47	156,63	108,72	136,23

A - Curvas de possibilidade udométrica fornecidas pelo INMG para os estudos de 1984

B - Curvas i-d-f deduzidas para o posto de S.Julião do Tojal (INAG;2001)

C - Curvas i-d-f deduzidas para o posto de Lisboa-IGIDL (INAG;2001)

D - Curvas i-d-f deduzidas para o posto de Lisboa-Portela (INAG;2001)

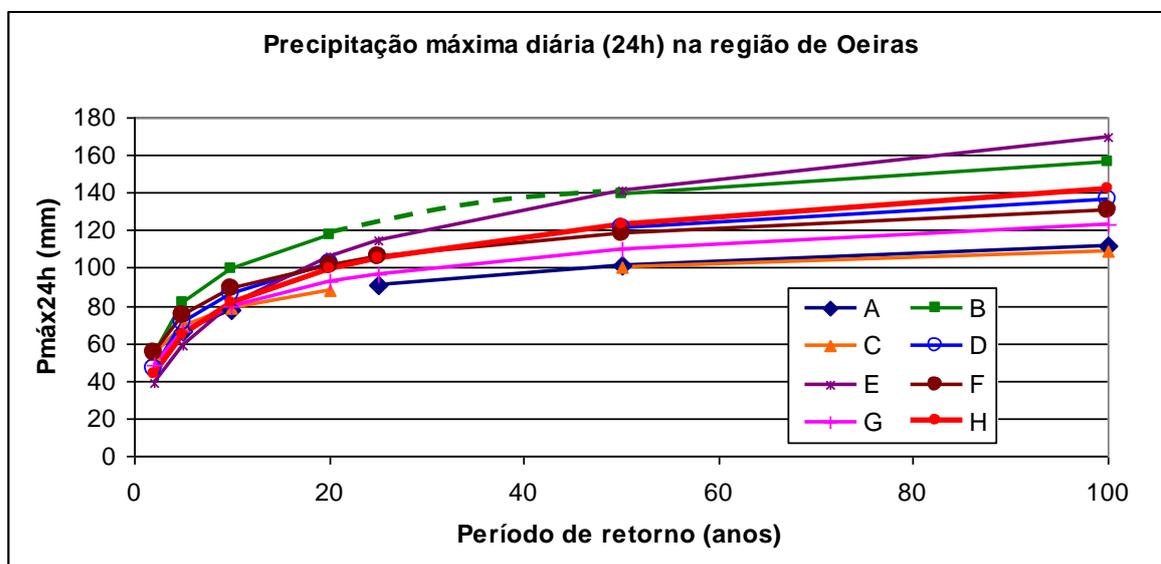
Tabela 5.2 – Precipitações diárias deduzidas por aplicação de curvas i-d-f

No Relatório Preliminar encontram-se as séries de chuvas diárias máximas anuais registadas nos postos de Cacém, Caneças, Sacavém e S.Julião do Tojal e a respectiva análise estatística. Por ajustamento da lei de distribuição de Pearson tipo III tem-se:

Período de retorno T (anos)	Precipitação diária máxima (mm) - lei Pearson III			
	E	F	G	H
	Cacém	Caneças	Sacavém	S.J. Tojal
2	39,1	54,8	48,7	43,6
2,33	41,5	58,5	51,7	46,7
5	59,2	75,1	66,6	64,0
10	80,9	88,8	79,8	81,2
20	105,7	101,8	92,8	99,2
25	114,2	105,9	97,0	105,0
50	141,5	118,3	109,9	123,6
100	170,0	130,5	122,8	142,5

Tabela 5.3 – Precipitações diárias máximas anuais em postos meteorológicos. Ajustamento da lei Pearson III

Da figura seguinte consta a representação gráfica das precipitações diárias deduzidas pelas curvas i-d-f (método A a D) e por análise estatística em postos da região (E a F).

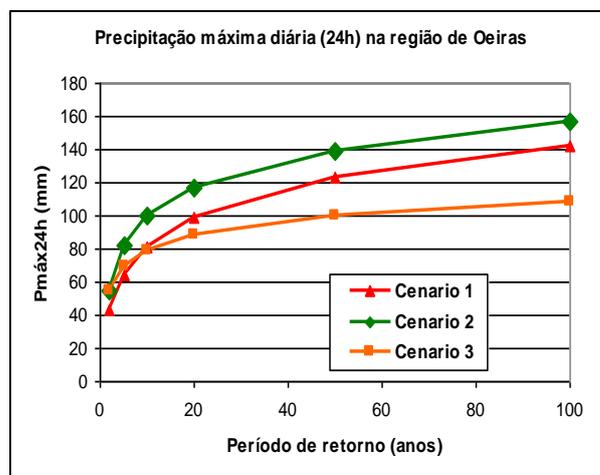


- A - Curvas de possibilidade udométrica fornecidas pelo INMG para os estudos de 1984
- B - Curvas i-d-f deduzidas para o posto de S.Julião do Tojal (INAG;2001)
- C - Curvas i-d-f deduzidas para o posto de Lisboa-IGIDL (INAG;2001)
- D - Curvas i-d-f deduzidas para o posto de Lisboa-Portela (INAG;2001)
- E - Análise estatística da série de precipitações máximas diárias anuais registadas no posto do Cacém
- F - Análise estatística da série de precipitações máximas diárias anuais registadas no posto de Caneças
- G - Análise estatística da série de precipitações máximas diárias anuais registadas no posto de Sacavém
- H - Análise estatística da série de precipitações máximas diárias anuais registadas no posto de S.Julião do Tojal

Figura 5.2 – Precipitações diárias para vários períodos de retorno

Tendo em consideração a significativa variação de valores, em particular para os períodos de retorno elevados, foram estabelecidos três cenários:

- **Cenário 1**, que corresponde a situação intermédia e é baseado no ajustamento da lei de Pearson III à série de precipitações máximas diárias em S.Julião do Tojal, com 64 anos de registos (curva H)
- **Cenário 2**, que representa a envolvente superior, obtida por aplicação das curvas i-d-d deduzidas para o posto de S.Julião do Tojal (curva B)
- **Cenário 3**, referente à envolvente inferior, estimada por aplicação das curvas i-d-d deduzidas para o posto de Lisboa-IGIDL (curva C)



5.4.3 Análise da distribuição temporal (para curtas durações) da precipitação diária

Para a discretização temporal da precipitação diária recorreu-se aos estudos efectuados para o posto udoográfico de S.Julião do Tojal e Lisboa (IGIDL), nomeadamente às curvas i-d-f estimadas para estas estações e constante de [7], INAG, 2001.

5.4.4 Hietogramas de projecto

Para a definição das chuvadas de projecto foi utilizado o hietograma balanceado (distribuição triangular, de acordo com o proposto pelo SCS), em que as precipitações associadas a várias durações foram calculadas com base na precipitação diária máxima (Cenários 1 a 3) e nas relações das curvas i-d-f obtidas no posto de S.Julião do Tojal.

Para analisar a diferença entre as repartições temporais das chuvadas intensas em S.Julião do Tojal e em Lisboa (IGIDL) foi ainda estabelecido o Cenário 4 em que o valor da precipitação diária máxima (igual ao Cenário 3) e a distribuição temporal seguem as curvas i-d-f deduzidas para o posto de Lisboa (IGIDL).

Tendo em consideração os tempos de concentração das sub-bacias das linhas de água do Concelho de Oeiras adoptaram-se chuvadas de 6 e 12 horas¹, discretizadas em intervalos de 10 minutos².

No Relatório Preliminar encontram-se os hietogramas das chuvadas de 6 e 12 horas associadas aos quatro cenários estabelecidos, admitindo que seguem o hietograma balanceado proposto pelo SCS.

Na figura seguinte apresentam-se, a título exemplificativo, os hietogramas de projecto para a chuvada de 6 horas com período de retorno de 100 anos.

¹ Cerca de 2 a 3 vezes o tempo de concentração das principais bacias do Concelho.

² Tempo de concentração mínimo vulgarmente considerado nas redes de drenagem pluviais.

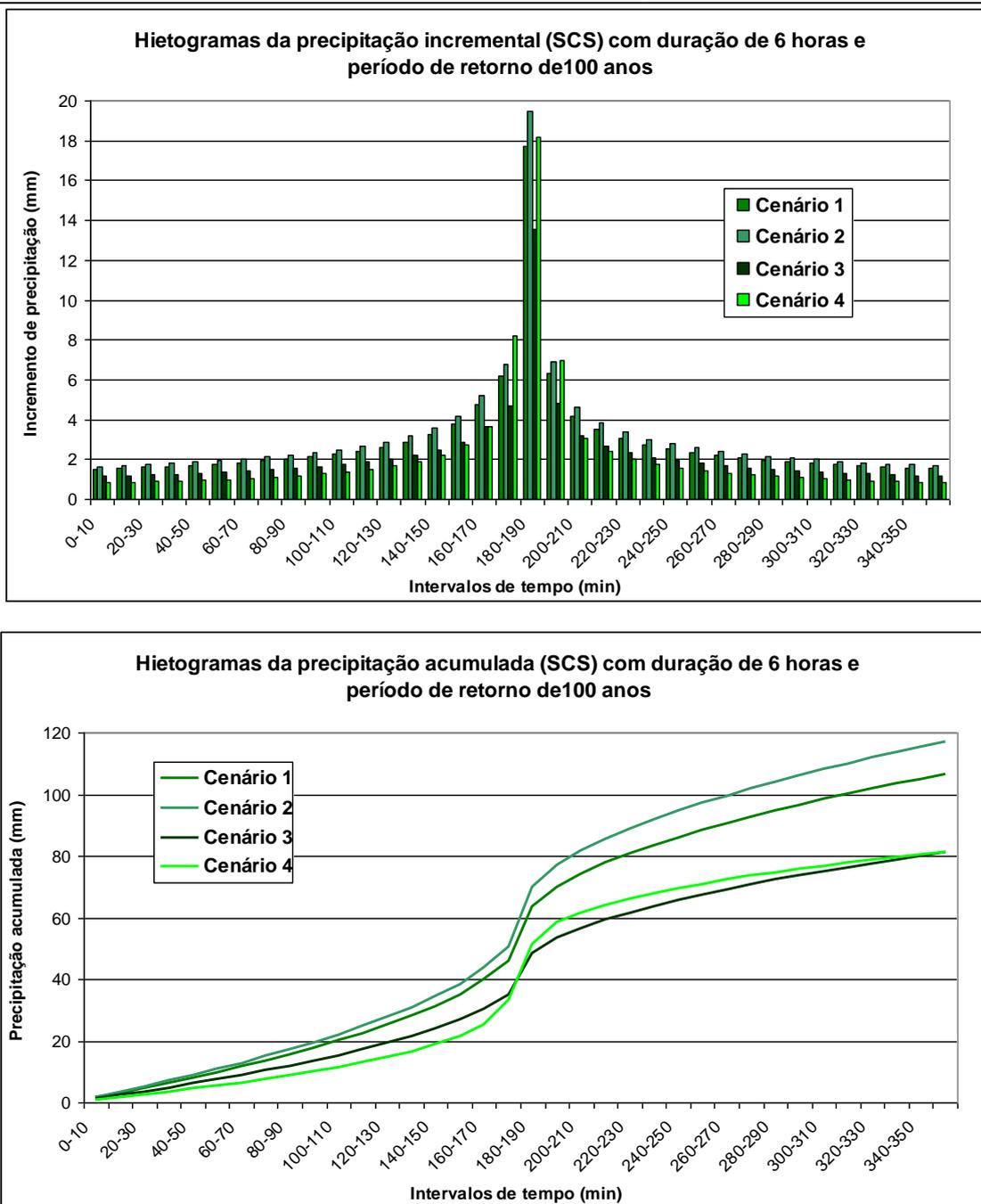


Figura 5.3 – Chuvada de 6 horas. Hietogramas para o período de retorno de 100 anos

5.5 NÚMERO DE ESCOAMENTO

Para produzir uma carta digital de Números de Escoamento (CN tipo AMCII) foi necessário cruzar informação, como o grupo hidrológico de solo, uso de solo e tabela que relaciona ambas.

Apesar de o INAG ter disponível a carta de escoamento para o país no Atlas da Água, devido ao facto de terem sido utilizados uma série de temas de escala e precisão diversas, a precisão da carta final ficou limitada. Assim, e tendo em consideração a escala a que se desenvolve o presente trabalho - a nível de bacias no concelho de Oeiras - e ao rigor que se pretende, tornou-se necessário gerar uma carta com essa informação.

Os temas base utilizados para determinar números de escoamento foram os seguintes:

- Tipo hidrológico do solo Classificação do SoilConservationService do tipo de solo em A, B, C e D com capacidades crescentes de gerar escoamento superficial;
- Tipos de Solos
- Uso do solo - classificação do solo de acordo com a sua ocupação;
- Erodibilidade dos solos, atendendo à sua composição.
- Tabela de relação Que estabelece a relação entre o tipo hidrológico e uso do solo com um determinado valor de Número de Escoamento (CN);

A partir dessa informação, obtém-se para cada bacia e sub-bacia o valor ponderado do CN para condições médias de humedecimento do solo, AMC II.

Na determinação dos caudais de cheia, para frequências de ocorrências elevadas considera-se geralmente o solo como bem humedecido, devendo os valores obtidos serem corrigidos para condições de solo bem humedecido (AMC III).

A título exemplificativo apresentam-se na tabela os números de escoamento ponderados para as algumas das bacias em análise:

Bacia	Número de escoamento ponderado (avaliado com base nas cartas CN) para AMCII	Número de escoamento para AMCIII
Algés	87	95
Jamor	82	92
Barcarena	82	92
P. Salvo	87	95
Laje	86	94

Tabela 5.4 – Sub-bacias hidrográficas. Números de escoamento

Foram analisadas duas situações para as condições iniciais de humedecimento do solo aquando da ocorrência de cheias:

- Situação 1 – Condições médias de humidade no solo (AMC II)
- Situação 2 – Condições elevadas de humidade no solo (AMC III)

Tendo em consideração os cenários de ocorrência das cheias a simular para os cursos de água do Concelho de Oeiras (períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos) e a favor da segurança de pessoas e bens, julga-se recomendável adoptar, pelo menos para situações de dimensionamento, a situação 2 – condições AMC III.

5.6 MODELO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Após criação e obtenção dos vários parâmetros de base necessários à obtenção dos caudais de cálculo, utilizar-se-á o modelo de cálculo HEC-HMS.

O programa HEC_HMS constitui uma ferramenta de modelação hidrológica que foi desenvolvida pelo Army Corps of Engineers dos Estados Unidos da América. Este modelo permite simular os processos de evaporação – precipitação – escoamento em bacias hidrográficas. Os hidrogramas resultantes deste modelo podem ser utilizados directamente ou em conjunto com outros modelos para estudar a disponibilidade de recursos hídricos, a drenagem urbana, a previsão de cheias e os impactes de futuras urbanizações nos recursos hídricos, etc.

O modelo da bacia contém informação que descreve os elementos hidrológicos da bacia. Inclui uma lista de parâmetros e elementos de conectividade e também métodos para o cálculo das perdas de precipitação, da transformação de escoamento e do escoamento nos canais.

O primeiro passo no desenvolvimento do modelo hidrológico tem a ver com a escolha dos vários elementos que compõem a bacia em estudo (topologia da rede a modelar), devendo-se definir em primeira análise a sub-bacia (“subbasin”).

Os designados “elementos hidrológicos” são as “peças” básicas que compõem a representação da bacia. Um elemento representa um processo físico como bacia hidrográfica, canal ou confluência. Cada elemento representa parte ou a totalidade da “resposta” da bacia a um evento atmosférico. No HEC-HMS existem 7 elementos: sub-bacia (“subbasin”), canal (reach), reservatório (reservoir), confluência, união (junction), separação, desvio (diversion), ressurgência, origem de água (“source”) e depressão (“sink”).

Após escolha do (s) elemento (s) que melhor descrevem a bacia em estudo, é necessário escolher os modelos que melhor simulam os processos físicos. O HEC-HMS permite deste modo adaptar vários métodos conforme a bacia em estudo, com mais ou menos dados de solo, dados de precipitação, dimensão das bacias hidrográficas, existência ou não de dados para calibração de modelos, modelos mais ou menos simplificados, entre outros.

De um modo geral, para as várias sub-bacias em estudo e conforme as suas características e o objectivo deste trabalho de obter caudais de cheia, para o cálculo das perdas será escolhido o método do SCS Curve Number Loss. Este método implementa a metodologia do Curve Number para incrementos de perdas.

Enquanto o elemento da sub-bacia conceptualmente representa processos de infiltração, escoamento superficial e escoamento sub-superficial interagindo juntos, o cálculo do escoamento superficial propriamente dito é realizado por meio de um método de transformação contido na sub-bacia.

Assim sendo, torna-se necessário escolher o método de transformação, existindo 7 no HEC-HMS. Mais uma vez, com base nas bacias em estudo, foi escolhido o método do SCS UnitHydrograph.

O movimento do escoamento superficial, gerado pelo excesso de precipitação (parte da precipitação que não se infiltra nem fica retida nas plantas ou em pequenas irregularidades do solo e que esco superficialmente pelas linhas de água) pela rede hidrográfica, foi calculado pelo método de Muskingum. A rede hidrográfica é gerada com base no modelo digital do terreno e o excesso de precipitação pode ser calculado por vários métodos, consoante a informação sobre as propriedades hidrológicas dos solos que estejam disponíveis.

O método de Muskingum usa uma aproximação simplificada da lei da conservação de massa para descrever o percurso da água num curso de água. Não assume, contudo, que a superfície da água é um nível. Assumindo a linearidade da superfície da água, é possível contabilizar o aumento de armazenamento de água do vale durante a fase ascendente da onda de cheia e o decréscimo do armazenamento na situação oposta.

5.7 APLICAÇÃO DO MODELO HEC-HMS. ESCOLHA DO CENÁRIO DE PRECIPITAÇÃO

Para facilitar a selecção do cenário de chuvadas críticas aquando da ocorrência de cheias a adoptar (na modelação hidrológica e hidráulica deste fenómeno nos cursos de água do Concelho de Oeiras), apresentaram-se no Relatório Preliminar os resultados da simulação hidrológica das cheias em “bacias experimentais” e uma análise comparativa e crítica do mesmo. Dessa análise concluiu-se que:

- Os cenários 3 e 4 das chuvadas originam caudais de ponta de cheia da mesma ordem de grandeza e inferiores aos obtidos para o cenário 1 (menos 20 a 42 %) e 2 (menos 10 a 42 %);
- A consideração da Situação 2 tem também um efeito significativo no aumento dos caudais de ponta de cheia, comparativamente com a Situação 1, com acréscimos da ordem de 20 a 60 %.

Da experiência adquirida na elaboração de vários estudos hidrológicos já efectuados para a região, seria recomendável seleccionar o Cenário 1 para representação das chuvadas intensas no Concelho de Oeiras mas, tendo em consideração os cenários de ocorrência das cheias a simular para os cursos de água em

estudo (períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos) e a favor da segurança, afigura-se razoável adoptar a situação 2.

Na sequência da sua apreciação e análise, a CMO, decidiu optar pelo cenário 2.

Na tabela seguinte apresentam-se os caudais de ponta de cheia (obtidos por aplicação do modelo HEC-HMS) em várias secções de interesse da rede hidrográfica do concelho de Oeiras para o cenário 2 de chuvadas intensas na região.

Rede hidrográfica	Caudais de ponta de cheia (m ³ /s) para vários períodos de retorno (em anos)							
	Situação 1 – condições AMCII				Situação 2 – condições AMCIII			
	20	50	100	500	20	50	100	500
Rib ^a de Algés								
Na travessia da A5	45	58	67	89	65	80	90	114
Na foz	88	112	130	171	122	148	167	211
Rio Jamor								
No Bairro da Gandarela	165	215	254	343	246	303	346	445
A jusante da confluencia com a ribeira de Carnaxide	173	225	265	358	255	314	358	460
Na foz	181	235	277	373	262	323	369	474
Ribeira de Barcarena								
A jusante da confluencia com a ribeira de Massamá	97	129	153	210	152	188	216	279
Na travessia da A5	113	148	176	240	169	210	241	311
Na foz	121	159	189	257	179	221	254	328
Ribeira de Porto Salvo								
A jusante da confluência com a ribeira de Vila Fria	11	14	17	22	18	22	24	31
A jusante da confluência com o afluente 2	25	32	37	49	39	47	52	65
Na foz	42	52	60	78	55	66	74	93
Ribeira da Laje								
A jusante da confluência com a ribeira de Talaide	148	188	219	290	205	248	280	353
A jusante da confluência com a ribeira de Leião	156	198	231	305	214	259	293	371

	Caudais de ponta de cheia (m ³ /s) para vários períodos de retorno (em anos)							
	Situação 1 – condições AMCII				Situação 2 – condições AMCIII			
	1	2	3	4	5	6	7	8
A jusante da confluência com a ribeira de Freiria	165	210	244	323	225	273	308	390
Estação Agronómica Nacional	173	220	256	338	234	284	321	407
Foz	180	229	266	351	241	293	332	420

Tabela 5.5 – Resultados do mo modelo HEC-HMS. Caudais de ponta de cheia

Por comparação com os caudais de ponta da cheia centenária constantes de estudos e projectos já elaborados para a região verifica-se que os resultados agora obtidos são da mesma ordem de grandeza para a situação 1 e significativamente superiores para a situação 2 (Figura 5.4).

A discrepância de valores para a situação 2 deve-se, por um lado, ao cenário pessimista seleccionado pela CMO para a definição dos hietogramas das chuvadas críticas e, por outro, aos elevados números de escoamento (que traduzem a função de perdas de água por intercepção, retenção e infiltração) deduzidos das cartas CN.

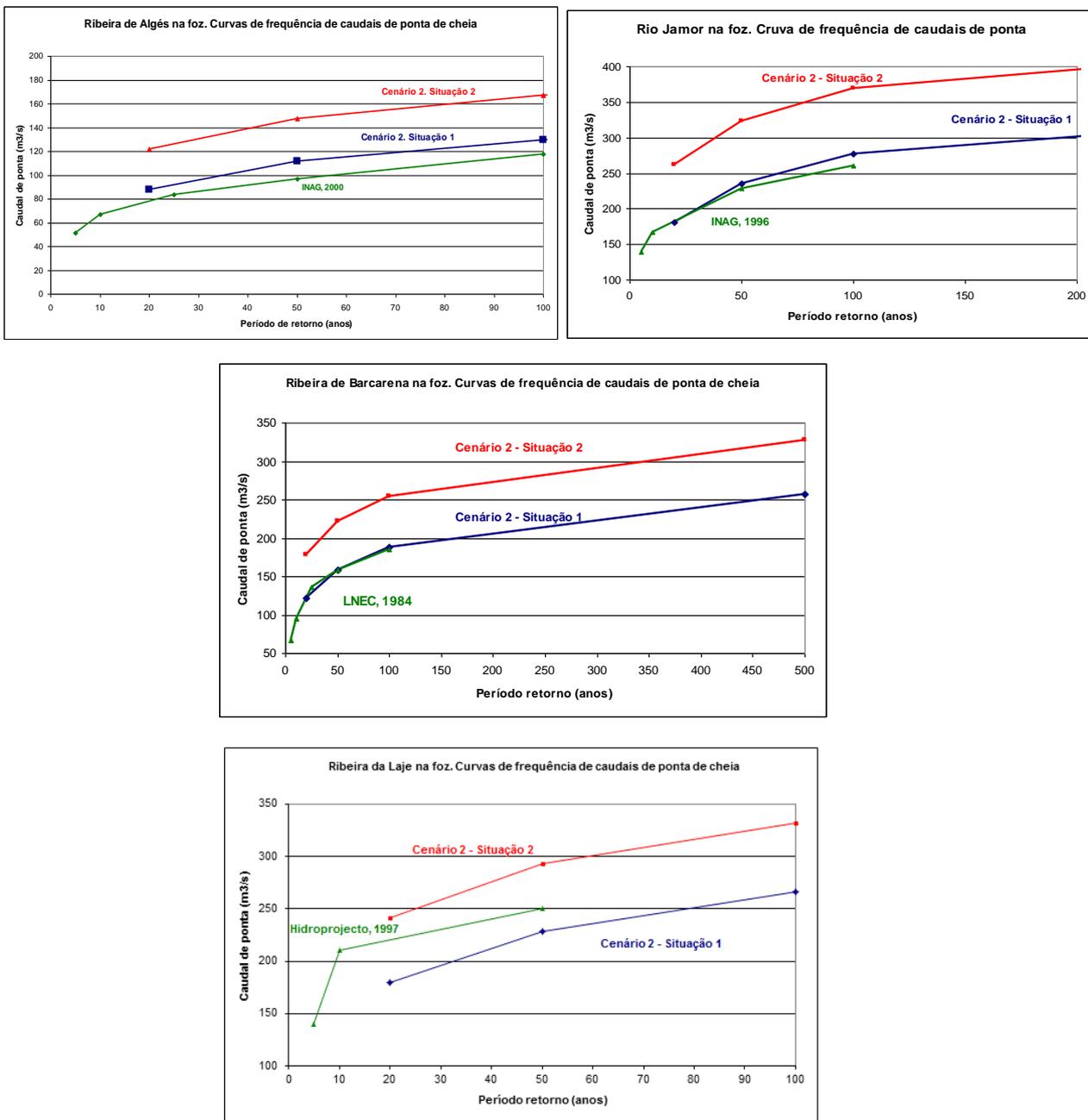


Figura 5.4 – Caudais de ponta de cheia. Comparação com estudos e projectos anteriores

6 CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO REGIME DE CHEIAS

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A simulação do processo de escoamento, em situação de cheia, na rede hidrográfica (fora das zonas urbanas) foi efectuada por aplicação do modelo HEC-RAS (River Analysis Systems da autoria do Hydrologic Engineering Center), nomeadamente da rotina de modelação de escoamento gradualmente variado.

Trata-se de uma rotina que permite calcular e traçar curvas de regolfo (em regime permanente) de escoamentos (em regime rápido e/ou lento) em linhas de água com qualquer configuração geométrica, sendo possível considerar o efeito de várias singularidades tais como pontes, aquedutos, açudes, diques e confinamentos longitudinais, descarregadores, etc.

O cálculo das condições de escoamento é efectuada por resolução da expressão que traduz o teorema de Bernoulli, recorrendo a um método de diferenças finitas denominado “standard step method”.

Assim, a equação de conservação da energia num dado troço de cálculo é resolvida iterativamente, partindo das condições de escoamento (conhecidas) na secção de controlo.

A quantificação das perdas de carga contínuas é feita por aplicação da expressão de Manning-Strickler.

A simulação hidráulica dos fenómenos fluviais (em que se verifica uma influência recíproca entre o escoamento e a sua fronteira) é extremamente complexa, tendo como consequência o recurso a formulações físicas e matemáticas simplificadas para a resolução prática dos problemas. Pela análise das expressões analíticas, utilizadas na rotina aplicada, foram identificadas as seguintes hipóteses simplificativas (que, no entanto, não introduzem erros minimamente significativos):

- o escoamento é permanente, isto é, não é possível analisar a evolução temporal do fenómeno das cheias. Assim, os dados de entrada nas várias secções de cálculo são, para além da geometria do curso de água e coeficientes de perdas, os caudais de ponta de cheia e não os hidrogramas;
- o escoamento é gradualmente variado (distribuição hidrostática de pressões);
- o escoamento é unidireccional (a carga total é a mesma em todos os pontos da secção transversal);
- o declive longitudinal da linha de água é pequeno, podendo a altura do escoamento ser representada pelo valor lido na vertical.

Relembra-se que na modelação efectuada não é analisada a componente de material sólido (isto é, considera-se que as secções da rede hidrográfica, constante da cartografia e levantamentos efectuados, se encontram desobstruídas) nem são consideradas possibilidades de ruptura de confinamentos laterais, passagens hidráulicas, etc. (com a consequente alteração da capacidade de vazão do leito em que se inserem).

Para as zonas com ocupação edificada (dotadas de redes de drenagem pluvial, em que as bacias drenantes não coincidem com a delimitação das bacias efectuada com base na informação topográfica) e/ou em zonas em que existem infra-estruturas que poderão funcionar como zonas preferenciais de escoamento (derivação e drenagem de caudais, que transbordam do curso de água, para outros locais fora da rede hidrográfica), os resultados obtidos devem ser encarados como aproximações, podendo não reproduzir o fenómeno real.

Com efeito, e de acordo com a proposta apresentada, para a identificação de níveis máximos da água verificados em zonas de ocupação urbana recorreu-se a marcas de cheia disponíveis e informação local, obtida, não só junto das populações locais como de Entidades Oficiais, nomeadamente Corporações de Bombeiros e Protecção Civil.

Deste modo, para as zonas urbanas conjugaram-se estes dois tipos de informação - campo e modelação hidráulica (que não foi interrompida) - de modo a aumentar a fiabilidade dos resultados obtidos. No entanto, estes resultados devem ser encarados com precaução.

6.2 DADOS DE BASE UTILIZADOS NA APLICAÇÃO DO MODELO HEC-RAS

6.2.1 Configuração geométrica da rede hidrográfica

Para a caracterização dos leitos dos cursos de água levantaram-se secções transversais do vale com base no modelo digital de terreno.

Adicionalmente, foram efectuadas campanhas de campo, para o levantamento fisiográfico e topográfico de todas as singularidades da rede hidrográfica (ver Volume 8) e respectivos trechos adjacentes.

Nas Peças Desenhadas apresenta-se a localização das secções de referência e das singularidades que serviram de base à caracterização do leito principal e leitos de cheia das linhas de água.

6.2.2 Coeficientes de perda de carga

Para a estimativa das perdas de carga contínuas utilizaram-se, de um modo geral, os seguintes coeficientes de Manning-Strickler:

- 30 e 20 $m^{1/3}s^{-1}$ respectivamente no leito principal e leitos de cheia, em trechos não regularizados;
- 35 $m^{1/3}s^{-1}$ em secções revestidas com enrocamento, enrocamento argamassado ou colchão tipo Reno ou equivalente
- 65 $m^{1/3}s^{-1}$ nos troços em que o leito do curso de água se encontra revestido a betão (secção em betão, lajetas pré-fabricadas, passagens hidráulicas em quadro/ aqueduto, sob pontões, etc.)

Para as perdas localizadas em alargamentos admitiu-se um coeficiente³ de 1,0 e, em estrangulamentos, valores variáveis entre 0,2 e 0,5.

6.2.3 Caudais circulantes

Foram utilizados os caudais de ponta de cheia estimados no âmbito do presente estudo (cujo resumo se encontra na Tabela 5.5) para as várias secções de interesse da rede hidrográfica e para os diferentes cenários de ocorrência (períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos) e condições iniciais de humedecimento do solo, correspondendo a condições AMC II e AMC III.

6.2.4 Condições de fronteira a jusante

Os trechos terminais dos cursos de água do Concelho de Oeiras apresentam características fluviais em que o escoamento se processa em regime lento, controlado pelas condições a jusante.

Nas modelações hidráulicas efectuadas considerou-se que o nível de água no estuário do Tejo está à cota 2 (4,08 ZH), correspondendo à estofa de preia-mar.

6.3 RESULTADOS DO MODELO HEC-RAS

Por aplicação do modelo HEC-RAS obtiveram-se as principais características do escoamento na rede hidrográfica do concelho de Oeiras, em situação de cheia, para as duas situações analisadas (em função das condições iniciais de humidade dos solos) e para 4 cenários de ocorrência (períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos).

Foram igualmente traçadas as delimitações das áreas afectadas aquando da ocorrência das cheias para estas oito alternativas.

Para a cheia centenária, as áreas inundáveis foram comparadas com as constantes de estudos anteriores e, para as ribeiras da Laje e rio Jamor, com a definição da área adjacente decretada. Como principais conclusões tem-se:

Ribeira de Algés

Analisando a zona afectada durante a ocorrência da cheia centenária e comparando com o estudo da CMO (ver Peças Desenhadas) verifica-se que, mesmo para a Situação 2 (condições elevadas de humedecimento do solo aquando da ocorrência da cheia), a área de risco é inferior, no trecho a montante da confluência com a ribeira de Outurela, onde, de acordo com o estudo anterior, a cheia

centenária inundaria de uma forma bem mais significativa, toda a zona industrial de Alfragide e Carnaxide, adjacente à ribeira.

Junto da confluência com a ribeira da Outurela, verificam-se também diferenças entre as manchas de inundação agora determinadas, e as zonas de risco delimitadas no estudo da CMO. De acordo com o presente estudo ocorre galgamento significativo numa extensão de cerca de 250 m a montante da confluência, o que está de acordo com relatos recolhidos no local durante o levantamento das singularidades. No estudo CMO a zona de risco de inundação localiza-se mais a montante, e prolonga-se até à passagem sobre a A5.

Também a jusante da confluência com a ribeira da Outurela existe uma mancha de inundação localizada um pouco a montante da entrada no 1º troço canalizado, sensivelmente a meio do jardim. Analisando as imagens históricas disponibilizadas pelo Google Earth, é possível verificar que esta mancha corresponde à antiga entrada no troço encanado. Entre 2005 e 2006 foram realizadas obras de regularização da ribeira, tendo sido regularizado todo o troço desde a confluência e a nova entrada no troço encanado construída no mesmo período. No mapa delimitado no presente estudo a mancha foi transferida para a localização da nova entrada no troço encanado, que de acordo com o modelo continua a ser insuficiente para o caudal de cheia centenário agora determinado.

Na entrada do segundo troço canalizado, com capacidade de vazão insuficiente, verifica-se galgamento e inundação de toda a baixa de Algés até à foz. A zona de risco apresentada no estudo da CMO é um pouco maior do que a agora determinada na zona de montante, invertendo-se a situação na zona da estrada marginal (EN6), em que a mancha do presente estudo abrange uma área significativamente superior.

Rio Jamor

Comparando com as áreas afectadas para a cheia centenária constantes dos estudos CMO (Desenho 6 do Volume 8)/ área adjacente publicada (Desenho 3 do Volume 8) verifica-se que

- No rio Jamor a montante da confluência com a ribeira de Carnaxide a área inundável é ligeiramente inferior. Exceptua-se o trecho inicial de entrada no concelho de Oeiras, em que se prevê a ocorrência de inundações em ambas as margens (Quinta da Rainha na margem direita e Mata de Queluz na margem esquerda);
- No recinto do Estádio Nacional, uma vasta zona da Pista de Corta Mato (margem direita) deixa de estar na zona de risco de inundação, provavelmente devido às intervenções aí efectuadas pelo Instituto do Desporto. No entanto, já na margem direita, existem três zonas localizadas que, ao contrário do constante em estudos anteriores, se estima que estejam em área inundável.
- Para a situação 2, a área de risco na zona baixa da Cruz Quebrada, a jusante das travessias da Avenida Pierre de Coubertin e estrada marginal, é mais larga, afectando a margem direita do rio até às proximidades da Avenida Ferreira Godinho (onde se encontram instalações industriais/armazéns

abandonados em elevado estado de degradação). Com efeito, para a situação 2, o nível máximo da água a montante da travessia da Av. Pierre de Coubertin é superior à cota 6,2, verificando-se galgamento (pela margem direita na zona do entroncamento com a EN6, em que a parte mais baixa está à cota 6,1) com escorrência do volume de água extravasado para a zona a requalificar (que já dispõe de plano de pormenor)

Ribeira de Barcarena

Da sua análise verifica-se que, comparando com as áreas afectadas para a cheia centenária constantes dos estudos CMO (Desenho 6 do Volume 8):

- Desde o início do troço em estudo (entrada no concelho de Oeiras) até à zona da Pedreira Italiana / Murganhal, a área inundada é, em geral, inferior à determinada no estudo do CMO;
- A jusante deste troço acontece o inverso, verificando-se que a zona de risco agora apresentada é, de um modo geral, superior à do referido estudo, afectando de forma mais gravosa algumas zonas urbanas, nomeadamente na margem esquerda entre o início Norte da estrada de Laveiras (cerca de 250 m a montante da confluência com a ribeira de Linda-a-Pastora) e o km 1,05 (cerca de 150 m a jusante da ponte da rua Calvet de Magalhães – singularidade 38 ao km 1,2), e na margem direita, desde a zona Sul do Bairro da Pedreira Italiana (largo e rua Viscondessa de Santo Amaro) até à Linha do Estoril.

Ribeira de Porto Salvo

Analisando a zona afectada durante a ocorrência da cheia centenária e comparando com o estudo da CMO, verifica-se que, mesmo para a Situação 2 (condições elevadas de humedecimento do solo aquando da ocorrência da cheia), a área inundável é ligeiramente inferior, apresentando contudo e genericamente o mesmo traçado.

Importa salientar que, para as simulações efectuadas, verificou-se o galgamento do Açude da Tapada do Mocho, podendo ocorrer a sua rotura.

Enumeram-se em seguida as zonas que merecem maior relevância dada a sua proximidade com as populações que são afectadas pelas cheias:

- Localidade de Porto Salvo, na Zona da Rua General Humberto Delgado;
- Quinta da Fonte e zona da Estrada de Paço de Arcos;
- A zona final da Ribeira de Porto Salvo que coincide com o traçado canalizado.

Ribeira da Laje

Analisando a zona afectada durante a ocorrência da cheia centenária e comparando com o estudo da CMO e Área Adjacente Publicada (ver peças desenhadas) verifica-se que, mesmo para a Situação 2 (condições elevadas de humedecimento do solo aquando da ocorrência da cheia), a área inundável é ligeiramente inferior, apresentando contudo o mesmo traçado.

Como áreas com maior expressão e afectação de pessoas e bens destacam-se as seguintes zonas:

- Zona de jusante da ribeira da Freiria (bairro da Laje), na confluência com a Ribeira da Laje e margem direita da ribeira junto ao Lagoas Park;
- Zona da Estação Agronómica Nacional;
- Zona urbana de Oeiras, desde a zona do Palácio do Marquês até à Foz;
- Zona urbana de Leião, junto à Ribeira de Leião, próximo da praceta José Afonso e R. Augusta.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste volume foram apresentadas as metodologias e definidos os parâmetros base adoptados na modelação hidrológica e hidráulica do regime de cheias nos cursos de água do Concelho de Oeiras, bem como um breve resumo dos principais resultados obtidos.

Pôde-se ainda verificar que, quer a selecção do padrão das chuvadas a adoptar, quer a escolha das condições associadas à estimativa do número do escoamento das bacias a analisar, constituem parâmetros de grande importância para a determinação dos caudais de ponta de cheia.

Nos volumes seguintes deste trabalho (específicos para cada um dos principais cursos de água do Concelho), apresentar-se-á a modelação hidrológica e hidráulica do regime de cheias e, como corolário último destas, a delimitação das áreas inundáveis para cada cenário de cálculo.

Como se poderá constatar dos mesmos, os valores de caudais são normalmente superiores aos de estudos anteriores (consequência, nomeadamente, da escolha de um cenário de precipitação mais gravoso) mas, no entanto, as áreas inundáveis obtidas – para a mesma condição inicial de humedecimento do solo e igual período de retorno – são, geralmente, inferiores. Julga-se que este aparente paradoxo se deve ao muito maior rigor, quer em termos de levantamentos, que da análise hidráulica, adoptado neste trabalho, fruto também dos desenvolvimentos tecnológicos entretanto ocorridos e que a Equipa Projectista procurou potenciar de modo a que a CMO dispusesse de uma ferramenta de trabalho o mais rigorosa e fiável possível.

Outro aspecto que importa referir é que o objectivo último deste trabalho (a delimitação de áreas inundáveis) não é resolver os problemas inerentes à ocorrência de cheias, mas apenas apresentar um conjunto de “fotografias” às consequências de determinados cenários. Deste modo permitir-se-á à CMO, em conjunto com outras entidades Oficiais, criar um conjunto de formas de defesa contra fenómenos que, apesar de naturais, muitas vezes devido a acções e intervenções (ou, inversamente, por inacção) humanas, podem conduzir a trágicas consequências, não só económicas como, até, de perda de vidas.

Em termos gerais, os principais problemas que as linhas de água estudadas apresentam, são os seguintes:

- Ocupação de Solo - A cada vez maior impermeabilização das encostas, nomeadamente nas zonas de cabeceira, o colectar das águas de escorrentia superficial para redes de colectores (ambos talvez consequência da falta de regras urbanísticas mais restritivas na ocupação dos espaços ou a sua não aplicação), conduz à redução dos tempos de concentração e ao aumento dos caudais de ponta de cheia, diminuindo, igualmente, as recargas dos aquíferos;
- Limpeza e Manutenção da Linha de Água - O assoreamento por falta de limpeza e conservação do leito, faz com que haja galgamentos com os consequentes problemas humanos e económicos. Um aspecto intimamente ligado a este é o da educação ambiental, que evitará que parte das populações utilize as ribeiras como zona de depósito de lixos;

- Sub-dimensionamento de Secções - A existência de zonas com canalizações sub-dimensionadas (ou com problemas advindos da sua idade e conservação), nomeadamente em passagens hidráulicas, para além de zonas com dimensões de leito natural também insuficiente e que será necessário reperfilar, faz com que haja transbordamentos por vezes de dimensões significativas;
- Não implementação de estruturas de amortecimento de caudal há muito previstas, o que conduz à existência de caudais muito superiores aos que as linhas de água conseguem escoar.

Também em termos genéricos, existem, basicamente, dois tipos de medidas que deverão ser adoptadas:

- Medidas Directas e Estruturais - Implantação de bacias de retenção; Reformulação de passagens hidráulicas; Alteração da geometria e/ou da inclinação de canais naturais; Implantação de novos canais em soluções naturalizadas, nomeadamente através de materiais porosos; Estabilização de margens; Intervenções pontuais nos leitos; Desvio e/ou alteração de infra-estruturas drenantes existentes.
- Medidas Indirectas e Estruturantes - Criação e implementação de regras de ocupação de solos, nomeadamente: a desocupação de leitos de cheia e das áreas do Domínio Público Hídrico, a obrigatoriedade da existência de áreas permeáveis em novas ocupações urbanas, a possibilidade de transferência de parques urbanos para a zona das ribeiras minimizando custos e beneficiando o Ambiente e o evitar de construção nas cabeceiras das linhas de água, entre outras; Operações de limpeza, desobstrução e manutenção periódicas, com uma periodicidade mínima de um ano, preferencialmente antes da época das chuvas; Aspecto não directamente relacionado com as cheias mas que muito afecta o Ambiente, saneamento de todas as descargas poluentes nas linhas de água, nomeadamente a nível doméstico e industrial.

8 BIBLIOGRAFIA

Para a realização deste trabalho foi necessária a consulta de, para além dos dados e elementos de base referidos no capítulo 2, estudos e trabalhos realizados, de entre os quais se destacam:

Dados udométricos e hidrométricos

Foram consultados (INAG/SNIRH) os registos das precipitações diárias e máximas diárias anuais em postos climatológicos da região e as amostras dos caudais e/ou níveis máximos registados em estações hidrométricas da região do Concelho de Oeiras.

Estudos e Publicações

Os principais estudos e publicações consultados no decorrer do presente estudo foram:

- [1] APRH, 1984 – “Avaliação de caudais de cheia e mapeamento de zonas inundáveis aplicação ao caso da ribeira da Laje”, António G. Henriques; Maria de Fátima Azevedo
- [2] CMO, 1984 – Serviço de Planeamento SP 12/84 – Cálculo dos caudais de cheia da Ribeira de Algés para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos
- [3] CMO, 1984 – Serviço de Planeamento SP 12/84 – Cálculo dos caudais de cheia da Ribeira da Laje para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos
- [4] CMO, 1984 – Serviço de Planeamento SP 12/84 – Cálculo dos caudais de cheia da Ribeira de Barcarena para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos
- [5] CMO, 2011 – Plano Director Municipal de Oeiras. Revisão. Volume 1 – Relatório de caracterização e diagnóstico. Versão Janeiro 2011, GDM/CMO
- [6] INAG, DSRH, 1998 – Precipitações Intensas em Portugal Continental para Períodos de Retorno até 1000 anos
- [7] INAG, DSRH, 2001 – Análise de Fenómenos Extremos. Precipitações Intensas em Portugal Continental
- [8] INAG, DSRH, 2004 – “As Cheias em Portugal. Situações Hidrológicas Extremas: Precipitações Intensas e Caudais de Cheia”. Cláudia Brandão, Rui Rodrigues, Joaquim Pinto da Costa
- [9] LNEC, 1986 - Estudos de Precipitação com Aplicação no Projecto de Sistemas de Drenagem Pluvial
- [10] DGRAH, 1986 - Monografia Hidrológica do Rio Tejo
- [11] INAG, SNIRH, 1999 - Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. 1ª Fase – Análise e Diagnóstico da Situação de Referência. Volume III. Parte A – Sub-sistema Hidrológico

- [12] HEC, USACE. HEC1 – Flood Hydrograph Package. Users Manual
- [13] HEC-HMS – Hydrologic Modeling Systems. Users Manual
- [14] Lencastre, A; Melo Franco, F. – Lições de Hidrologia