UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE LETRAS
Departamento de Geografia
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁREAS INUNDÁVEIS NO CONCELHO DE POMBAL

Armando Luís Mendes Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos

Orientador científico
Lúcio José Sobral da Cunha, Professor Catedrático da FLUC
Co-orientador científico
Alexandre Manuel de Oliveira Soares Tavares, Professor Auxiliar, FCTUC

Coimbra, Setembro de 2010

UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE LETRAS
Departamento de Geografia
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁREAS INUNDÁVEIS NO CONCELHO DE POMBAL

Armando Luís Mendes Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos

Agradecimentos

Aos orientadores, Professor Doutor Lúcio Cunha e Professor Doutor Alexandre Tavares, pela sábia orientação científica e aos seus os valiosos ensinamentos que me transmitiram ao longo dos últimos anos, num constante processo de aprendizagem que muito me enriqueceu profissionalmente, assim como o constante incentivo e apoio à finalização deste trabalho, revelando sempre uma singular preocupação e disponibilidade em responder às inúmeras dúvidas e solicitações, tendo sido um enorme orgulho e prazer poder contar com a sua orientação.

À minha colega geógrafa, Dra. Ana Cardoso, pelo apoio e por toda a ajuda que me prestou quer nesta tese bem como ao longo destes últimos anos.

À Eng.ª Civil Catarina Ferreira (filha) pela ajuda com os programas de simulação, calculo e modelação hidrológica.

À Dra. Isabel Paiva da Universidade de Coimbra, pela preciosa ajuda através do seu aconselhamento e conhecimento científico neste tema.

À Professora Doutora Catarina Ramos da Universidade de Lisboa, que me leccionou na cadeira de Hidrologia Continental durante a minha licenciatura, o que me permitiu chegar até aqui.

Á CMP na pessoa do presidente da Câmara, Eng.º Narciso Ferreira Mota, bem como ao director do departamento de Planeamento e Urbanismo, Arqº Celestino Mota, que me permitiram que o primeiro trabalho que efectuado por mim para a CMP, fosse o levantamento hidrográfico do concelho. Por fim, todos os que trabalham neste departamento, embora não enuncie aqui os seus nomes, não se encontram esquecidos. A todos os meus AGRADECIMENTOS.

Resumo

As cheias naturais ou induzidas são fenómenos que podem provocar rupturas e impactos significativos nos sistemas sociais e económicos nas áreas por elas afectadas. A minimização desses efeitos passa essencialmente por dois tipos de medidas: as medidas estruturais e as não-estruturais, de carácter preventivo ou reactivo, encontrando-se as acções de resposta à emergência entre estas últimas. Para serem efectivas, estas acções têm de ser planeadas com antecedência e requerem a disponibilização de informação muito diversa e proveniente de várias fontes, incluindo a caracterização física, hidrológica/hidrográfica e sócio económica da área afectada, a identificação dos agentes a mobilizar em caso de catástrofe e a inventariação dos meios e recursos disponíveis.

As cheias de 26 de Outubro de 2006 no concelho de Pombal, constituem uma nova realidade com a qual a população da cidade terá que aprender a lidar. Geograficamente estas cheias abrangeram áreas de ocupação humana antigas e recentes, uma ocupação que cada vez mais se expande para os leitos de cheia dos vários cursos de água que atravessam ou convergem para o perímetro urbano da cidade. Urge, assim, conhecer melhor o território e suas vulnerabilidades de forma a se poder desenvolver medidas de minimização do risco que advêm da localização da cidade devido ao seu crescimento ao longo dos últimos 25 anos.

Palavra-chave: Cheias, inundações, vulnerabilidade, no concelho de Pombal.

Abstract

The natural or induced floods are phenomenons that may provoke ruptures and significant impacts on the social and economical systems in the area affected by them. The minimization of these effects depend essentially on two types of measures: the structural and non-structural measures, either preventive or reactive, where in the latter we find the responsive actions to the emergency. In order to be effective, these actions must be planned ahead of time and require the availability of very diverse information, arising from various sources, including the physical, hydrological/ hydrographical and socio-economical characterization of the affected area, the identification of the agents to assemble in the case of a catastrophe and the inventory of the available means and resources.

The last floods in the municipality of Pombal provided the population of the city with a new reality which they must learn to live with. Geographically, these floods affected areas of recent and old human occupation, an occupation which is expanding more and more towards the various flood beds of many courses of water that cross or converge towards the urban perimeter of the city. It is thus necessary to know the territory better as well as know its vulnerability in order to develop measures to minimize the risk associated to the location of the city and its growth over the last 25 years.

Key Words: Floods, inundations, vulnerability, in the municipality of Pombal

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

1 - INTRODUÇÃO 17

CAPITULO I 23

Conceitos de cheia e inundação. Teoria do Risco: Definição conceptual……..….22

CAPITULO II 33

- CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO TERRITÓRIO 33
1.2 - Enquadramento Geomorfológico 36
1.2.1 - Parte ocidental do concelho 36
1.2.2 - Parte central do concelho 36
1.2.3 - Parte oriental do concelho 37
1.3 – Hipsometria 37
1.4 – Geologia 40
1.4.1 - Litologia da bacia hidrográfica do Arunca no concelho de Pombal 41
1.4.1.1- Litologia 41
a – Aluviões 41
Q – Terraços fluviais 41
M_P – Areias e Argilas de Pombal e Redinha 41
C^1_A – Arenitos de Carrascal 42
J^3_G – Arenitos de Boa Viagem 42
J^3 – Camadas de Alcobaça e de Vale de Lagares 42
J^2_O – Calcários de Sicó 43
1.4.1.2 - Tectónica 44
1.5 – Climatologia 45
1.5.2 - Índices e Classificações Climáticas 50
1.5.2.1 - Climodiagramas 51
1.5.3 - Regime dos Ventos 52
1.6- Hidrografia do concelho de Pombal 53
1.7 – Ocupação do solo 58
1.7.1 - Tipo hidrológico de solo, utilização e cobertura do solo. 60
1.8 - Contaminação das águas subterrâneas 62

CAPITULO III 65

- PARÂMETROS QUANTITATIVOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS 65
1.1 - Análise quantitativa das componentes físicas da bacia hidrográfica 65
1.2 – Geometria 65
1.2.1 - Factor Forma (Horton, 1945) 66
1.2.2 - Índice de Gravelius ou Coeficiente de Compacidade 66
1.2.3 - Geometria: Conclusão 67
1.3 – Rede de drenagem 68
1.3.1 - Hierarquia (Strahler, 1952) 68

1.3.2 - Magnitude (Shreve, 1966) 69
1.3.3 - Comprimento do rio principal 69
1.3.4 - Densidade de Drenagem (Horton, 1945) 69
1.3.5 - Densidade Hidrográfica (Horton, 1945) 70
1.3.6 - Coeficiente de Torrencialidade. (Vivas, 1966) 70
1.3.7 – Rede de drenagem: Conclusão 71
1.4 – O relevo *73*
1.4.1 – Desnivelamento 73
1.4.2 - Relação de Relevo (Schumm) 73
1.4.3 - Índice de Rugosidade (Melton, 1957) 73
1.4.4 - Inclinação média ou gradiente dos cursos de água (Horton) 73
1.4.5- Conclusão 75
1.5 - Perfil longitudinal dos cursos de água *76*
1.5.1 – Conclusão perfis longitudinais. 77
1.6 – Tempos de resposta e concentração para bacias e sub-bacias *78*
1.6.1 -Tempo de concentração (J. Temez) 78
1.7 - Tempo de concentração para o perímetro urbano *79*
1.7.1 - Características do sistema de drenagem 79
1.8 - Tempos de concentração para as secções *81*
1.8.1 - Formula de Giandotti 81
1.8.2 - Fórmula de Temez 81
1.8.3 - Fórmula de Kirpich 81
1.8.4 - Fórmula do Soil Conservation Service 81
1.8.5 - Fórmula do Ven Te Chow 82
1.8.6 – Tempos de concentração e análise comparativa 82
1.8.7- Tempo de resposta para as bacias e sub-bacias 82
1.8.8 - Tempo de resposta para as secções no perímetro urbano. (Arunca) 83
1.9 - Conclusão tempo de concentração e de resposta *83*

CAPITULO IV 85

1 – CAUDAIS E CHEIAS NO ESPAÇO URBANO 85
2 - CARACTERIZAÇÃO DO PERÍMETRO URBANO 88
3 - O(S) REGIME(S): ANÁLISE DA INFORMAÇÃO UDOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA DISPONÍVEL 90
3.1 – Precipitações máximas *91*
3.2 - Precipitação média anual *92*
4 – CAUDAL DE CHEIA 93
4.1 - Considerações gerais *93*
4.2 – Calculo de caudais de cheia para bacias e sub-bacias *93*
4.2.1 – Caudal de Ponta (Forti) 93
4.2.2 - Método de Turazza – (Giandotti) 93
4.2.3 - Método proposto por Quintela (1984) 94
4.3– Calculo de caudais de cheia para o perímetro urbano de Pombal a partir da precipitação *96*
4.3.1 - Fórmula empírica: Método de Iszkowski (1986) 96
4.3.2 - Métodos empíricos e semi-empíricos 98
4.3.2.1 - Fórmula de Giandotti (adaptada) 98
4.3.2.2 - Formula racional 98
4.3.2.3 - Soil Conservation Service 100

4.4 -Caudais de ponta calculados através de caudais máximos instantâneos anuais para o rio Arunca *103*
4.4.1 - Análise estatística a partir da série de caudais instantâneos máximos anuais. 103
4.4.2 - Analise estatística da série de caudais instantâneos máximos anuais ... 104
4.5 - Caudais de ponta de cheia *104*
4.6 - Caudais dos principais ribeiros e ribeiras que convergem para o perímetro urbano *106*
4.6.1 - Caudais de ponta de cheia adoptados 107
5 – NÍVEIS DE CHEIA 108
5.1 - Considerações prévias *108*
6 - CHEIAS, INUNDAÇÕES E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO 117
7 - SUSCEPTIBILIDADE, ELEMENTOS EXPOSTOS OU ELEMENTOS EM RISCO 122
7.1 - Consequência e considerações finais *123*
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 129

Índice de Figuras

Figura 1 - Área de máxima infiltração aquando da elaboração do 1º PDM de Pombal, 1995... 19
Figura 2 - Leitos de cheia do PDM de Pombal elaborado em 1995.. 20
Figura 3 - Área de máxima infiltração proposta para o novo PDM, 2005.. 20
Figura 4 - Leitos de Cheia propostos para o novo PDM, 2005.. 21
Figura 5 - Sobreposição da área de máxima infiltração com os leitos de cheia para o novo PDM, 2005.. 21
Figura 6 - Mapa de enquadramento geográfico do Concelho de Pombal.. 33
Figura 7 - Regiões Biofísicas do concelho de Pombal 35
Figura 8 - Mapa hipsométrico do concelho de Pombal 38
Figura 9 - Mapa de declives do concelho de Pombal. 38
Figura 10 - Mapa de orientação de vertentes do concelho de Pombal.. 39
Figura 11 - Geológica simplificada do concelho de Pombal á escala 1:25000. 44
Figura 12 - Valores de Temperatura para a região I no concelho de Pombal 48
Figura 13 - Valores de Temperatura para a região II no concelho de Pombal. 48
Figura 14 - Valores de Temperatura para a região III no concelho de Pombal 49
Figura 15 - Dias de precipitação e precipitação média mensal, região I, concelho de Pombal... 49
Figura 16 - Dias de precipitação média mensal, região II, concelho de Pombal 49
Figura 17 - Dias de precipitação média mensal, região III, concelho de Pombal. 50
Figura 18 - Climograma do concelho de Pombal. 52
Figura 19 - Regime de ventos no concelho, Região I, II e III, 1997-2001. 53
Figura 20 - Relação entre a permeabilidade do solo e subsolo e os caudais de ponta das cheias 55
Figura 21 - Principais bacias e rede hidrográfica do território de Pombal 57
Figura 22 - Bacias e sub-bacias do território de Pombal 58
Figura 23 - Ocupação da vegetação no concelho de Pombal 59
Figura 24 - Ocupação do solo por freguesias. 59
Figura 25 - Escoamento superficial vs. infiltração (A – área florestal; B - área urbanizada; Hamblin e Christiansen, 2001) e diferenças nos respectivos caudais de ponta (C; Ward e Trimble, 2004) 60
Figura 26 - Localização de pedreiras na serra de Sicó. 63
Figura 27 - Influência do relevo da bacia (altitude e declive) no hidrograma de cheia; ab – perfil longitudinal do curso de água, Q – caudal, t - tempo. Fonte: (Gregory e Walling, 1973). 74
Figura 28 - Perfil longitudinal do Rio Arunca.. 76
Figura 29 - Perfil Longitudinal da Ribeira de Carnide 76
Figura 30 - Perfil Longitudinal do Rio Anços. 77

Figura 31 - Localização das secções 79
Figura 32 - Cursos de água que convergem para a cidade de Pombal 80
Figura 33 - Avenida Heróis do Ultramar – 26/10/2006,(cheia proveniente do Rº do Vale e Rª O. Galegas)..... 86
Figura 34 - Rua 1º de Maio (Cheia com origem na ribeira do O. Galegas). 86
Figura 35 - Av. Heróis do Ultramar - Em frente ao Hospital – (cheia proveniente do Rº do Vale)..... 87
Figura 36 - Cheia junto ao mercado municipal (proveniente da Rª do O. Galegas). 87
Figura 37 - Avenida H. do Ultramar Em frente ao Hospital. (cheia proveniente do Rº do Vale). 88
Figura 38 - Expansão da área urbana, 1970 – 2008. 89
Figura 39 - Bacias convergentes para a cidade de Pombal.. 89
Figura 40 - Secção S-1. 109
Figura 41 - Secção S-4. 109
Figura 42 - Secção S-7. 109
Figura 43 - Secção S - 10. 110
Figura 44 - Secção S -15. 110
Figura 45 - Secção S- 19. 110
Figura 46 - Secção S - 23. 111
Figura 47 - Secção S - 25. 111
Figura 48 - Tr = 10 e Tr = 100 para o sector urbano de Pombal. 115
Figura 49 - Cheias do Rio Arunca, Ribeira do Outeiro Galegas e Ribeiro do Vale a 26/10/2006 116
Figura 50 - Áreas impermeabilizadas nas bacias envolventes à cidade 117
Figura 51 - Exsurgências e pedreiras a Leste da cidade de Pombal 119
Figura 52 - Cheias , Sub- bacias sector Leste da cidade de Pombal 120
Figura 53 - Tr 10, Tr 100 Bacia do Arunca e sub-bacias do sector leste da cidade de Pombal 121
Figura 54 - Susceptibilidade a cheias no concelho de Pombal..... 122
Figura 55 - Locais públicos no concelho de Pombal com danos provocados pelas cheias de 26/10/2006..... 124
Figura 56 - locais públicos e privados na cidade de Pombal com danos provocados pelas cheias de 26/10/2006..... 125

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Nº de mortos e evacuados nas principais cheias nos últimos 40 anos em Portugal ... 25
Tabela 2 - Regiões Biofísicas. ... 34
Tabela 3 - Representatividade das exposições no concelho de Pombal ... 39
Tabela 4 - Temperaturas e Precipitações por regiões climáticas no concelho de Pombal ... 47
Tabela 5 - Classificação climática de Pombal ... 50
Tabela 6 - Balanços hídricos, por região segundo o método Thornthwaite para o concelho de Pombal ... 51
Tabela 7 - Período de Actividade vegetativa por região climática ... 51
Tabela 8 - Valores de condutividade hidráulica extraídos de Gregory e Walling (1973). ... 55
Tabela 9 - Valores das variáveis da Geometria para as bacias hidrográficas do concelho de Pombal ... 67
Tabela 10 - Densidades de drenagem, válidas para a escala 1:25 000 (Gregory e Walling, 1973) ... 70
Tabela 11 - Valores das variáveis rede de drenagem no concelho de Pombal ... 71
Tabela 12 - Valores das variáveis rede de drenagem no concelho de Pombal. ... 74
Tabela 13 - Tempo de concentração para as varias linhas de água do concelho de Pombal ... 78
Tabela 14 - Área das secções, dentro do PU de Pombal ... 79
Tabela 15 - Tempos de concentração por secções. ... 82
Tabela 16 - Tempo de resposta para as várias linhas de água do concelho de Pombal ... 83
Tabela 17 - Tempo de resposta para as secções no perímetro urbano ... 83
Tabela 18 - Coordenadas do posto udométrico ... 90
Tabela 19 - Valores das precipitações máximas diárias para os diferentes tempos de retorno ... 91
Tabela 20 - Parâmetro λ da fórmula de Giandotti para o cálculo do caudal máximo de cheia ... 94
Tabela 21 - Cálculo de caudais de cheia por método ... 94
Tabela 22 - Quadro Weise/Reid. ... 97
Tabela 23 - coeficiente variável com a área da bacia hidrográfica. ... 97
Tabela 24 – Parâmetros da curva IDF ... 99
Tabela 25 - Valores do coeficiente “C” para o método racional segundo o American Society of Civil Engineers (Carvalho, 1998) ... 99
Tabela 26 - Correspondência entre os números de escoamento “N” para diferentes condições de humedecimento do solo (Lencastre e Franco, 2003). ... 101
Tabela 27 - Caudais de cheia para as secções referenciadas no rio Arunca na cidade de Pombal ... 102
Tabela 28 - Registos de caudais instantâneos máximos anuais, ponte de Mocate. Fonte: SNIRH (2008) ... 103

Tabela 29 - Ajustamento de leis estatísticas à amostra de caudais instantâneos máximos anuais, Ponte de Mocate (13F/04). 104
Tabela 30 - Rio Arunca. Caudais de ponta de cheia obtidos a partir da análise estatística (m^3/s) 105
Tabela 31 - Calculo dos caudais da Ribeiro do Travasso segundo a fórmula racional 106
Tabela 32 - Calculo dos caudais do Ribeiro do Vale segundo a fórmula racional 106
Tabela 33 - Calculo dos caudais do Ribeiro Outeiro Galegas segundo a fórmula racional 106
Tabela 34 - Ribeiros - Caudais de ponta de cheia 106
Tabela 35 - Nível da superfície livre por secção 112

Abreviaturas

- **RAN –** Reserva Agrícola Nacional
- **REN –** Reserva Ecológica Nacional
- **PDM –** Plano Director Municipal
- **INAG –** Instituto Nacional da Água
- **ANPC –** Autoridade Nacional de Protecção Civil
- **SVAC –** Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias
- **PBH –** Planos de Bacia Hidrográfica
- **GTF –** Gabinete Técnico Florestal
- **CMP –** Câmara Municipal de Pombal
- **APA** – Agência Portuguesa do Ambiente

1 - Introdução

A Hidrologia apresenta-se-nos como uma disciplina assente em matrizes teóricas, experimentais e computorizadas, recorrendo a bases cartográficas, alfanuméricas e probabilísticas. Daí que num dos domínios de ponta da hidrologia, que são os estudos de cheias, a formulação de hipóteses, o seu teste e validação estejam fortemente dependentes do valor intrínseco da informação de base. Assim, além das valências hidrológicas, telecomunicações e sensores, bases de dados, tecnologia de informação e modelação hidrológica, também tem que se possuir capacidade técnica e metodologias para validar os dados, particularmente no domínio da hidrometria.

Os dados a usar deverão ser do tipo alfanumérico, geográfico/cartográfico e a sua gestão requer ferramentas adequadas de armazenamento, tratamento e divulgação.
O tema a tratar: "*Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas, áreas inundáveis do concelho de Pombal*", tem como objectivo identificar o tipo de cheias que ocorrem no território deste concelho (progressivas ou rápidas), a sua cota máxima, para períodos de retorno de 10 e 100 anos, a partir da ocorrência de fenómenos extremos de precipitação e caudais instantâneos máximos anuais para a bacia do Arunca, utilizando-se modelos quantitativos associados a outros assentes nas características geofísicas e climáticas do território.

Recorre-se a duas escalas temporais para validar as hipóteses propostas. A primeira terá como base as cheias com um tempo de retorno igual a 100 anos, assente na susceptibilidade do território às cheias e a partir da qual se fará o zonamento do território e se classificará o tipo de cheia, progressiva ou rápida, quais as sub-bacias que possuem características para desenvolveram pontas de cheia a partir dos resultados obtidos. A outra escala temporal, para um período de retorno de 10 anos será aplicada só ao perímetro urbano da cidade de Pombal.

Estas duas escalas coincidem com duas escalas espaciais distintas, uma que abrange o concelho na sua totalidade e onde são aplicados modelos de análise mais generalistas, obtendo-se resultados que podem tender para o excesso devido à utilização de valores de precipitação máxima e caudais máximos instantâneos. A outra limita-se ao perímetro urbano da cidade de Pombal e tem em conta os caudais produzidos pelas bacias dos

cursos de água adjacentes à cidade, bem como às águas provenientes da impermeabilização urbana a partir dos quais se fará a delimitação e a modelação das áreas sujeitas a cheias e inundações.

Estes modelos permitem-nos calcular caudais, tempos de resposta e de concentração para qualquer ponto das bacias em análise. Para isso basta seleccionar a secção de referência da área pretendida.

Para a área urbana da cidade de Pombal, o modelo adoptado, assenta na comparação de várias metodologias desenvolvidas para diversas regiões por diferentes autores, pretende-se obter as cotas máximas submersas para os períodos de retorno em análise, níveis de alerta e aviso a partir dos tempos de resposta, dos períodos de precipitação de elevada concentração e dos caudais máximos instantâneos. Identificar qual o contributo da expansão urbana nas inundações da cidade de Pombal, onde e quais as infra-estruturas, equipamentos, população que poderão ser atingidos, o tipo de cheia e qual o contributo do processo de urbanização recente como potenciador deste fenómeno hidrológico, de forma a se poder identificar:

1- Quais as bacias hidrográficas do concelho de Pombal que possuem maior ou menor susceptibilidade para a ocorrência de cheias?
2- Quais as suas características?
3- Como classifica-las? E quais são as que são as mais susceptíveis a cheias rápidas e cheias progressivas.

Uma das vantagens da elaboração de índices será de eliminar a subjectividade de diferentes interpretações. As figuras abaixo (Figuras 1 a 5) que representam o território do município de Pombal, servem de exemplo para ilustrar esta situação. O território mantêm-se o mesmo, no entanto no espaço de 10 anos houve duas interpretações diferentes quanto a áreas de máxima infiltração e áreas sujeitas a cheias.

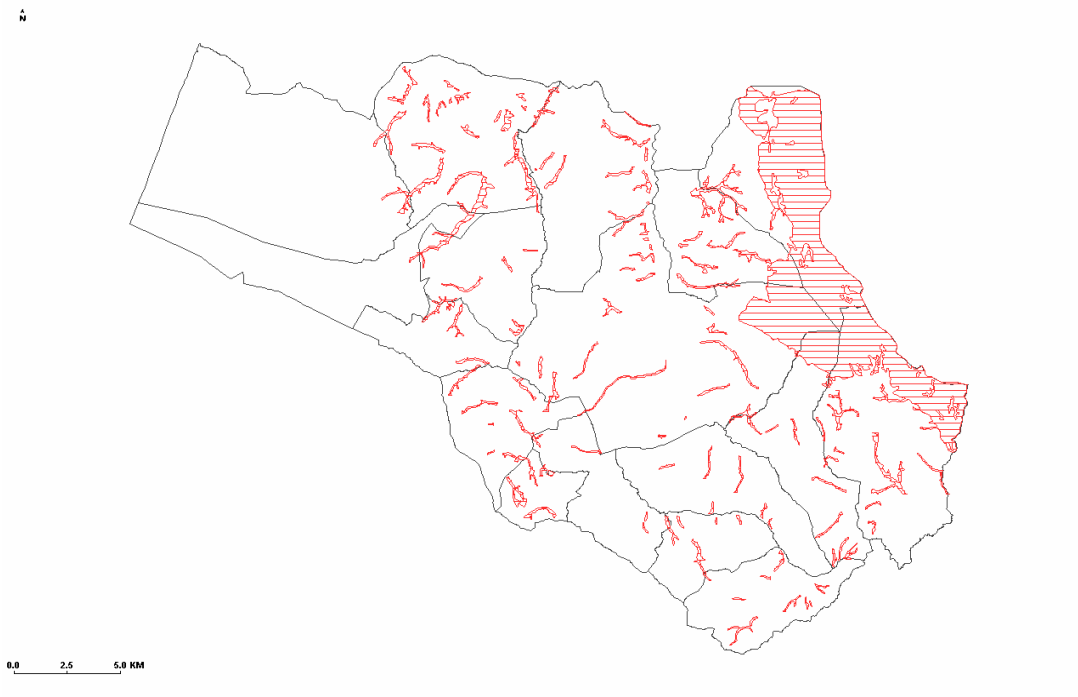


Figura 1 - Área de máxima infiltração aquando da elaboração do 1º PDM de Pombal, 1995**.** Fonte: CMP.

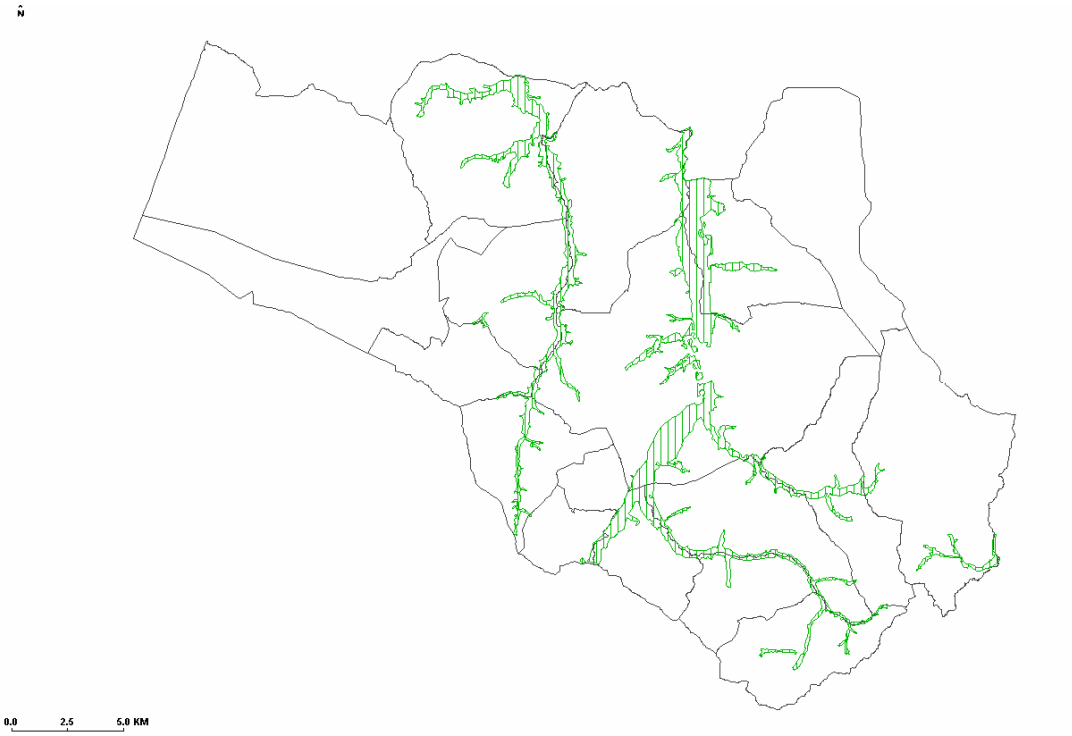


Figura 2 - Leitos de cheia do PDM de Pombal elaborado em 1995**.** Fonte: CMP.

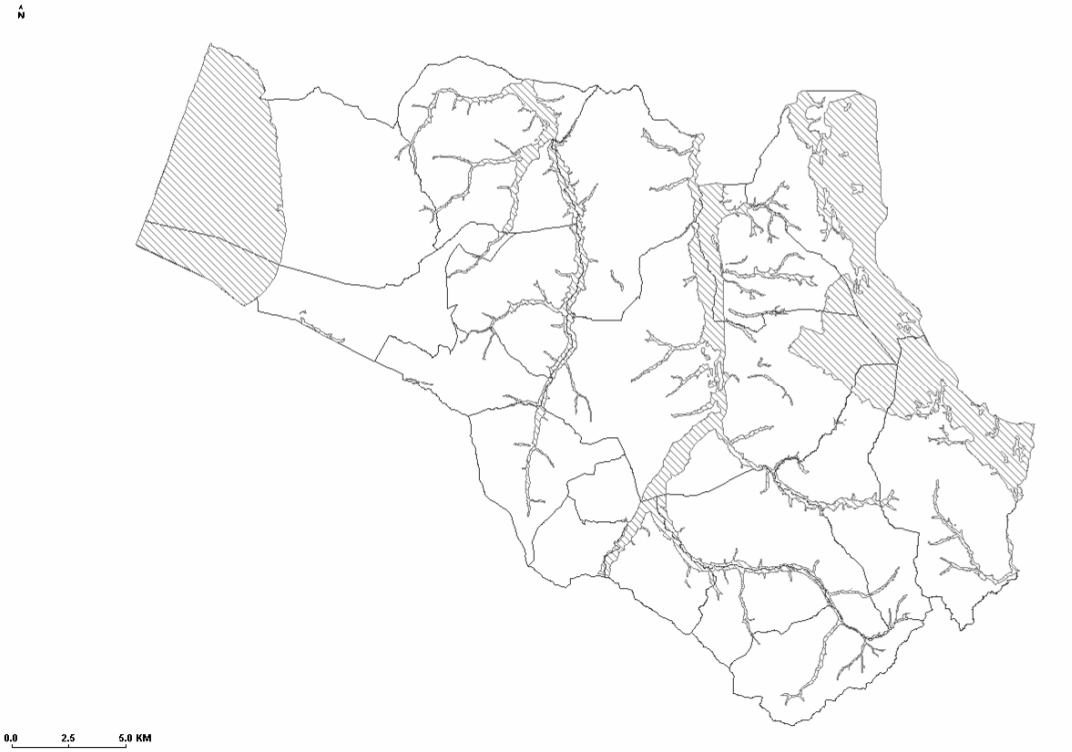


Figura 3 - Área de máxima infiltração proposta para o novo PDM, 2005. Fonte: CMP.

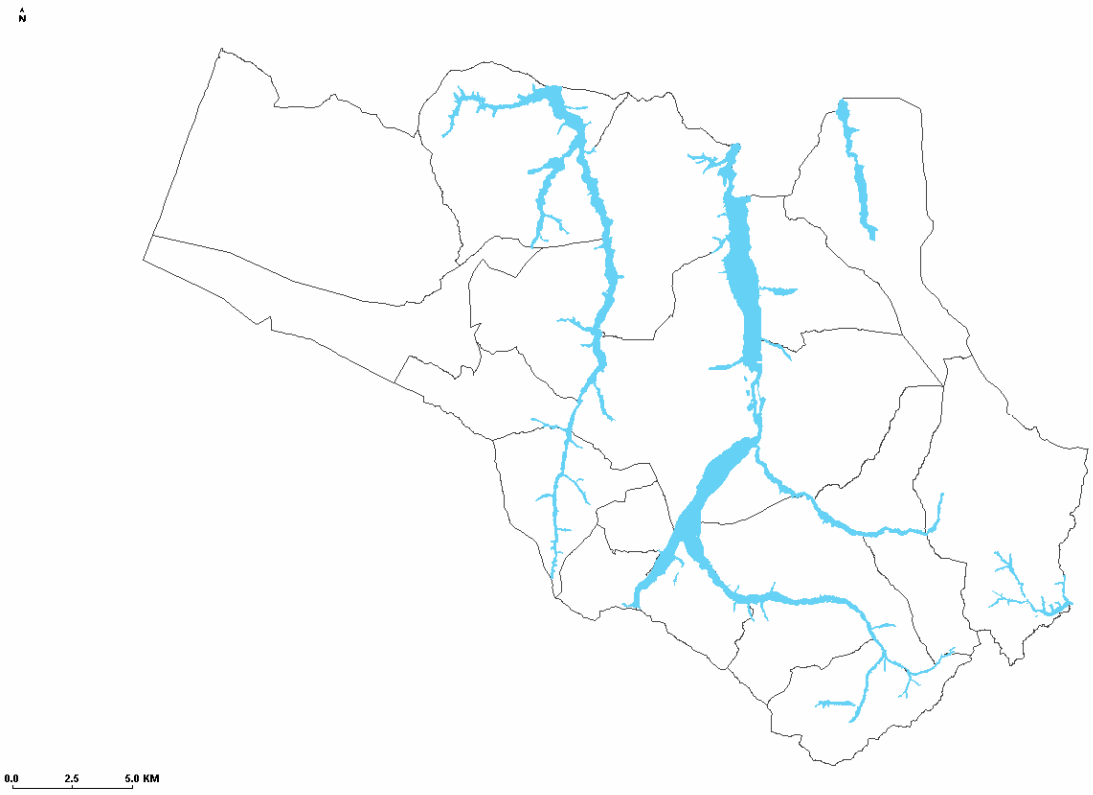


Figura 4 - Leitos de Cheia propostos para o novo PDM, 2005**.** Fonte: CMP.

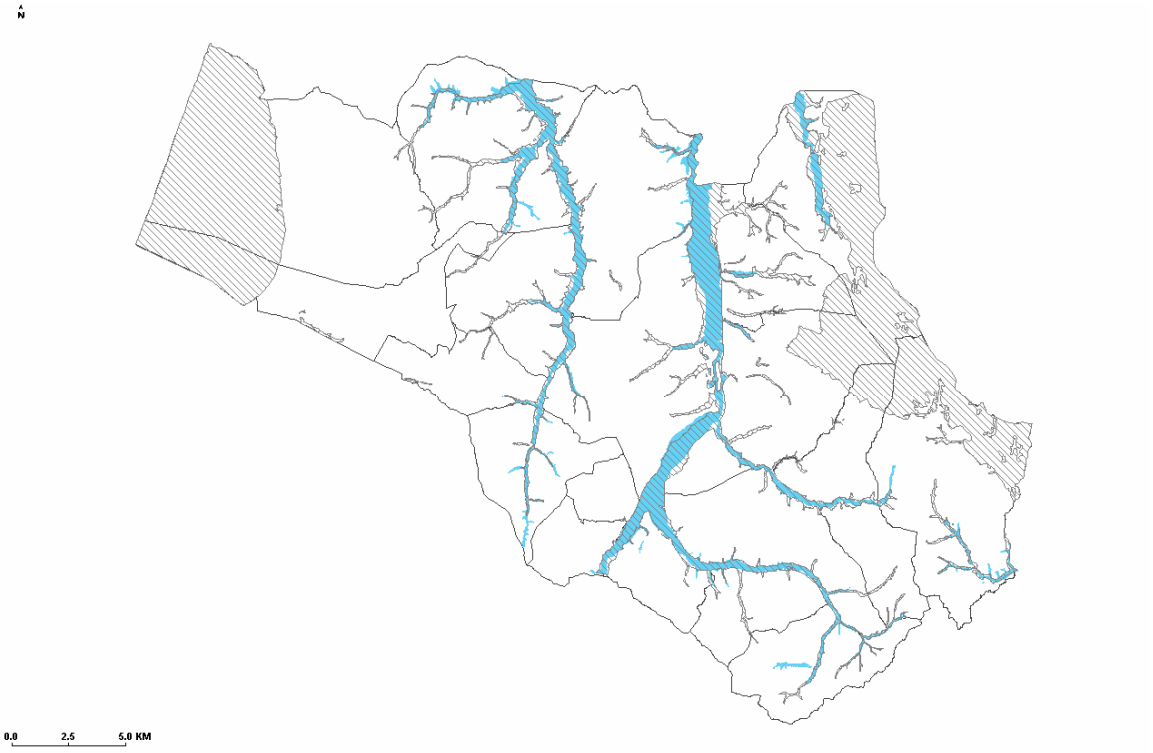


Figura 5 - Sobreposição da área de máxima infiltração com os leitos de cheia para o novo PDM, 2005. Fonte: CMP.

Como se pode verificar pela cartografia apresentada, as áreas de máxima infiltração, que condicionam fortemente o escoamento superficial e a sua velocidade, tiveram um tratamento cartográfico distinto num intervalo de tempo de 10 anos.

Embora a cartografia de leito de cheia apresente algumas semelhanças, ou seja, ambas apresentam os fundos dos vales como áreas inundáveis, também evidenciam erradamente uma redução da área de cheia dentro do perímetro urbano da cidade de Pombal. O simples facto de se representar na cartografia de 2005 os fundos dos vales como sendo de máxima infiltração condiciona a alteração do uso do solo, atenua esta lacuna e apresenta-se como uma medida de prevenção face à pressão urbanística local.

CAPITULO I

1- Os conceitos de cheia e inundação. A teoria do Risco: definição conceptual

As inundações são o risco natural que mais pessoas atinge em todo o mundo, apesar de as áreas de elevada susceptibilidade estarem suficientemente identificadas (*Blaikie, Cannon, Davis e Wisner, 1994).*

O desastre natural que em Portugal mais mortos e prejuízos materiais provoca, são as inundações rápidas, ou seja, as que desenvolvem uma "ponta de cheia" repentina, com elevada velocidade de propagação dessa "ponta de cheia", o que originará uma súbita subida do caudal nas bacias e seus respectivos canais de drenagem.

Convencionalmente as cheias aparecem classificadas como: Cheias Progressivas e Cheias Rápidas.

Segundo a *UNESCO/OMM*, o termo *cheia* é definido como "uma subida, geralmente rápida, do nível de um curso de água até um máximo a partir do qual desce em geral mais lentamente" *Smith e Ward, (1998),* citando *(Chow 1956),* definem cheia como *"um fluxo elevado que extravasa o leito normal do curso de água"*.

O conceito de cheia aparece, pois, ligado à dinâmica da hidrologia continental, podendo ter, ou não, associada a ideia de inundação, embora na literatura da especialidade estes dois conceitos estejam quase sempre ligados.

Para *Salomon (1997),* estes dois conceitos estão efectivamente associados, porque *"uma inundação é um fenómeno ocasional que pode alagar vastas áreas do leito de cheia ou da planície aluvial, no seguimento de uma cheia particularmente importante e do consequente transbordar das águas fluviais"*.

O tipo de cheias conhecidas como "cheias progressivas" afecta principalmente as grandes bacias hidrográficas, provocando uma inundação gradual por uma área que pode ter uma grande extensão. Geralmente atinge os fundos dos vales das planícies aluvionares, também designados por leito de inundação e podem durar semanas.

Este tipo de cheias é causado por períodos de chuva abundante relacionada com a circulação zonal de Oeste que pode manter sobre o mesmo local uma situação de tempo chuvoso durante semanas. No entanto, estas cheias não constituem geralmente um perigo imediato para a população, porque ela aprendeu ao longo dos tempos a adaptar-se a este tipo de ocorrência, conhecendo, como e quando, devem mudar os bens que se

encontram nessas áreas habitualmente inundáveis. Este tipo de cheia está estritamente relacionado com o conceito de "inundação" sendo esta definida segundo o Glossário Internacional de Hidrologia da *UNESCO/OMM*, como uma: *"submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água ou uma acumulação de água proveniente de drenagens, em zonas que normalmente não se encontram submersas"*.

Por outro lado, as "cheias rápidas" são perigosas, repentinas e mortíferas, tais como as que ocorreram nos anos de 1967, 1983, 1997, 2006, 2010 (Tabela 1). Este tipo de cheia afecta as pequenas bacias de drenagem e é causado no nosso país por chuvadas fortes e concentradas, devido a depressões convectivas *(Ferreira, 1985).*

A magnitude de uma cheia rápida, normalmente associada a um determinado período de retorno, é tanto maior e consequentemente mais perigosa quanto maior for esse período de retorno. Este tipo de cheia apresenta frequentemente tempos de concentração muito curtos, que dão origem a tempos de resposta também muito curtos, não permitindo qualquer resposta de defesa por parte das populações atingidas, até mesmo porque estas vão "perdendo a memória"relativamente a episódios extremos com o passar do tempo.

A desflorestação, a impermeabilização dos solos, a urbanização caótica, a construção em leito de cheia, o entulhamento e a canalização de cursos de água de baixa hierarquia, contribuem para o agravamento deste tipo de cheias (*Ramos, Reis, 2001).*

Estas cheias são especialmente problemáticas em pequenas bacias, pois como os seus tempos de concentração são muito reduzidos, pode haver um agravamento da situação se nos seus vales imperar um ordenamento urbano caótico.

Como se pode verificar na tabela 1, as cheias rápidas mais devastadoras têm ocorrido mais frequentemente nos meses de Outubro a Dezembro.

Em 1997, este tipo de cheia fez 11 mortos na região Alentejana e 21 na Estremadura Espanhola (tabela 1). Isto deve-se ao facto das populações destas regiões estarem mais habituadas à falta de precipitação do que ao seu excesso, tendo sido apanhadas de surpresa morrendo afogadas dentro das suas próprias casas ou arrastadas pela corrente (*Ramos, Reis, 2001).* Para *Rebelo (1997,* este tipo de fenómeno natural pode ter um carácter bastante rápido, resultantes da ocorrência de chuvas muito intensas e de curta duração.

De um modo sucinto a (Tabela 1) mostra a gravidade das cheias em termos de mortos e evacuados nos últimos 40 anos em Portugal.

Tabela 1 - Nº de mortos e evacuados nas principais cheias nos últimos 40 anos em Portugal

Data	Local	Mortos	Evacuados
Dez 1967	Loures/lisboa	+ de 400	-
Fev 1979	Santarém	-	1187
1979	Ilha da Madeira	19	Centenas
1979	Norte do País	4	Centenas
1981	Lisboa	30	Centenas
Nov 1983	Cascais	10	-
Dez 1989	Régua	-	1500
Dez 1989	Ribatejo	1	-
1996	Norte e Centro	10	Centenas
Out/Nov 1997	Ourique, Moura, Monchique	11	Centenas
Dez 2000	Santarém, Porto, Régua	2	30
2001	Mesão Frio e Seia	6	Centenas
Jan a Mar	Montemor-o-Velho	8	-
2002	Norte	1	Centenas
Out 2006	Pombal	1	6
Fev 2010	Ilha da Madeira	42	Centenas

Fonte: adaptado de CRED (2008).

O estudo do risco hidrológico no presente trabalho obriga à definição de alguns conceitos ligados à teoria do risco, aspecto fundamental para posteriores análises e conclusões.

Risco - probabilidade de ocorrência de um processo (ou acção) perigoso e respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, directos ou indirectos. (R= P*C), produto da perigosidade pela consequência *(Guia ANPC).*

Dentro da teoria do risco surgem também os conceitos de *aléas* ou *hazard* e de *vulnerabilidade* estando relacionados os primeiros com os processos desencadeados e a segunda com o comportamento económico, social.

Os termos *aléas* e *hazard*, significam assim, a probabilidade de ocorrência de um fenómeno perigoso. Para *Henry (2004), aléas* é a probabilidade de ocorrência numa dada região, e num dado período, de um fenómeno capaz de provocar estragos.

Segundo F. *Rebelo (1999)*, não há necessidade de se falar em *perigosidade, acaso* ou *casualidade*, devido ao carácter imprevisível e subjectivo do ser humano em estar sempre presente. Assim para ele deverá adoptar-se o termo de *risco*.

Outro dos conceitos a definir é o de perigosidade. Assim, pode dizer-se que a *perigosidade* reside principalmente em factores perigosos, ou seja, em parte, na susceptibilidade, como definem *(Dunne e Leopol, 1978*, citados por *Ojeda, 1997*).

Segundo estes autores, podem identificar-se os factores físicos como principais elementos capazes de constituir perigo.

A *perigosidade* neste tema será a probabilidade de ocorrência de precipitação intensa e concentrada, associada às características físicas de uma bacia hidrográfica e à época do ano e hora que ocorre essa inundação. Deixa-se aqui em aberto, se poderá constituir maior perigo se ocorrer de dia ou de noite, até porque, existe sempre a tendência de tentar salvar o que já não tem salvação.

No guia da ANPC a *perigosidade* aparece definida como a probabilidade de ocorrência de um processo ou acção (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade, numa área e num dado período de tempo, representável cartograficamente por mapas de zonamento, nos casos dos processos naturais e mistos identificados. A probabilidade de ocorrência é quantificada e sustentada cientificamente.

São variáveis da perigosidade: a causa da cheia, tipo de rede de drenagem e sector do rio, as características da bacia hidrográfica, o caudal de cheia e a altura atingida pelas águas, a velocidade de propagação, a duração da inundação, a área inundada, a magnitude da inundação, a altura do ano e hora em que ocorre a inundação, a frequência/tempo de retorno.

A *vulnerabilidade* representa o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos às cheias, estando a montante do conceito do *risco*, e está fortemente ligada às características sociais, económicas, etárias e culturais de uma sociedade, e também das medidas estruturais e não estruturais da ocupação do território, ou seja, a *vulnerabilidade* está associada a variáveis sócio - estruturais, urbanísticas, culturais e físicas.

Ainda assim, segundo alguns autores, a *vulnerabilidade* passa pela capacidade das sociedades darem resposta às crises provocadas por um fenómeno natural e tecnológico, ou seja, à sua capacidade de reagir e recuperar da adversidade que os atingiu.

Assume-se, assim, o pressuposto de um determinado grau de vulnerabilidade permanente do sistema social. A vulnerabilidade social aos desastres é sinónima de insegurança e fragilidade face a um perigo, em que existe um nível e um determinado grau de exposição, onde se terá que avaliar a capacidade de absorver e recuperar dos impactes sofridos.

A caótica ocupação dos leitos de cheia contribui para aumentar a vulnerabilidade de algumas populações, principalmente em locais de elevada densidade ocupacional. A educação, o estrato etário, o sexo, a cultura, a percepção do risco e o nível tecnológico são fundamentais na variação da vulnerabilidade *(Ribeiro, 1985).*

A capacidade de uma determinada sociedade para a prevenção, alerta e evacuação, bem como o tipo de estruturas e entidades de apoio à população são cruciais para minorar a vulnerabilidade.

Segundo o guia metodológico da Autoridade Nacional de Protecção Civil, *vulnerabilidade* é o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou acção) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade. Expressa-se numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total), e reporta-se aos elementos expostos. Pressupõe a definição de funções ou matrizes da vulnerabilidade reportadas ao leque de severidades de cada perigo considerado.

Assim, a *vulnerabilidade,* é um processo dinâmico, diferenciado consoante a organização, distribuição e composição social de um local, região ou país.

São variáveis da vulnerabilidade: as características do grupo humano ou sociedade ameaçados por um fenómeno natural, o uso do solo, a localização das edificações humanas, a densidade populacional, o tipo de estruturas e entidades/colectividades de apoio, a eficácia dos sistemas de prevenção, a eficácia dos sistemas de evacuação e resposta à inundação, o nível tecnológico e o grau de organização de um grupo humano, a cultura, a educação, a classe social e a percepção do risco.

No que se refere a cheias e inundações produzem, portanto, diferentes impactes de acordo com o grau de vulnerabilidade gerado pelo sistema económico onde se insere um determinado grupo humano *(Blaikie, Cannon, Davis e Wisner, 1994).*

O conhecimento e a quantificação do risco de inundação numa determinada área devem ter em conta dois aspectos fundamentais: por um lado a perigosidade e por outro lado a vulnerabilidade. A conjugação dessas duas premissas resulta na obtenção do *grau de risco* numa determinada área.

Ainda dentro da ciência geocindinica, surge o conceito de *susceptibilidade,* que deve ser entendida como a incidência espacial do perigo, representa a propensão para uma área ser afectada por um determinado perigo em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos factores de predisposição para a ocorrência dos processos ou acções, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. (*Guia ANPC, 2009*).

Esta é representável cartograficamente através de mapas de zonamento, sobretudo nos casos dos processos naturais e mistos identificados.

2- Gestão do risco de cheia, medidas estruturais e não estruturais de defesa contra cheias e Ordenamento do Território.

O risco de inundação num determinado lugar corresponde ao número expectável de perdas de vidas de feridos, de danos e perda de equipamentos colectivos e individuais, bem como da ruptura da actividade económica *(Rocha, 1993).* O risco de inundação depende da perigosidade de ocorrência de cheias e inundações e da vulnerabilidade dos grupos humanos numa determinada área ou região.

O Ordenamento do Território está estritamente relacionado com a temática das cheias e autores como *Sobrinho (1985), Saraiva (1987 e 1988) e Saraiva e Correia (1993)* têm vindo a focar esta problemática relação, debatendo, por vezes, demoradamente esta temática.

O ordenamento e a gestão de áreas vulneráveis a inundações têm vindo aos poucos a recorrer à utilização de novas ferramentas, nomeadamente a software SIG e de modelação de caudais para elaboração de cartografia de risco, de zonamento e de simulação de cheias.

A elaboração de cartografia sobre áreas de risco de inundação, bem como, a importância dessa cartografia na gestão e ordenamento das áreas ameaçadas têm vindo a ganhar peso em trabalhos internacionais. Neste capítulo realça-se os trabalhos de *Garry (1993 e 1994*) e *Cantos (2004)*.

No que se refere a Portugal, esta cartografia deverá ser elaborada pelos municípios que estão a efectuar a revisão dos Planos Directores Municipais.

Em termos metodológicos, até há bem pouco tempo, não existia uma metodologia bem definida e estandardizada para efectuar este zonamento, pois raramente se recorria à elaboração do zonamento de área sujeita a cheia, com base nos dados hidrológicos e topométricos do território, e a escala de representação usada, era em regra, inadequada para situações de planeamento de emergência.

Recentemente, em Setembro de 2009 foi publicado pela ANPC, um guia metodológico para a elaboração de cartografia de risco e quais as variáveis a ter em conta.

Relativamente ao capítulo da legislação, o Decreto-Lei nº 468/71 de 5 de Novembro, alterado pelo Decreto-Lei nº 48/87 de 26 de Fevereiro impõe a obrigatoriedade de elaboração de cartografia de risco para as áreas de elevada susceptibilidade às cheias.

Neste diploma, estabelecem-se medidas de protecção às zonas ameaçadas pelas cheias, nomeadamente através da elaboração de plantas que delimitem a área classificada como

"zona ameaçada por cheias" e define, dentro dela, as áreas de ocupação edificada ou de proibição e áreas de edificação condicionada.

No mesmo sentido, o Decreto – Lei nº 364/98 estabelece a obrigatoriedade de elaboração de cartas de zonas inundáveis no interior dos perímetros urbanos das áreas atingidas pela maior cheia conhecida.

As actuações de defesa e protecção face à ocorrência de cheias visam, fundamentalmente, a defesa de vidas humanas e bens, a minimização dos prejuízos e a atenuação dos impactes deste tipo de riscos naturais, bem como a maximização de eventuais benefícios causados.

O Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos (*SVARH)* do INAG, entidade responsável em Portugal pelo acompanhamento dos fenómenos hidrométricos, consiste num sistema que permite conhecer em tempo útil o estado hidrológico dos rios e albufeiras.

No intuito de apoiar as acções da Protecção Civil, o INAG desenvolveu um Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias *(SVAC)* onde é possível aceder, em tempo real, a toda a informação importante na previsão e gestão de situações de provável cheia.

A população, os dirigentes, as organizações, a comunicação social, no momento e nos dias seguintes à ocorrência de uma catástrofe, mostram-se muito sensíveis ao acontecimento, iniciando de imediato uma campanha de reivindicações, mas à medida que o tempo avança vão esquecendo a sua gravidade, numa espécie de perda de memória colectiva histórica *(Ojeda, 1997).* A passagem do tempo traduz-se, assim, numa *atenuação social do risco*, processo que não atinge apenas a população em geral, mas também os técnicos e os decisores *(Silva, 2004).*

Ocorre frequentemente nas populações que vivem nas planícies aluviais uma exagerada confiança na tecnologia de regularização das bacias hidrográficas (exemplo: as barragens a montante de Coimbra). No entanto, registos históricos já mostraram que a tecnologia não oferece total protecção às populações *(Smith e Ward, 1998*), o que incute uma falsa sensação de segurança na sociedade em geral, relegando para um plano inferior o que está a montante de uma cheia.

Assim para a redução dos prejuízos e impactes das cheias é tradicional a consideração de dois tipos de medidas - as estruturais, envolvendo formas diversas de intervenção através de estruturas que visam a redução de um ou vários parâmetros que caracterizam as cheias bem como a área inundável, o caudal e a altura de cheia. As não-estruturais, envolvendo acções de carácter preventivo ou de ajustamento que têm por objectivo a

redução do risco através da modificação da susceptibilidade aos prejuízos das actividades socio-económicas nas áreas inundáveis.

Existem portanto várias medidas para minimizar o risco de cheia em planícies aluviais, tal como referido na obra de *Miller (1997)*. No caso das medidas estruturais, passam pela beneficiação dos canais de escoamento bem como de construção de infra-estruturas de controlo de caudais a montante das áreas inundáveis.

As medidas não-estruturais abrangem um vasto leque de alternativas, compreendendo zonamentos e regulamentos de uso do solo em zonas de risco, regras de construção de edifícios e outras infra-estruturas, aquisição e gestão de solos, seguros, sistemas de previsão e aviso, acções de informação públicas, sistemas de emergência e de medidas de recuperação pós-catástrofe *(Saraiva, 1987).*

O ordenamento do uso do solo em bacias hidrográficas sujeitas a riscos de cheia pode ser enquadrado na figura das medidas não-estruturais, através do zonamento e regulamentação do uso do solo em zonas inundáveis.

No caso das áreas urbanas a caracterização do risco de cheia e as suas relações com o ordenamento do território têm sido objecto de alguns estudos específicos face aos riscos de cheias rápidas. É neste tipo de ocorrências que as medidas não-estruturais, nomeadamente as de carácter regulamentador dos usos do solo, poderão constituir instrumentos de actuação de prevenção.

Existem diversas opções não-estruturais de defesa contra cheias, algumas das quais se baseiam em medidas regulamentares de zonamento e restrições ao uso do solo e outras pretendendo alcançar formas mais flexíveis de ajustamento. Em ambos os casos é relevante a relação entre medidas não-estruturais e ordenamento do uso do solo. No entanto, verificam-se geralmente grandes dificuldades de interacção entre esses domínios, devido a vários factores, como sejam, por exemplo, uma tendência tradicional de sectorialização no âmbito do planeamento desses recursos, as dificuldades na implementação adequada dos planos, a pouca sensibilidade por parte do público em geral face a problemas de ordenamento do uso do solo e os aspectos inibitórios de ordem fundiária na aceitação de ónus ou restrições nessa matéria *(Saraiva, 1995).*

No seguimento do exposto anteriormente, o Domínio Público Hídrico corresponde a um conceito que está na base das medidas não estruturais de gestão tradicional dos recursos hídricos, tendo o seu regime sido revisto e unificado em 1971, pelo Decreto - Lei 468/71, estabelecendo as noções de leito, de margem e sua largura, e de zona adjacente. Em 1994, foi revisto pelo Decreto-Lei nº 46/94 o regime de licenciamento das utilizações do domínio hídrico.

A figura de Zona Adjacente, cujo regime instituído pelo Decreto-Lei 468/71 foi posteriormente alterado pelo Decreto-Lei 89/87, é aplicável à "área contígua à margem de um rio que se estenda até à linha alcançada pela maior cheia que se produza no período de um século" (nº1 do Artº 14º), está sujeita a restrições de utilidade pública, para um mais eficaz controlo das edificações nessas zonas e actuação preventiva em caso de avanço das águas do mar ou cheias extraordinárias dos rios.

A Reserva Ecológica Nacional (REN), estabelecida pelo Decreto-Lei nº93/90, contempla as zonas costeiras e ribeirinhas e águas interiores, áreas de infiltração máxima e zonas declivosas, constituindo uma estrutura biofísica básica e diversificada que procura assegurar a protecção de ecossistemas sensíveis e a permanência e intensificação dos processos biológicos indispensáveis ao enquadramento equilibrado das actividades humanas. No que se refere à defesa contra cheias, é de relevante importância por incluir a delimitação das zonas ameaçadas por cheias, considerando ainda a protecção das cabeceiras dos cursos de água e zonas de riscos de erosão elevados.

Ainda segundo o Decreto-lei 166/2008 a delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias não classificadas como zonas adjacentes deve incluir as áreas susceptíveis de inundação causadas por transbordo de água do leito do rio e cursos de água devido à ocorrência de caudais elevados, efectuada através da modelação hidrológica e hidráulica que permita o calculo das áreas inundáveis com período de retorno de pelo menos 100 anos, da observação de marcas ou registos de eventos históricos e de dados cartográficos e de critérios geomorfológico, pedológicos e topográficos.

Pelo tipo de zonas que a REN abrange, verifica-se uma grande interligação com os processos biofísicos que se relacionam com o ramo terrestre do ciclo hidrológico, nomeadamente os processos de erosão, transporte e sedimentação. Pode verificar-se uma eventual sobreposição com o domínio hídrico, subjacente aos critérios de delimitação, nomeadamente no que respeita os leitos dos cursos de água e zonas ameaçadas pelas cheias.

A delimitação da REN é obrigatória no âmbito dos Planos Regionais, Municipais e Especiais de Ordenamento do Território. Nos Planos Directores Municipais, a sua demarcação tem incidido, na maioria dos casos, nas áreas exteriores aos perímetros urbanos.

O Decreto-lei 166/2008 de 22 de Agosto, já prevê a delimitação das zonas adjacentes, cuja definição é semelhante à definida para o Domínio Publico Hídrico.

A Reserva Agrícola Nacional (RAN) está estabelecida pelo Decreto-Lei nº 196/89, posteriormente alterado pelos Decretos-Lei nº 274/92, 380/99 e mais recentemente pelo nº 73/2009.

Os objectivos que presidem à RAN visam proteger os solos de maior aptidão agrícola, garantindo a sua afectação à agricultura e pleno aproveitamento das suas potencialidades. A sua aplicação passa pela delimitação dos solos de capacidade de uso muito elevada e elevada (solos de classes A e B), solos de baixas aluvionares e coluviais e ainda outros cuja integração se mostre conveniente.

A RAN constitui assim um importante instrumento de ordenamento, no que respeita ao tema em causa, dado que muitos dos solos nela integrados situam-se em leitos de cheia. O estatuto de protecção conferido pela RAN pode permitir um alargamento ou sobreposição do contido no do domínio hídrico, contribuindo para o estabelecimento de medidas não-estruturais de defesa contra cheias. Para além disso é frequente, nestes casos, o estatuto da REN sobrepor-se ao da RAN, podendo tornar mais efectivos os objectivos de protecção.

Os Planos Directores Municipais (PDM) são instrumentos de planeamento relevantes no quadro do ordenamento em Portugal, que estabelecem uma estrutura espacial para o território municipal, a classificação dos solos e os índices urbanísticos, tendo em conta os objectivos de desenvolvimento, a distribuição racional das actividades económicas, as carências habitacionais, os equipamentos, as redes de transportes e de comunicações e as infra-estruturas, procurando ainda compatibilizar a protecção e valorização das áreas agrícolas e florestais e do património natural e edificado (Decreto-Lei nº 69/90 e Decreto-Lei nº 211/92).

Os Planos de Bacia Hidrográfica (PBH) foram instituídos pelo Decreto-Lei nº 45/94 e só há pouco tempo é que o nosso país começou a olhar para esta problemática das cheias a partir do conceito da entidade de bacia hidrográfica e suas características físicas, ao mesmo tempo que atribui maior importância às medidas não-estruturais no contexto de risco hidrológico.

Estas medidas sairão reforçadas caso se regule as acções/actividade em leito de cheia e que se recorra à implementação de sistemas de alerta e previsão bem como o reforço em acções de sensibilização quer às populações, quer aos governantes

CAPITULO II

- Caracterização física do território

1.1- Enquadramento geográfico do concelho de Pombal

O concelho de Pombal é um dos cinco concelhos que constituem a sub-região «Pinhal Litoral» (NUT III), situada a Sul da Região Centro (NUT II). Inserido na Área Metropolitana de Leiria (*AMLei*), o concelho de Pombal administrativamente é constituído por 17 freguesias, com uma área total de 626.36 km^2, dos quais 10km de costa marítima e uma grande área de serra: a Serra de Sicó.

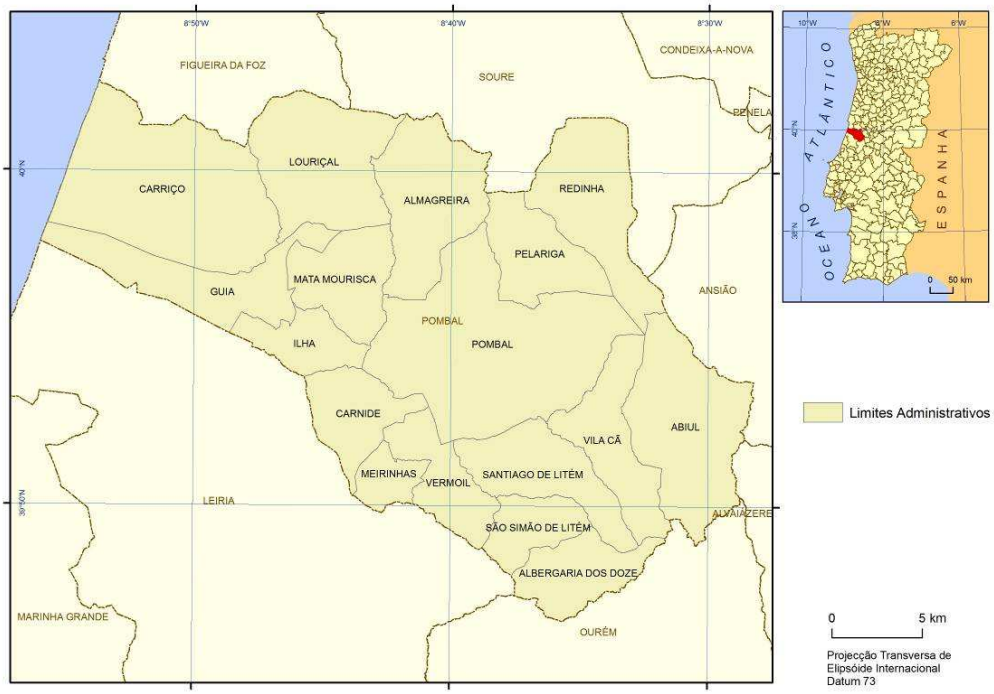


Figura 6 - Mapa de enquadramento geográfico do Concelho de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

Geograficamente situa-se na parte Noroeste do Distrito de Leiria, entre o Litoral e o Interior, entre o Norte e o Sul, entre Lisboa e Porto e entre Coimbra e Leiria.

Estendendo-se desde o Oceano Atlântico ao Rio Nabão, a Norte confina com os concelhos da Figueira da Foz e de Soure, a Este com os concelhos de Ansião e de Alvaiázere, a Sul com os concelhos de Leiria e de Vila Nova de Ourém e a Oeste com o Oceano Atlântico.

Para analisar as características biofísicas do concelho de Pombal, optou-se por o dividir em três regiões em função da altitude, factor intimamente relacionado com as características a analisar, recorreu-se a dados do IM (Instituto Meteorologia) e de um estudo de caracterização dos ventos com o objectivo de implantar um parque eólico na serra da Sicó, relativos a várias estações meteorológicas e postos udométricos existentes na região e cujas características e localização se apresentam na (Tabela 2). De notar que esta distinção altimétrica, corresponde também a uma transição do litoral para o interior, com as cotas mais baixas no litoral, subindo a altitude à medida que se caminha para o interior.

Tabela 2 – Estações climatológicas representativas das regiões.

REGIÕES BIOFISICAS					
REGIÃO	**CLASSES DE ALTITUDE**	**ESTAÇÕES REPRESENTATIVAS**	**DADOS DISPONÍVEIS**	**ALTI-TUDE (m)**	**PERÍODO DE OBSERVAÇÃO**
I	Menos de 100 m	Montemor-o-Velho Crasta Alta	T,P,V T,P,V	15 m 68 m	1951-1980 1941-1970
II	100 a 300 m	Coimbra Pombal	T,P,V P	141 m 95 m	1951-1980 1941-1970
III	Entre 300 e 500 m	Est. Carct. P. eólico S. Sicó Alvaiázere	T,V P	200-553 m 325 m	2001 1941-1970

Região I abrange a parte Oeste do concelho ou seja a área junto ao Oceano Atlântico.

Região II abrange a parte central do concelho.

Região III, abrange a parte Leste do concelho que onde estão as altitudes mais elevadas ou seja, a serra da Sicó.

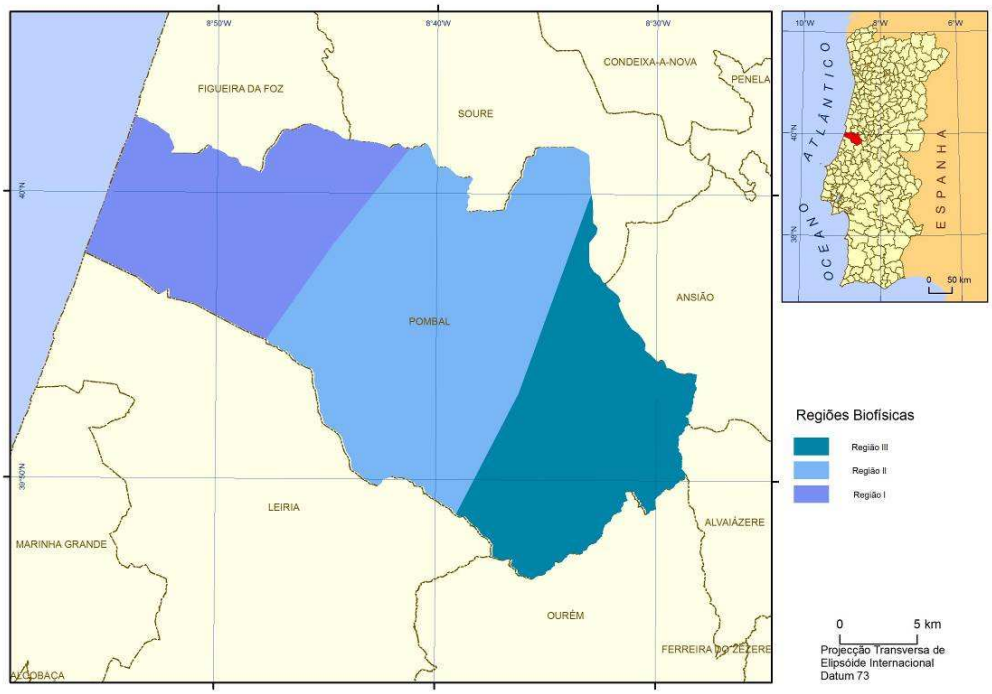


Figura 7 - Regiões Biofísicas do concelho de Pombal. Fonte: APA

1.2 - Enquadramento Geomorfológico

A área do concelho de Pombal, está localizada na bacia lusitânica, numa área que se estende desde a serra da Sicó, calcária, com altitudes que atingem os 555m, até ás áreas mais ou menos planas, com altitudes 0-30m, marcadas por dunas.

A serra calcária tem uma orientação NNE-SSW e vai descendo, para ocidente, em escadaria tectónica por um conjunto de fracturas meridianas e sub-meridianas até à povoação de Redinha *(Cunha, 1988)*. As fracturas NNE-SSW dão origem a degraus com declives escarpados.

No sector meridional da Serra de Sicó nota-se uma assimetria induzida por um sistema de falhas NW-SE e NNW-SSE, responsáveis pela escarpa de falha observável a NE do ribeiro do Vale. Ao longo da estrada IC8 observam-se pequenas costeiras na série margosa do Malm. Assim, de oriente para ocidente, a altitude diminui progressivamente, á medida que os terrenos de Mesozóico passam aos do Cenozóico e estes por sua vez aos do Quaternário. Contudo, afloram ainda terrenos do Quaternário em discordância sobre o substrato meso-cenozóico ao longo das principais linhas de água da região.

1.2.1 - Parte ocidental do concelho

Esta unidade morfotectónica corresponde ao conjunto de estruturas dunares, localizadas na parte ocidental do concelho. Estas estruturas apresentam distribuição espacial, no geral, com desenvolvimento paralelo à linha da costa e, ocasionalmente longitudinal, em função da actuação dinâmica das direcções predominantes do vento. Ainda existem corpos dunares isolados de forma cónica e circular entre as estruturas anteriores que correspondem a áreas de deslocamento e circulação intensa do vento.

1.2.2 - Parte central do concelho

Corresponde a uma extensa bacia terciária constituída por espessos depósitos paleogénicos e miocénicos de natureza principalmente continental, relativamente aplanada. Esta bacia apresenta relevos progressivamente mais atenuados para o quadrante N, variando a sua altitude entre 170-180m na parte meridional para 90-100m na parte setentrional. A atravessar os depósitos anteriores, existem duas importantes

linhas de água de orientação próxima do N-S; correspondem aos Rios Carnide e Arunca, e suas correspondentes redes de drenagem associadas, cujas águas correm para Norte, na direcção do Rio Mondego.

1.2.3 - Parte oriental do concelho

Afloram relevos mais ou menos acentuados de natureza calcária, da qual se destaca a serra da Sicó. Esta é formada por um conjunto de montes com orientação geral NW-SE, onde os cumes se encontram relativamente aplanados. Esta unidade morfotectónica é caracterizada por estar fortemente fracturada, na qual as bancadas se encontram relativamente inclinadas e apresentam pendores suaves para SW. Os vales são mais ou menos arredondados e as linhas de água mais importantes tem orientações WNW-ESE são pouco desenvolvidas e de reduzida dimensão. Na superfície do maciço carbonatado, na proximidade da fronteira do concelho de Pombal com o concelho de Ansião, ocorrem diversos retalhos de arenitos do Cretácico, constituindo planaltos aplanados em forma de "mesa".

1.3 – Hipsometria

O concelho de Pombal é dominado pela Serra da Sicó, que o atravessa no sentido Sudoeste – Nordeste, atingindo uma altitude de 555 metros.

A altitude, no geral, é baixa relativamente ao resto do país, encontrando-se 96% da superfície do concelho abaixo dos 300 metros. A freguesia de Abiúl é a que possui maior altitude média, enquanto que Carriço é a de menor altitude média.

Em termos gerais, o Concelho apresenta um relevo ondulado, (61,7% dos declives situam-se entre os 3 e os 12%), embora existam sectores bastantes declivosos, na parte Este, junto à Serra da Sicó; e superfícies planas em toda a metade Oeste do Concelho, junto ao Oceano Atlântico.

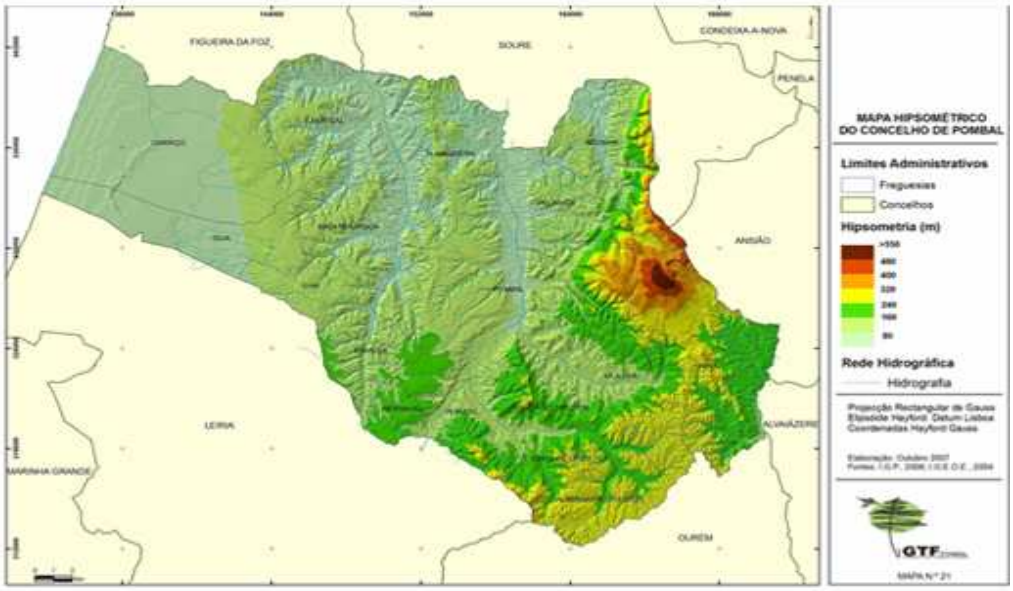


Figura 8 - Mapa hipsométrico do concelho de Pombal. Fonte: GTF Pombal.

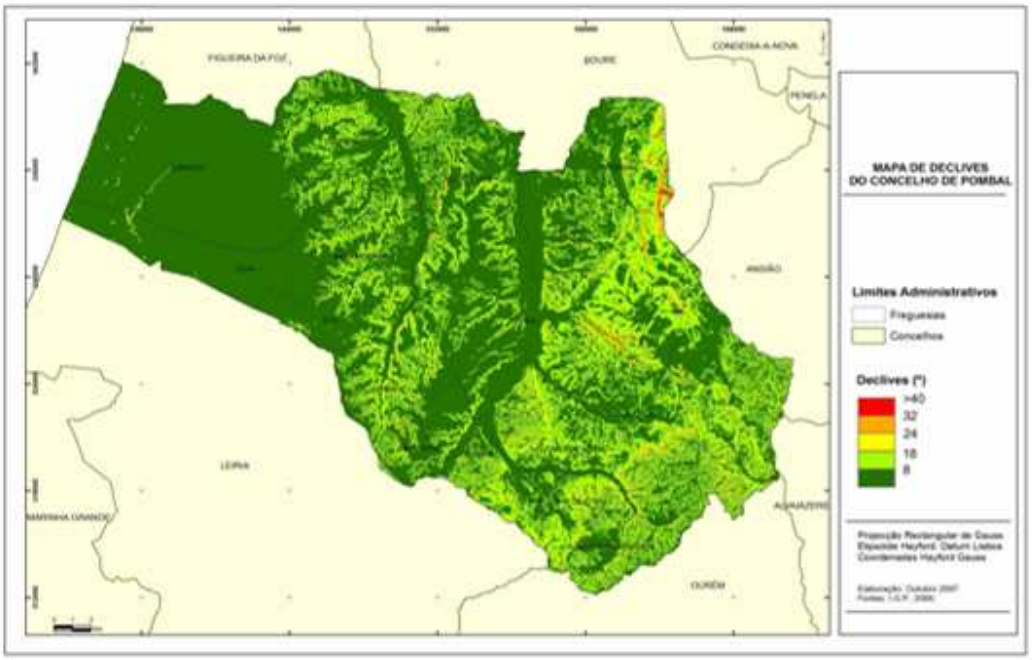


Figura 9 - Mapa de declives do concelho de Pombal. Fonte: GTF Pombal.

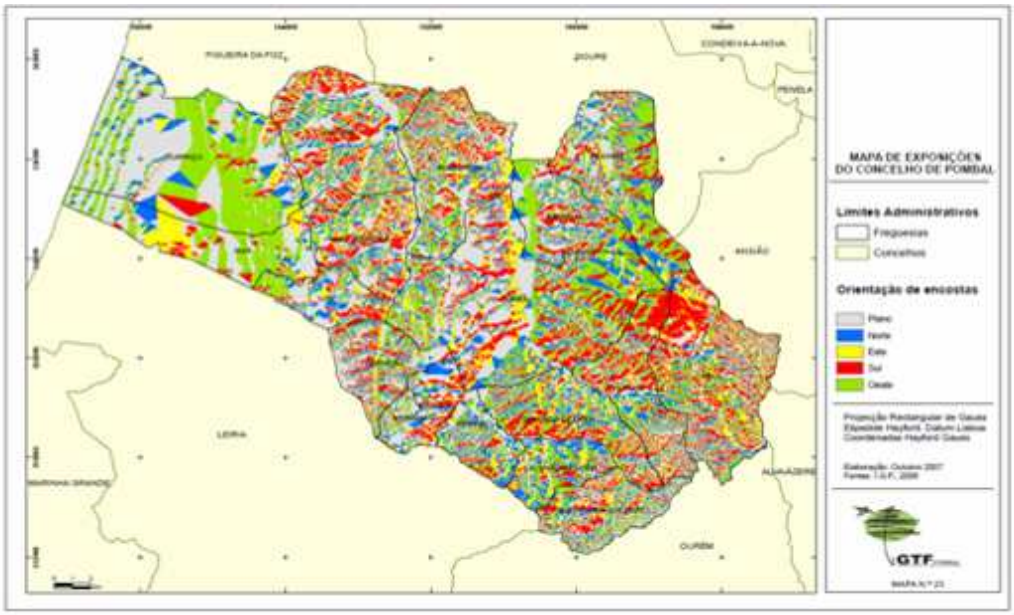


Figura 10 - Mapa de orientação de vertentes do concelho de Pombal. Fonte: GTF Pombal.

A exposição das vertentes define a orientação da rede hidrográfica, e consequentemente o sentido do escoamento. No concelho de Pombal existe um predomínio de exposição a Sul.

Na margem direita do rio Arunca, a presença da serra calcária introduz uma maior dicotomia neste domínio morfológico: a norte do canhão fluviocársico - denominado Vale do Poio ou Canhão dos Poios *(CUNHA, 1988 e RODRIGUES et al., 2007)* - que corta a bordadura do maciço a sul do V.G. de Estrela predominam as exposições a Sul.

No restante espaço das bacias hidrográficas do Arunca e da ribeira de Carnide ocorre uma maior heterogeneidade na exposição das vertentes, com exposições maioritariamente a Sul e a Oeste.

Tabela 3 - Representatividade das exposições no concelho de Pombal

Exposição	Área_ha	% Área
Este	8876.36	14.20%
Norte	8669.41	13.87%
Oeste	13357.14	21.38%
Plano	22515.27	36.03%
Sul	9070.83	14.52%
Total	**62489.01**	**100.00%**

1.4 – Geologia

Segundo a *carta geológica* de Portugal, folhas *nº 23 A, 23C*, a área em análise encontra-se localizada no bordo ocidental do Maciço Hespérico, onde se instalou a bacia sedimentar meso-cenozóica. Esta é designada por Bordadura Ocidental ou Lusitaniana e é caracterizada, genericamente, pelo preenchimento de sedimentos anorogénicos, não metamorfizados e pouco deformados. Esta área é marcada por heterogeneidade litológica e diversidade de unidades geológicas.

Durante o Mesozóico, instalou-se na Bordadura Lusitaniana um fosso alongado segundo a direcção NNE-SSW. O enchimento deste fosso é realizado a partir do Maciço Hespérico situado a Este, bem como do arco continental localizado a Oeste, do qual, o arquipélago das Berlengas é o único testemunho emerso da sua existência.

Este dispositivo em fossa permite estabelecer a seguinte quadro paleogeográfico: nos bordos do *graben* - a sedimentação é nerítica e muitas vezes recifal, e a espessura dos sedimentos é relativamente reduzida (500-1000m); no eixo da estrutura - as litofácies são mais espessas e apresentam normalmente características pelágicas (podem atingir os 5000m).

Considerando que na era mesozóica, a largura da fossa lusitaniana seria bastante reduzida, será de esperar que grande parte dos sedimentos meso-cenozóicos apresentam características relativamente litorais, e que, registem todas as oscilações do nível das águas do mar (ciclos sedimentares), que se traduzem por numerosas variações laterais bruscas de litofácies e espessura.

Os depósitos mais recentes, datados do Terciário e Quaternário, correspondem a sucessões sedimentares maioritariamente de natureza continental. Estes sedimentos foram originados, provavelmente, a partir de ambientes fluviais e outros onde predominam as características de influência continental.

Geologicamente esta área pode ser subdividida em unidades que foram incluídas nos períodos geológicos designados de Mesozóico, Cenozóico e Quaternário. Os levantamentos geológicos ainda evidenciaram um quadro tectónico e estrutural genérico para a região, bem como as orientações dos principais lineamentos estruturais presentes. *(cartas geológicas de Portugal nº 23 A, 23 C).*

1.4.1 - Litologia da bacia hidrográfica do Arunca no concelho de Pombal

1.4.1.1- Litologia

Unidades Litológicas mais representativas no concelho.

a – Aluviões

Constituídas por formações fluvio-marinhas nos principais vales - dos rios Arunca e Anços. Estas formações são constituídas por cascalheiras, areias e lodos. No sector montante do rio Arunca a presença de aluviões e areias de fundo de vale estende-se até à confluência com o rio Cabrunca - afluente esquerdo do rio Arunca.

Q – Terraços fluviais

Na área de Redinha e Estrada de Anços, a presença dos terraços relaciona-se com as exsurgências no bordo do maciço calcário jurássico. No vale do rio Anços os depósitos estendem-se até à povoação de Galeana numa faixa de aproximadamente 4 km por 0,5 km. No rio Arunca os terraços quaternários são observados ainda mais a Sul entre Vermoil e Pombal. No dizer da notícia explicativa da folha *23-C* "trata-se, geralmente, de baixos terraços constituídos por depósitos de areias e de cascalheiras com algumas intercalações argilosas" *(ROCHA et al., 1981).* No vale do rio Cabrunca encontram-se ainda depósitos do Quaternário Indiferenciado sob a forma de terraços, na área de Meirinhas de Baixo.

Os depósitos plio-plistocénicos voltam a aflorar a sul de Redinha e Almagreira, de onde se estendem em mancha de direcção NE-SW até Meirinhas, sendo recortados pelo entalhe do rio Arunca a norte de Pombal. Estes depósitos apresentam fácies marinha.

M_P – Areias e Argilas de Pombal e Redinha

Esta formação data do Miocénico e aflora na área de Pelariga, entre as aluviões do Arunca e os calcários jurássicos, encontrando-se parcialmente coberta pelo Plio-Plistocénico.

Os depósitos apresentam fácies continental e são caracterizados por uma alternância de grés argilosos, de argilas e de alguns níveis margosos com concreções calcárias. *(MANUPPELLA et al., 1978).*

Na passagem para o Cretácico superior, esta unidade é visível numa faixa de direcção SW-NE entre Pombal e Estrada de Anços onde é coberto pelas aluviões. Mais a Norte aflora a este do vértice geodésico de Galeana, a norte da localidade de Redinha. Neste

sector, os materiais constituintes são arenitos finos a grosseiros conglomeráticos, argilas e argilitos.

Cretácico

C^1_A – Arenitos de Carrascal

No sector entre Soure e Pombal, esta unidade do Cretácico inferior aflora na área da Redinha, numa faixa entre Anços e Pombal e entre Barrocas e Vermoil. Aflora na superfície do maciço calcário a sul e este de Abiúl. No sector montante de Pombal os Arenitos de Carrascal cobrem o Jurássico superior com um complexo arenítico espesso, aflorando em manchas.

Jurásico

J^3_G – Arenitos de Boa Viagem

Esta formação do Jurássico inferior *(Kimmeridgiano-Portlandiano)* corresponde à formação com o mesmo nome representada nas *cartas geológicas* de Portugal *nº 23 A, 23C*.

Os Arenitos de *Boa Viagem* afloram numa pequena faixa da bacia a Oeste de Gesteira. É formado por arenitos argilosos com intercalações de argilas e margas, existindo também bancadas de calcários margosos e gresosos.

J^3 – Camadas de Alcobaça e de Vale de Lagares

Esta unidade lítica surge a Este de Gesteira em afloramento de pequena dimensão, onde se observa um complexo carbonoso e calcários hidráulicos do Oxfordiano e uma série calco-margosa do *Kimmeridgiano inferior*.

O maior afloramento surge no sector intermédio e montante da bacia do Arunca. Aqui, o *Malm* surge representado pelo "*Complexo de Vale de Lagares*". Este complexo aflora entre Vermoil, Santiago de Litém, Albergaria-dos-Doze, é constituído por arenitos de grão fino, alternantes com argilas cinzentas, com vegetais fósseis. Em Lagares afloram calcários de grão fino onde se observam camadas de lignitos intercaladas.

O Malm aflora ainda no contorno SW da Serra de Sicó formando auréolas sucessivas. Como evidência de um ambiente lagunar, afloram também nesta unidade morfológica as *"Camadas de Montejunto e de Cabaços"* do Oxfordiano (Lusitaniano inferior). São constituídas por calcários margosos que formam mancha ao longo da estrada de Pombal para Ansião, a sul de Estrada de Anços, em Pombal, Chão do Ulmeiro e Ramalhais de Baixo.

J^2_O – Calcários de Sicó

Os Calcários de Sicó correspondem na cartografia aos calcários, margas e calcários margosos do Batoniano e às margas e calcários do Bajociano.

Estes afloramentos do *Dogger* ocupam vastas áreas do sector intermédio e oriental da bacia, onde constituem a quase totalidade do maciço calcário de Sicó, contactando a Sul e Oeste com as formações mais recentes do *Malm* e do Cretácico, em afloramentos contínuos de direcção N-S. Os calcários puros calciclásticos que constituem o Batoniano encontram-se muito fracturados e carsificados.

Rochas eruptivas

Na zona de Vermoil a presença de *basanitóides (β)* relaciona-se igualmente com a dos diapiros, constituindo chaminés e filões. Este afloramento de rochas eruptivas denominado "*Filão de Vermoil*" estará relacionado com o diapiro profundo não aflorante que se estende para Sul da bacia do Arunca. O filão apresenta orientação NE-SW cortando o Jurássico superior a NE de Vermoil, sendo posteriormente coberto pelas aluviões do vale do Arunca *(MANUPPELLA et al., 1978).*

A perigosidade de uma bacia hidrográfica, aumenta quando a área coberta por materiais compactos, que potenciam o escoamento superficial é superior a 80%, como é o caso da bacia do Arunca, estes materiais de menor permeabilidade encontram-se numa extensa área nos sectores central e sul da bacia.

Resumidamente, pode-se dizer que esta área é constituída por: Um sistema com materiais do Cretácico, composto por grés fino, médio, grosseiro, pouco argiloso e argila arenosas. Ocupa 17% da bacia, capacidade de infiltração na ordem dos 15%, a recarga dos aquíferos na ordem dos 152mm/ano, escoamento total de 329mm, correspondendo 177mm ao escoamento superficial.

Sistema Margo – Calcário do Jurássico. Composto por:

Calcários margosos, arenitos argilosos arenitos calcários, ocupa 57.1% da área da bacia, infiltração de 61mm/ ano.

Sistema cársico da Serra da Sicó. Calcários fracturados, correspondendo a 15% da área da bacia, recarga do aquífero 61mm/ ano, infiltração 136mm, escoamento superficial 193mm. Outras formações e áreas de aluviões. Ocupam uma área que corresponde a 10.4% da bacia do Arunca.

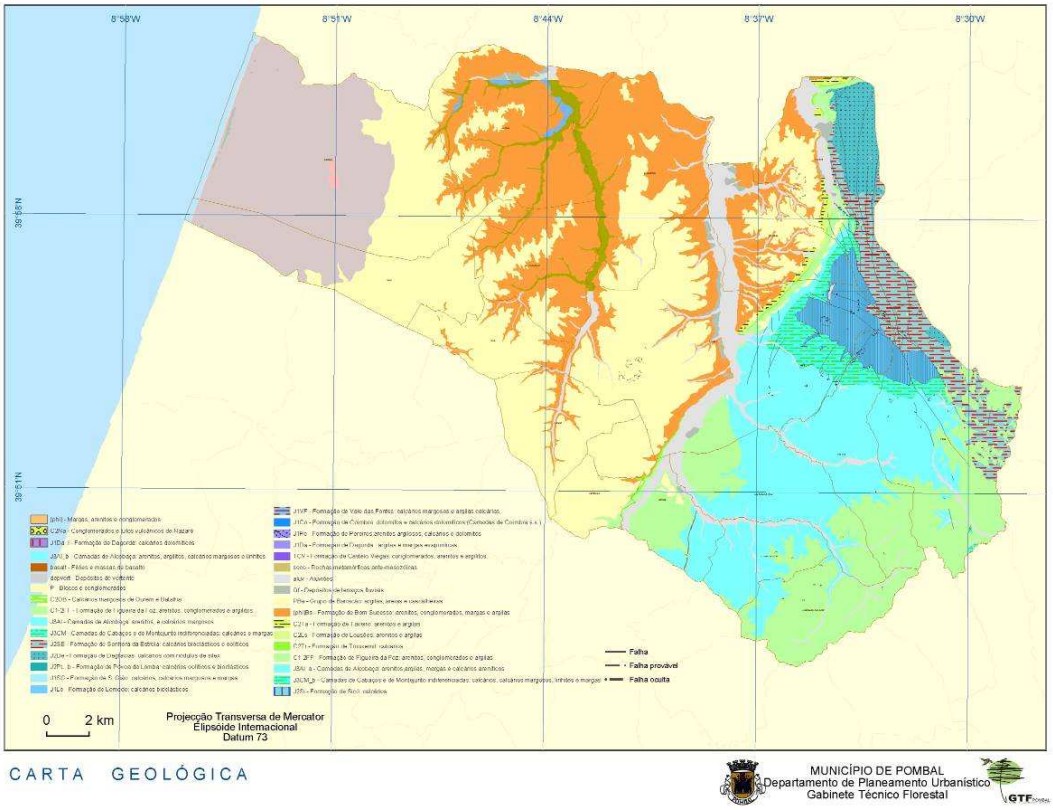


Figura 11 - Geológica simplificada do concelho de Pombal á escala 1:25000. Fonte: INETI

1.4.1.2 - Tectónica

A observação atenta das condições geológico-estruturais da região, permite reconhecer, na sua parte central, a existência de uma bacia de subsidência preenchida por uma sucessão espessa de terrenos, na sua maioria, terciários.

Esta bacia, é limitada a Oeste pelo vale tifónico de Monte Real que se prolonga para o concelho de Pombal, observando-se aqui, apenas através de sondagens de grande profundidade, junto à povoação de Guia, uma vez que esta estrutura está coberta por depósitos detríticos, de idade mais recente. *(carta geológica de Portugal nº, 23 C)*

A oriente, a bacia terciária termina contra o bordo do maciço jurássico da Serra da Sicó.

O maciço calcário de Sicó é caracterizado por elevada complexidade tectónica de que são testemunhas a forte fracturação e compartimentação. Na área, verifica-se essencialmente uma tectónica de fracturação, relacionada com a movimentação alpina *(Cunha, 1988).*

O bordo do maciço apresenta a Sul uma orientação SW-NE até perto de Estrada de Anços, torcendo em seguida para Norte até Redinha e Barreiras, onde se pode observar a imponente escarpa de falha da Senhora da Estrela. A norte de Redinha, o bordo torce para Este devido à estrutura diapírica de Soure *(Manuppella et al., 1978).* O maciço calcário encontra-se recortado por falhas com orientação N-S nas áreas de Redinha e Monte do Vérigo, rodando mais a Sul para NW-SE, orientação esta observada igualmente na área entre Monte Vérigo e Abiúl.

Os principais conjuntos de alinhamentos estruturais identificados no terreno, e na fotografia aérea na região, podem ser agrupados em famílias, com as seguintes direcções principais: N-S, NW-SE, NNW-SSE, ENE-WSW e NNE-SSW.

As falhas de direcção ENE-WSW relacionam-se com o importante acidente tectónico de Lousã-Pombal-Nazaré de idade tardi-hercínica, ao qual estão associadas as principais famílias de fracturas que condicionam a tectónica. Estas falhas marcam igualmente o contacto entre a bacia terciária e o bordo do maciço calcário de Sicó. Segundo ROCHA *et al.* (1981), as falhas de orientação NNE-SSW estariam também ligadas ao acidente Lousã-Pombal-Nazaré, sendo provocadas por escorregamento do soco ao longo deste acidente.

As falhas de direcção meridiana (N-S) relacionam-se com as fracturas que desenham o contacto entre o Maciço Hespérico e a Orla Meso-cenozóica ocidental.

A direcção NW-SE é a direcção característica dos acidentes secundários, que tiveram lugar no interior dos blocos limitados por acidentes maiores *(RIBEIRO et al., 1979, citado por CUNHA, 1988).* As falhas com esta direcção reflectem-se, de um modo geral, com pouco vigor na morfologia, de que são exemplo as falhas que afectam a área de Anços e a Serra de Sicó, originando cunhas comprimidas, como é exemplo a falha de Degracias.

1.5 – Climatologia

Ao traçar-se o perfil do clima do território continental português, constatam-se duas características básicas: em primeiro lugar, o carácter mediterrâneo, dado que o traço essencial que o define é a seca estival que se observa em todo o território, inclusive nas regiões montanhosas, e, em segundo, a sua diversidade, que se fundamenta na gradação latitudinal e longitudinal dos elementos climáticos e nos contrastes de relevo do território.

O clima de Portugal é, de facto, marcado por uma grande diversidade, quer do ponto de vista temporal, entre estações do ano e de ano para ano, quer do ponto de vista espacial entre regiões. Os grandes grupos de factores climáticos responsáveis por essa diversidade são os geográficos, os contrastes espaciais e os pertencentes à dinâmica atmosférica.

Entre os factores geográficos do clima destacam-se: a latitude, a posição de Portugal, face às grandes massas continentais e marítimas que o rodeiam e o relevo.

A latitude influencia, por sua vez, o grupo dos factores pertencentes à dinâmica atmosférica. Situando-se entre os 37° e os 42° de latitude Norte, Portugal continental encontra-se numa «zona de conflito» entre as baixas pressões sub-polares e respectivas superfícies frontais, que afectam o território especialmente no Inverno, e as altas pressões subtropicais (caso do anticiclone dos Açores), que dominam o tempo durante o Verão.

A posição geográfica do país, no extremo sudoeste do continente europeu, com o Oceano Atlântico a Oeste e próximo do deserto do Sara, implica também que até ele cheguem várias massas de ar de procedência diversa.

A proximidade do território em relação ao Atlântico, implica que este exerça uma influência moderadora na temperatura do ar, pois o oceano tem uma maior capacidade calorífica do que o continente, ou seja, como é mais conservador de energia calorífica que recebe do Sol, é mais lento a aquecer e a arrefecer do que os continentes.

Esta influência oceânica é sobretudo visível na fachada litoral do território português, já que para o interior essa influência se esbate rapidamente, em grande parte devido à forma maciça da Península Ibérica, sem grandes reentrâncias nem saliências da linha de costa provocando assim um contraste litoral/interior.

A região em análise fica incluída por inteiro no domínio do clima mediterrâneo, marcado por uma longa estação seca e quente e por uma estação fresca e chuvosa. É, no entanto, reconhecida como característica essencial da precipitação, uma marcada irregularidade interanual e sazonal, onde podem ocorrer precipitações de elevada concentração devido a situações depressionárias, gotas de ar frio e a frentes frias muito activas.

1.5.1 - Temperatura, Precipitação, Humidade Relativa e Geada.

Os dados correspondentes a temperaturas e precipitações foram escolhidos em função da altitude ou seja das regiões climáticas definidas para o território do concelho em questão.

Nos gráficos das páginas seguintes apresentam-se detalhadamente os dados obtidos:

Tabela 4 - Temperaturas e Precipitações por regiões climáticas no concelho de Pombal

Região	Média Anual	Mínima Média Mensal	Máxima Media Mensal	Precipitação Média Anual (mm)
I	14,8	10	21.05	872
II	15.6	10.1	22.86	983
III	13.4	8.5	19.67	911

Fonte: IM

Quanto às temperaturas médias no mês de Julho, há um forte gradiente crescente no sentido litoral-interior, variando desde 19ºC junto à costa até aos 22ºC a Oriente da freguesia de Pombal, o que mostra que a parte interior do concelho apresenta uma temperatura estival mais elevada;

No mês de Janeiro, a situação em termos de temperatura média inverte-se, aumentando esta com a proximidade do mar.

Quanto a outros elementos climáticos:

Em termos de geadas, verifica-se, no concelho, um gradiente no sentido Norte-Sul; desde 5-10 dias de geada/ano, isto corresponde à parte Norte das freguesias de Carriço, Louriçal, Almagreira, Pelariga e Redinha; 10-20 dias envolvendo o território de Carriço-Sul, Louriçal-Sul, Almagreira-Sul, Pombal Norte, Vila Cã e Abiúl; 20-30 na parte Sul e Oeste do concelho, freguesias da Guia, Ilha, Carnide, Meirinhas, Santiago Litém, S. Simão Litém, Albergaria dos Doze.

Esta variação do número de dias de geada pode ser justificada pela influência marítima que atinge a parte norte do concelho, através da bacia do Mondego penetrando no concelho pelos vales com orientação Norte-Sul da Ribeira de Carnide e Rio Arunca. A humidade relativa anual está correlacionada com as regiões climáticas consideradas: na faixa litoral, freguesias de Carriço e Guia atingem-se os valores mais elevados 80 a 85%, a região central apresenta valores de 75-80%; na região correspondente a maiores altitudes registam-se valores de 70% a 75% de humidade.

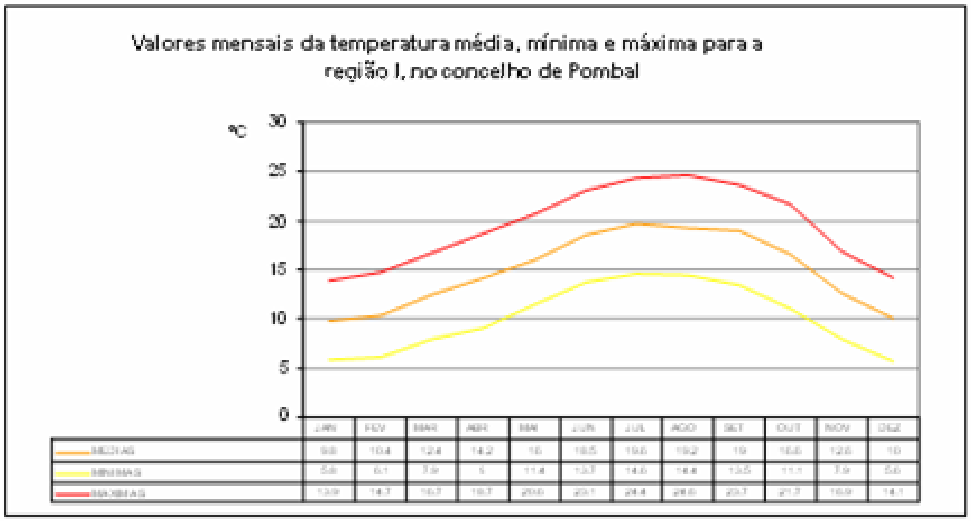


Figura 12 - Valores de Temperatura para a região I no concelho de Pombal. Fonte: IM

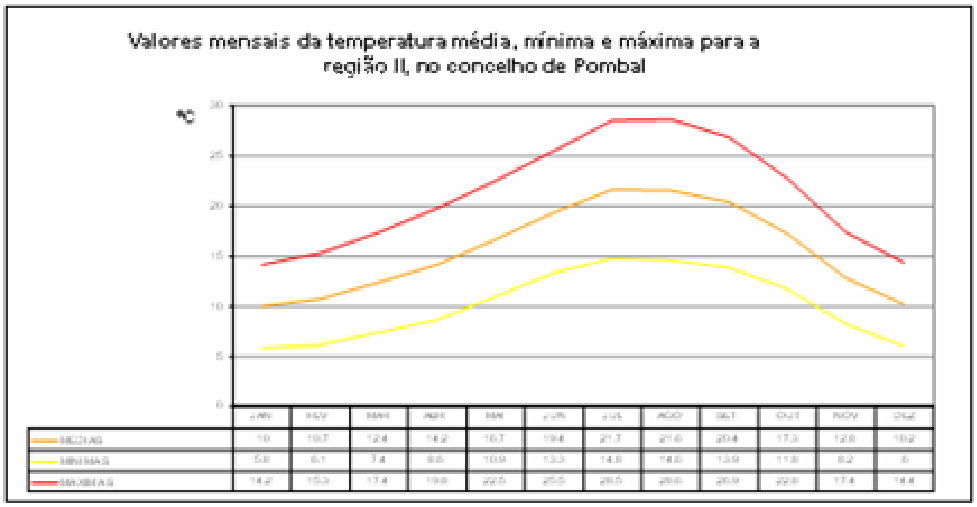


Figura 13 - Valores de Temperatura para a região II no concelho de Pombal. Fonte: IM

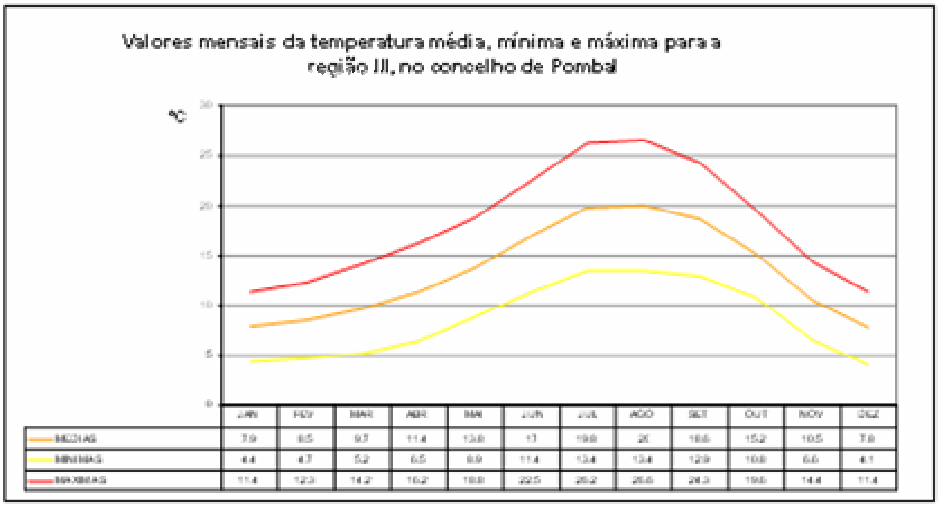


Figura 14 - Valores de Temperatura para a região III no concelho de Pombal. Fonte: IM

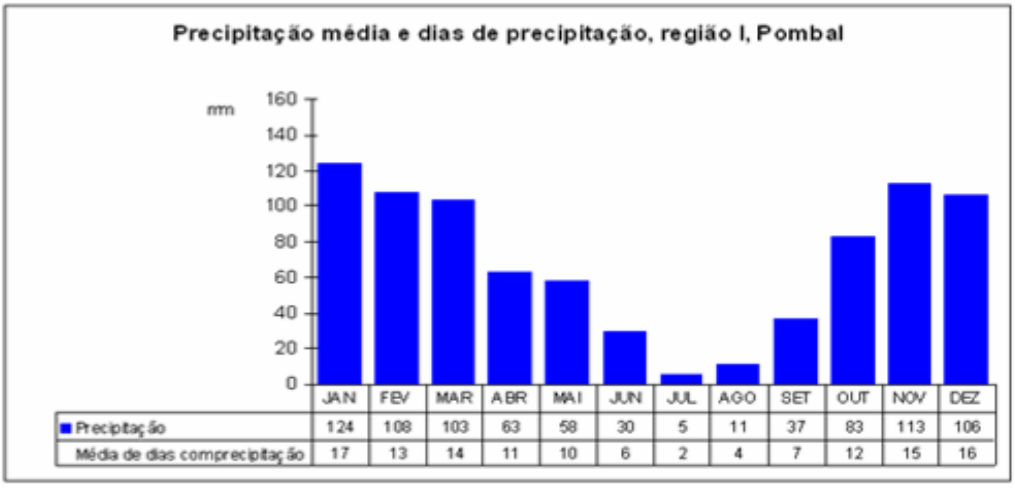


Figura 15 - Dias de precipitação e precipitação média mensal, região I, concelho de Pombal. Fonte: IM

Figura 16 - Dias de precipitação média mensal, região II, concelho de Pombal. Fonte: IM

Figura 17 - Dias de precipitação média mensal, região III, concelho de Pombal. Fonte: IM

1.5.2 - Índices e Classificações Climáticas

Segundo uma classificação empírica, a região em que se insere o concelho de Pombal caracteriza-se por:

Tabela 5 - Classificação climática de Pombal

Elemento climático considerado	Classificação
Temperatura média anual	Temperado
Amplitude média da variação anual	moderada
Humidade relativa do ar	Húmido
Precipitação	Moderadamente chuvoso a chuvoso (partes mais altas)

Atendendo à classificação de *Koppen*, na variável médias mensais e anuais de temperatura e precipitação, o clima das três regiões climáticas consideradas é mesotérmico (temperado) húmido, em que o Verão é seco e relativamente quente e extenso classificando-se como Csb (clima subtropical com Verão seco), já que a temperatura média do mês mais frio é menor que 18ºC mas maior que -3ºC, tem pelo menos um mês com temperatura média superior a 10 ºC, temperatura média do mês mais quente é menor que 22ºC.

De acordo com o método de *Thornthwaite*, e a partir dos balanços hídricos para todas as regiões consideradas como caracterizadoras da área e com base neles, calcularam-se os índices de humidade/aridez resumindo-se os resultados obtidos no quadro seguinte:

Tabela 6 - Balanços hídricos, por região segundo o método Thornthwaite para o concelho de Pombal

	valores índices			classificação (simb)			classificação (descrição)		
Elemento climático considerado	região I	região II	região III	região I	região II	região III	região I	região II	região III
Indices de aridez:	30%	30%	26%	s	s	s	Moderada deficiencia de água no Verão		
Indice humidade:	42%	50%	64%	s2	s2	s2	Grande excesso agua Inverno		
Indice hidrico:	24%	32%	48%	C2	C2	C2	Sub-humido chuvoso		
Eficiencia termica	754	821	663	B'2	B'2	B'1	Mesotérmico		

Fonte: GTF/IM

No território do concelho de Pombal existe um excesso de água no Inverno (valores de índices de humidade consideravelmente mais altos), o que o torna particularmente vulnerável aos processos erosivos, em termos climáticos.

1.5.2.1 - Climodiagramas

Nas páginas seguintes apresenta-se climodiagramas elaborados para o concelho, o intervalo de seca estival varia entre 3.75, 3.5 e 3 meses.

Tabela 7 - Período de Actividade vegetativa por região climática

Região climática	Período de actividade vegetativa	
	Época	Duração (meses)
Região I	15 Fev - 20 Maio; 5 Out-10 Dez	3,2 +2,3 = 5,2
Região II	15 Fev -20 Maio;30 set-15Dez	3,3 + 2,5 = 5,8
Região III	15 Mar -10 Jun; 20 Set -15 Nov	2,8 + 2,1 = 4,6

Da sua análise pode concluir-se que só existem duas estações: uma chuvosa e fria bastante longa (Outubro a Maio - 8 meses) e outra seca e quente (Junho a Setembro - 4 meses).

Assim verifica-se que o clima da região é caracterizado por uma concentração grande das chuvas durante a estação fria, e por uma deficiência de água na estação quente.

Também parecem existir condições para ocorrência de erosão de solos significativa, uma vez que a precipitação é intensa e concentrada, facto ainda agravado, se se atender a que o período de concentração das chuvas corresponde à época de menor protecção do solo por parte do coberto vegetal.

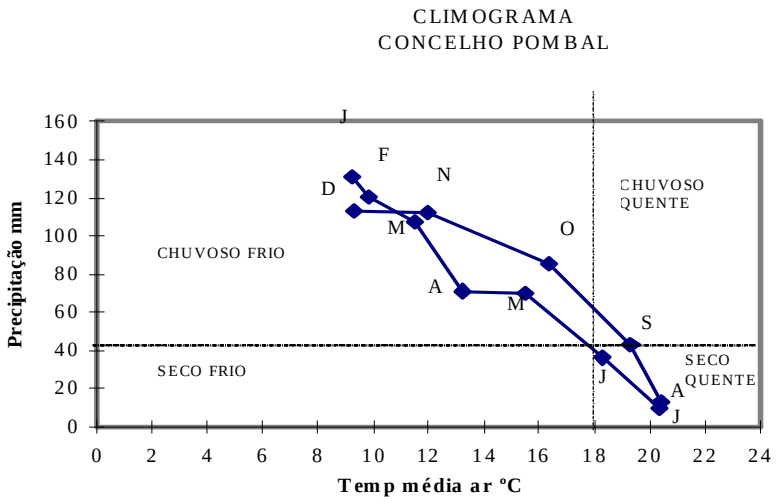


Figura 18 - Climograma do concelho de Pombal. Fonte: IM

1.5.3 - Regime dos Ventos

Em termos gerais, durante o Verão, existem condições gerais de circulação de ar na Península Ibérica que ajudam a explicar o regime dos ventos.

Os oceanos que envolvem a Península Ibérica correspondem a um meio com uma capacidade calorífica distinta da massa de Terra Peninsular. Este facto leva a que, durante o Verão, surja um grande contraste térmico entre as duas massas.

Durante o período diurno o elevado aquecimento do solo relativamente ao do mar, leva à formação da brisa marítima que sopra para o interior, e durante a noite esta é substituída pela brisa terrestre que sopra no sentido inverso. Estas poderão ser ampliadas ou reduzidas pelo efeito dos ventos de circulação geral.

Em termos de circulação geral, a situação mais frequente na época mais quente do ano à latitude de Pombal, é a ocorrência de "nortada" (vento do quadrante Norte/Noroeste) resultante da circulação contornante da Península Ibérica associada à fixação do Anticiclone dos Açores a nordeste do arquipélago e à rectiliniriedade da nossa costa oceânica.

A frequência e a velocidade dos ventos são apresentados nos gráficos abaixo.

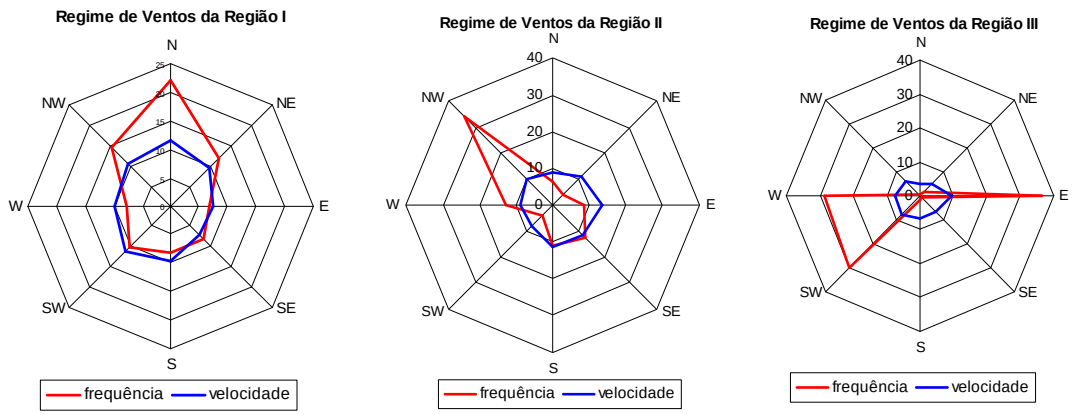


Figura 19 - Regime de ventos no concelho, Região I, II e III, (1997-2001). Fonte: IM

A análise destes fornece os seguintes elementos relativamente ao regime geral dos ventos:

Região I - Vento N e NW dominam durante quase todo o ano; no Verão estes são ainda relativamente mais frequentes.

Região II - Vento NW de Março a Outubro, dominando especialmente na época quente.

Região III - Tem um regime de ventos muito diferente das outras duas áreas. Praticamente só existem ventos de SW, W e E, tanto durante o ano como durante a época quente; nesta época, os ventos de Este abrandam um pouco em favor dos outros dois, e os ventos de Sudeste são praticamente inexistentes. Dado ser um regime de ventos tão peculiar, podemos duvidar da sua representatividade para efeitos de caracterização da área de maiores altitudes do concelho de Pombal. Assim nesta área seria particularmente importante dispor de mais dados meteorológicos sobre o vento.

1.6- Hidrografia do concelho de Pombal

A **bacia hidrográfica** é uma unidade territorial drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, os quais transportam, além da água, sedimentos, materiais dissolvidos e nutrientes vários até a um ponto comum, a desembocadura, ou secção de referência da bacia. *(Ramos, C. 2005)*

Os limites de uma bacia são definidos pela linha divisória de águas, a qual segue as linhas de **cumeada** ou de festo, ou seja, as linhas que unem os pontos de maior altitude, que separam a bacia das bacias vizinhas.

A bacia hidrográfica é, pois, uma **entidade física** constituída por diversas componentes, que interagem entre si e influenciam o comportamento hidrológico da mesma. Essas componentes são: o número de cursos de água, comprimento, sinuosidade, rectilinearidade, hierarquia dos cursos de água, relevo, altitude, exposição e rugosidade,

o substrato geológico, litologia e estrutura, os solos nas suas componentes estrutura e espessura, tipo e grau de cobertura. *(Ramos, C. 2005)*

Se a estas componentes da bacia, juntarmos o enquadramento **climático**, ou seja, o tipo ou tipos de clima em que a bacia se insere e a acção humana (tipo de ocupação do solo, construção de estruturas hidráulicas) teremos definido o conjunto de factores dos quais depende o escoamento da bacia. A importância de cada um destes factores varia com a **escala de análise** espacial e o **escoamento** anual depende, sobretudo, das zonas e/ou das regiões climáticas onde as bacias se inserem, ou seja, das características do clima.

O senso comum tem como verdade que as cheias que ocorrem num local são exclusivamente determinadas pela intensidade da precipitação local, esquecendo todos os mecanismos de escoamento natural ou antrópicos envolvidos na convergência da área drenante de e para essa região. *(Ramos, C. 2005)*

Portanto, as áreas mais chuvosas são também as que têm um maior escoamento fluvial. A variação mensal do escoamento é também, em parte, dependente do clima, através da precipitação e da temperatura.

A **precipitação** é responsável pela quantidade de água que entra temporalmente nas bacias; a **temperatura** comanda a retenção da água nos meses mais frios e também a sua evaporação, dependendo igualmente, esta última, do estado e agitação do ar. Mas, dentro do mesmo contexto climático, não há duas bacias iguais, devido às suas características (ou componentes) biofísicas e ao grau de intervenção humana. Assim, na mesma região climática, duas bacias com características físicas diferentes produzirão também escoamentos diferentes. *(Ramos, C. 2005)*

Quanto maior for a **área** drenada, maior será o escoamento total. Mas, com áreas semelhantes as bacias podem ter comportamentos diferentes dependendo da sua **forma**.

Logo, numa bacia **estreita e alongada**, que se estende ao longo do rio principal, os afluentes mais importantes vão atingindo o rio principal em diferentes pontos do mesmo e ao longo de toda a sua extensão, enquanto numa bacia circular, os afluentes mais importantes têm tendência a convergir em **secções** muito próximas, elevando muito o escoamento nesses pontos de confluência.

Este facto é importante sobretudo nas situações de cheia, aumentando muito os caudais de ponta e tornando por isso, as bacias **circulares** mais perigosas do que as **alongadas**.

O relevo influencia o clima às escalas regional e local. A **altitude** faz aumentar a precipitação e diminuir a temperatura, levando assim ao aumento da entrada de água na bacia.

O **declive** interfere na velocidade de escoamento e na infiltração. Quanto maior ele for, maior será a velocidade e menor a infiltração. As bacias declivosas podem ser mais perigosas nas situações de cheia, porque favorecem o aumento da velocidade de progressão das águas.

Uma bacia situada numa montanha, na vertente exposta aos fluxos pluviogénicos, massas de ar carregadas de humidade vindas do oceano (por exemplo), terá um escoamento por unidade de área, maior do que outra bacia, situada na mesma montanha a altitudes e declives semelhantes mas na vertente virada a sotavento, ao abrigo das massas de ar húmidas**. A exposição** é neste caso, determinante. *(Ramos, C. 2005)*

Relativamente ao substrato **geológico**, este pode ser constituído por formações geológicas consolidadas e não consolidadas, cascalho, areia, silte, argila, as quais influenciam o escoamento principalmente através de uma das suas propriedades, a **permeabilidade**.

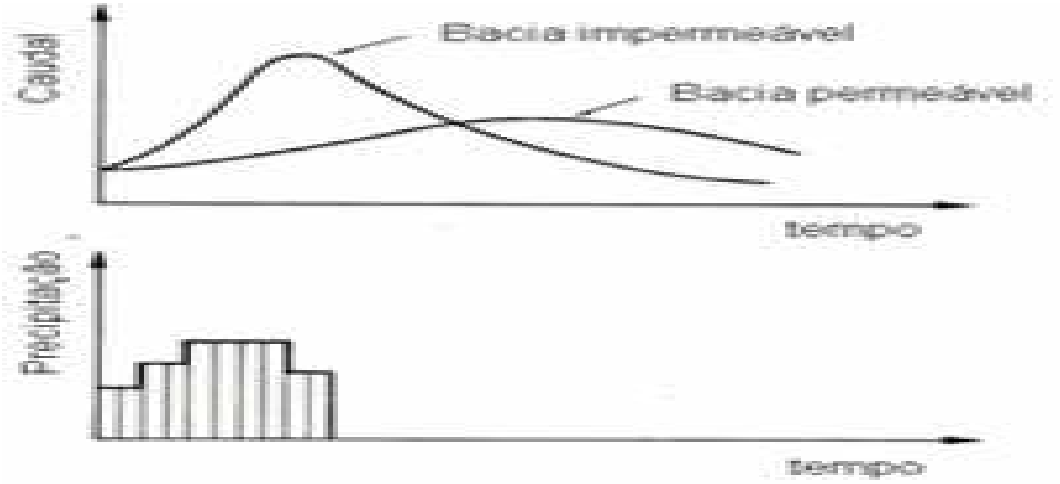


Figura 20 - Relação entre a permeabilidade do solo e subsolo e os caudais de ponta das cheias. Fonte: Villela e Mattos, 1975.

Tabela 8 - Valores de condutividade hidráulica extraídos de Gregory e Walling (1973).

	Subsolo	Condutividade hidráulica (m/dia)	Classe de permeabilidade
Formações geológicas não consolidadas	Cascalho	10^{2} - 10^{6}	elevada
	Areia	10 - 10^{4}	elevada
	Silte	10^{-3} - 10	variável a reduzida
	Argila	10^{-6}- 10^{-4}	reduzida
	Arenito	10^{-2} - 10^{2}	variável
	Calcário	10^{-2} - 10	variável
	conglomerado	10^{-4} - 1	variável
	Argilito	10^{-7} - 10	reduzida
Rochas consolidadas	basalto alterado	10^{-5} - 10^{-2}	reduzida
	tufos	10^{-6} - 10^{-2}	reduzida
	granito e afins	10^{-7} - 10^{-3}	reduzida
	xisto e grauvaque	10^{-9} - 10^{-5}	muito reduzida
	Ardósia	10^{-9} - 10^{-6}	muito reduzida
	gnaisse, micaxisto	10^{-9} - 10^{-6}	muito reduzida

A **permeabilidade** é a capacidade que as formações geológicas têm de se deixar atravessar pela água e depende da dimensão dos espaços vazios nelas existentes. A permeabilidade será tanto maior quanto menos compacto e coeso for o substrato, quanto mais grosseira for a sua textura (os espaços entre as areias são maiores do que entre as argilas) e quanto maior for o número de descontinuidades que o atravessam. Por exemplo, quanto mais fracturado estiver o substrato maior será a facilidade de infiltração da água ao longo dessas fracturas, como é o caso da área da Serra da Sicó. Assim, um substrato geológico de elevada permeabilidade, ao facilitar a infiltração da água, diminui o escoamento superficial directo e permite o aumento das reservas de água subterrâneas da bacia hidrográfica. *(Ramos, C. 2005)*

Pelo contrário, um substrato de baixa permeabilidade, ao dificultar a infiltração, favorece o escoamento superficial, aumentando a densidade da rede hidrográfica e intensificando os caudais de ponta das cheias.

Os solos cobrem o substrato geológico, constituindo a película superficial das bacias. São compostos por matérias minerais, provenientes da alteração química e erosão mecânica das rochas, e por matérias orgânicas, provenientes da decomposição biológica de plantas e animais, dependem, por isso, das características da sua rocha-mãe e do ambiente climático em que se formaram. Os solos ganham importância no escoamento das bacias hidrográficas à medida que a sua espessura aumenta.

Quanto mais espessos forem, maior será a sua capacidade de absorção da água, chegando a funcionar como reservas de água importantes e com influência decisiva no escoamento. Quando os solos são pouco espessos ou mesmo esqueléticos, o seu contributo para reduzir o escoamento superficial é quase nula.

Sendo estes os factores que condicionam e determinam o tipo de cheia, a metodologia para a elaboração de índices assenta em modelos apresentados pelos autores referenciados no capítulo III.

No entanto, outras metodologias existem para delimitar as áreas de cheia, mas tem-se verificado que apresentam grandes lacunas quando apresentadas de forma isolada.

Para **pequenas bacias**, pode-se recorrer à delimitação da bacia vertente, às áreas de máxima infiltração e aos registos de memória históricos. Algumas grandes bacias hidrográficas já possuem “plano de bacia”. Acontece que alguns, mais não são que planos de gestão de recursos hídricos, em que a função principal destes são as obras hidráulicas para fins múltiplos.

Os rios e ribeiras do concelho de Pombal, a uma escala regional, mais não são do que sub-bacias hidrográficas de outras hierarquicamente superiores, como são as bacias do Tejo, Mondego, Liz e o sector directamente drenado para o Oceano Atlântico.

O concelho de Pombal poderá ser dividido em sectores, em função das bacias hidrográficas a que estes pertencem.

Os sectores, Sul, Central e Norte do concelho de Pombal onde correm os rios Arunca e Anços bem como a ribeira de Carnide, com os respectivos cursos de água que lhes são tributários, pertencem à bacia hidrográfica do Mondego (Figura nº 21).

No sector Leste, destaca-se o rio Nabão e as ribeiras que para ele confluem, escoando para a bacia hidrográfica do Tejo.

Por seu lado, os cursos de água localizados no sector Oeste do concelho estão inseridos na bacia hidrográfica do Liz ou escoam directamente para o Atlântico.

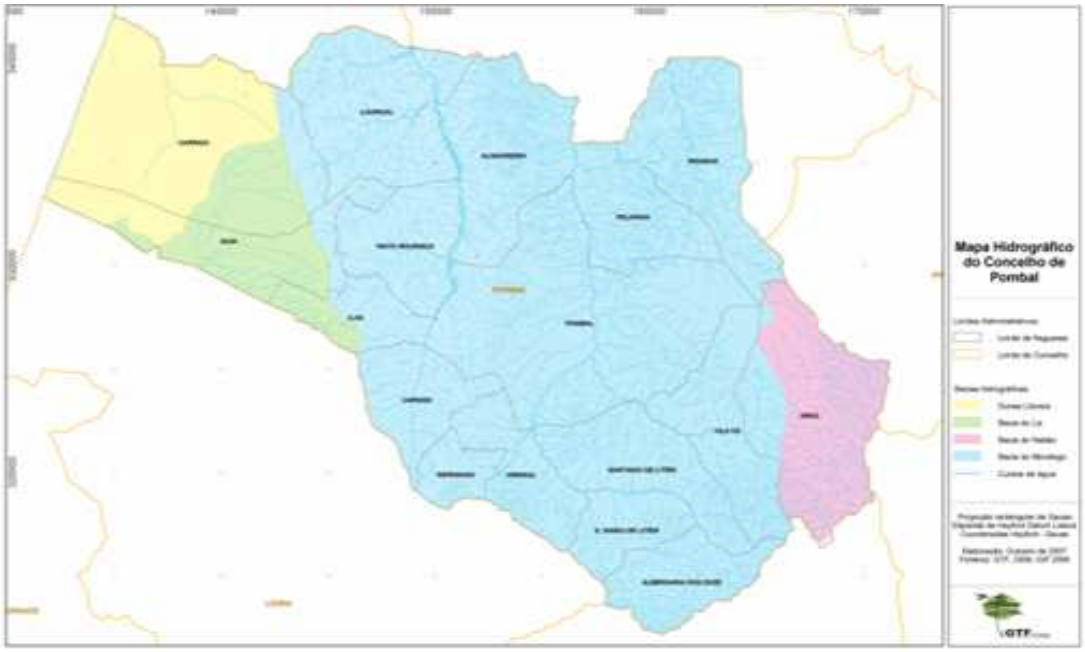


Figura 21 - Principais bacias e rede hidrográfica do território de Pombal. Fonte: GTF Pombal.

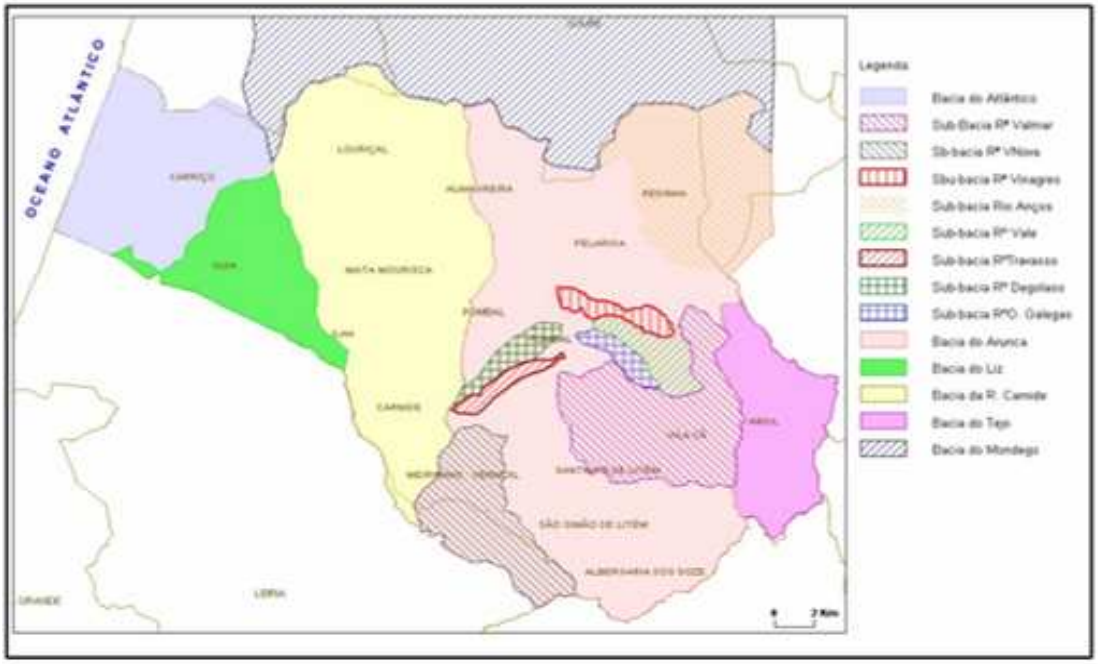


Figura 22 - Bacias e sub-bacias do território de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

A **rede hidrográfica** do concelho de Pombal pode ser classificada como sendo do tipo **exorreica** com um padrão de drenagem maioritariamente **dendrítica**. A densidade de drenagem é mais elevada nos sectores central, Norte e Sul-Este do concelho onde predominam formações litológicas compostas por arenitos, argilas, margas, calcários areníticos e arenitos argilosos. Esta densidade vai diminuindo consoante se vai entrando nos materiais do Jurássico, mais duros e permeáveis tais como os calcários bioclásticos e oolíticos e calcários com nódulos de siléx. No sector Oeste do concelho nota-se a ausência de uma drenagem organizada, pois nesse sector dominam as areias de praia e de duna.

Nos sectores onde a densidade de drenagem é baixa, o escoamento superficial é mais lento e produzirá menores quantidades de água, se esta densidade for elevada, dá origem a um escoamento superficial rápido o que provocará a antecipação do pico de cheia.

1.7 – Ocupação do solo

As **florestas** revelam-se de capital importância porque, além de minimizarem o impacto da chuva no solo, reduzindo desse modo a erosão do mesmo, fazem diminuir a

velocidade do escoamento superficial, favorecendo a infiltração e contribuindo, assim, para o aumento das reservas hídricas subterrâneas.

A acção humana nas bacias hidrográficas faz-se sentir, não só sobre algumas das características da bacia, essencialmente sobre a rede de drenagem, vegetação e solos, por exemplo, alargando ou estreitando os canais de escoamento, construindo canais e lagos artificiais, impermeabilizando solos com o aumento das áreas construídas, desflorestando ou florestando vastas áreas, alargando perímetros de rega, etc., mas também sobre o próprio escoamento, sobre-explorando ou recarregando artificialmente aquíferos, travando e regularizando o escoamento através de barragens, de tal forma que pode modificar completamente o regime hidrológico das bacias hidrográficas. *(Ramos, C. 2005)*

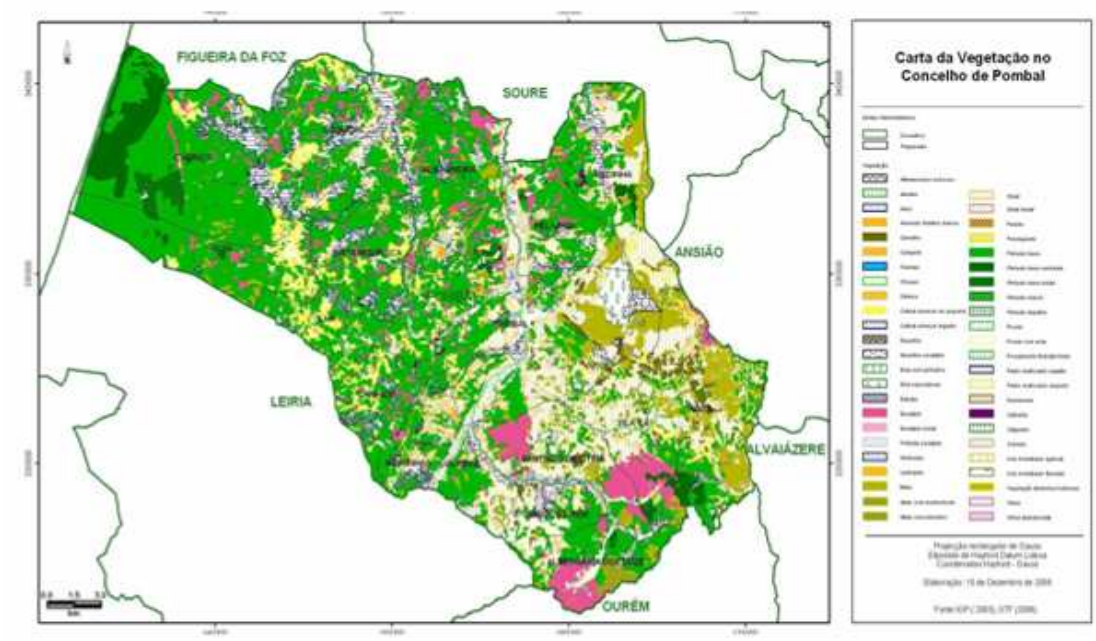


Figura 23 - Ocupação da vegetação no concelho de Pombal. Fonte: GTF Pombal.

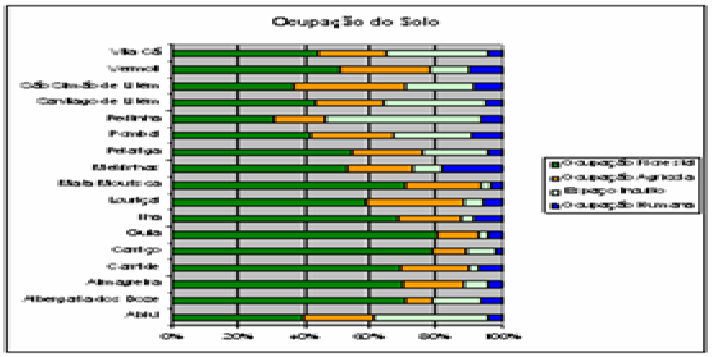


Figura 24 - Ocupação do solo por freguesias. Fonte: GTF Pombal.

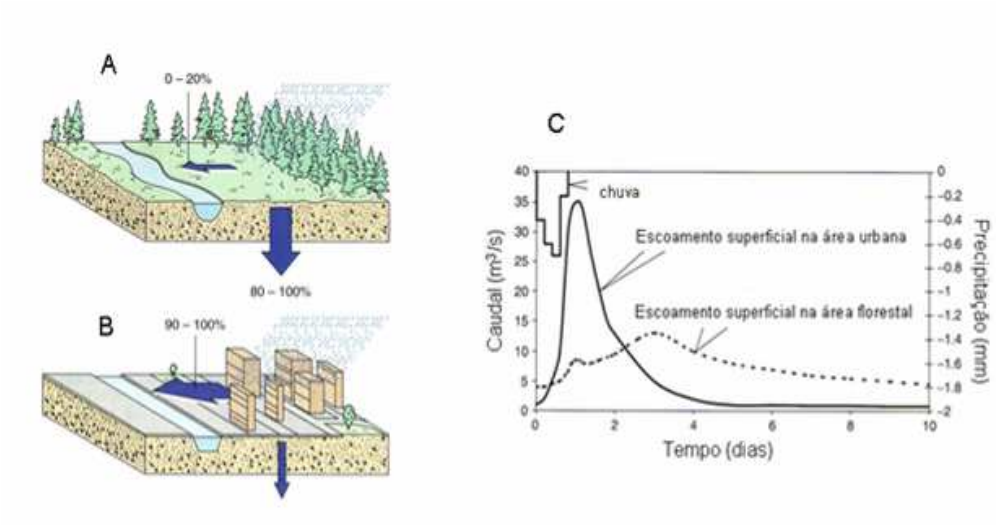


Figura 25 - Escoamento superficial vs. infiltração (A – área florestal; B - área urbanizada; Hamblin e Christiansen, 2001) e diferenças nos respectivos caudais de ponta (C; Ward e Trimble, 2004).

As áreas construídas, (áreas urbanas) no concelho de Pombal correspondem a cerca de 5% da totalidade da área do concelho. Os espaços florestais ocupam 73%, os restantes 32% estão ocupados por incultos e terrenos agrícolas(Figuras 23, 24) .

A vegetação tem influência no escoamento/infiltração, na medida quando esta é abundante o pico de cheia vai surgir retardado relativamente à precipitação útil, pois essa vegetação vai funcionar como um entrave, condicionando o caudal de cheia via intersecção da precipitação ao nível do solo. As áreas de vegetação mais densa potenciam a infiltração em detrimento do escoamento superficial, o oposto ocorre nas áreas de forte impermeabilização, em que os caudais estão disponíveis imediatamente e exclusivamente para o escoamento superficial, desenvolvendo picos de cheias quase instantâneos conferindo ao mesmo tempo um carácter de elevada irregularidade ao curso de água.

1.7.1 - Tipo hidrológico de solo, utilização e cobertura do solo.

O caudal de uma bacia não depende exclusivamente do escoamento superficial, no entanto as cheias dependem quase exclusivamente deste tipo de escoamento e o tipo de solo bem como a existência ou ausência de vegetação influenciam determinadamente a velocidade do escoamento.

Os tipos hidrológicos do solo correspondentes à classificação do *Soil Conservation Service* são os quatro seguintes:

Tipo A, baixo potencial de escoamento superficial, solos com elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos incluem principalmente areias profundas, com drenagem boa ou excessiva. Estes solos possuem uma elevada transmissividade. Este tipo de solo normalmente ocupa os fundos dos vales agrícolas.

Tipo B, potencial de escoamento superficial abaixo da média, solos com intensidades de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira, e medianamente drenados. Estes solos possuem uma transmissividade média e também estão presentes nalguns vales e áreas planas.

Tipo C, potencial de escoamento superficial acima da média solos com baixas intensidades de infiltração, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina. Estes solos possuem uma transmissividade baixa. No concelho de Pombal estão presentes no sector Sul em áreas mais ou menos declivosas.

Tipo D, elevado potencial de escoamento superficial, solos com intensidades de infiltração muito baixas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade. Estes solos possuem uma transmissividade muito baixa. Estão presentes nas áreas mais declivosas do concelho, ou seja, no sector Este.

Os solos suportam a vegetação que, por sua vez, também influencia o escoamento, através do tipo de revestimento arbóreo, arbustivo ou herbáceo e do tipo de utilização pelo Ser Humano, florestal, agrícola, incultos.

A urbanização de áreas extensas conduz a uma redução acentuada nos valores da infiltração e no aumento considerável do escoamento directo, potenciando os picos de cheia. Na análise quantitativa das bacias de drenagem para avaliação da sua susceptibilidade às cheias, define-se o tipo de uso do solo, as áreas ocupadas por cada tipo, aplicando-se de seguida, para cada uma dessas áreas, o número de escoamento (N), que depende do tipo hidrológico do solo, da sua utilização e das condições de superfície.

1.8 - Contaminação das águas subterrâneas

A relação escoamento/infiltração, leva-nos a um outro problema, o da contaminação das águas subterrâneas, incluindo aquíferos e camada freática e que por norma, depende de factores que estão associados, de onde se destacam os seguintes:

A forma e a densidade da rede de drenagem reflectem de certa maneira tanto a permeabilidade do solo como as áreas de recarga de aquíferos. No geral pode afirmar-se que a uma maior densidade de drenagem corresponde uma menor permeabilidade, logo menor risco de contaminação das águas subterrâneas. No entanto, em áreas de recarga de aquíferos e em áreas em que o nível freático se encontra relativamente alto, aí, o risco de contaminação poderá se elevado.

A geologia é outro factor importante quanto ao risco de contaminação. A profundidade da rocha mãe e suas características determinam por um lado, a altura do nível freático, e por outro, a possibilidade de armazenamento de água em aquíferos. As areias por exemplo, são rochas de grande captação de água devido à sua grande porosidade. São rochas susceptíveis de armazenarem substâncias contaminadoras, enquanto as rochas impermeáveis não possuem capacidade de armazenagem de água, portanto, a contaminação será mínima ou nula.

Também dentro das características topográficas será interessante ter o conhecimento do declive do terreno, pois, quando ele é forte o escoamento será também maior o que levará a uma diminuição da infiltração, transportando os contaminantes para longe dessas áreas declivosas. Em áreas planas ocorrerá o inverso. A contaminação tem assim uma proporção inversa à percentagem da inclinação.

Logo, se solos porosos apresentam uma contaminação elevada, devido à forte infiltração, os solos compactos argilosos tem um risco de contaminação baixo.

Também as áreas cársicas possuem uma elevada susceptibilidade quanto à contaminação das reservas de água subterrâneas, essa contaminação poderá ser temporalmente curta no local contaminante. No entanto, o seu efeito irá evidenciar-se posteriormente em locais adjacentes às regiões cársicas, pois estes sistemas comportam-se como autênticos reservatórios de água que alimentam as nascentes em seu redor.

Pode-se assim concluir que a contaminação potencial das águas subterrâneas cresce com a permeabilidade e a altura do nível freático, e decresce com a inclinação e a profundidade da rocha mãe.

Se a estes factores se juntar uma rede de drenagem pouco densa e focos emissores de produtos contaminantes, então estão reunidas as condições para que as águas subterrâneas sejam fortemente poluídas.

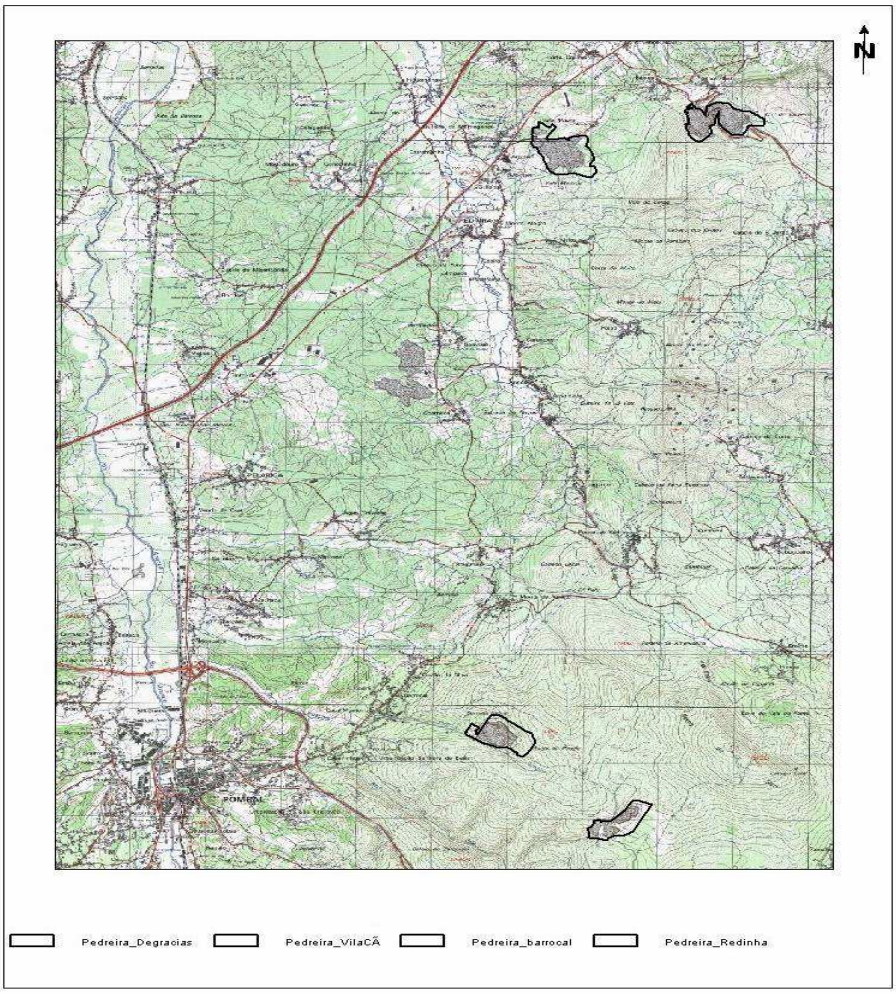


Figura 26 - Localização de pedreiras na serra de Sicó. Fonte: Elaboração própria.

As principais fontes de poluição de águas subterrâneas são: domésticas, industriais e pecuárias. No sector do concelho de Pombal que está inserido dentro do maciço calcário Sicó/Alvaiázere os aquíferos possuem uma classificação quanto à sua susceptibilidade face à contaminação de elevada a média - elevada devido à litologia ser composta por rochas carbonatadas cuja carsificação varia entre média a elevada. Dentro deste espaço encontram-se em actividade várias unidades de extracção de inertes de onde se destacam as 4 mais significativas, duas na vertente Norte e duas na vertente Sul da Serra da Sicó (Figura 26).

Esta actividade possui um elevado potencial contaminador das águas subterrâneas que circulam no maciço calcário, pois além dos resíduos produzidos pela própria actividade, há que ter em conta a circulação de máquinas e camiões e os resíduos resultantes da sua manutenção cujo destino final por vezes é uma verdadeira incógnita.

O mesmo ocorrerá aquando de situações de precipitação intensa em que estas pedreiras funcionam como bacias de acumulação descarregando directamente para o sistema de circulação cársico, todo o tipo de detritos através das fracturas e algares.

CAPITULO III

- Parâmetros quantitativos das bacias hidrográficas

1.1 - Análise quantitativa das componentes físicas da bacia hidrográfica

A análise quantitativa das bacias hidrográficas divide-se em: linear, areal e altimétrica.
Na análise linear são englobados os indicadores relativos à rede de drenagem, cujas medições são efectuadas ao longo das linhas de água.
Na análise areal estão englobados os indicadores nos quais intervêm medições planimétricas.
A análise hipsométrica representa a terceira dimensão das bacias, ou seja, os indicadores dependentes do relevo.

1.2 – Geometria

Perímetro – linha divisória de águas que delimita a bacia.
Área – área plana limitada pelo perímetro da bacia.
Forma – comparação entre a forma da bacia e a de figuras geométricas regulares, como o rectângulo ou o círculo.
A definição da forma da bacia implica o conceito de comprimento da bacia, que pode ser: o comprimento do respectivo curso de água mais longo, desde a desembocadura até à cabeceira mais distante.
Também se pode considerar como comprimento da bacia, a distância medida em linha recta, desde a desembocadura até ao interflúvio próximo da cabeceira do curso de água mais longo.
Ainda se pode entender como comprimento da bacia, a maior distância, em linha recta, entre a desembocadura e determinado ponto situado ao longo do perímetro. Uma outra alternativa será, a maior distância em linha recta, entre a desembocadura e o ponto mais alto situado sobre o perímetro.

1.2.1 - Factor Forma *(Horton, 1945)*

$Ff = A / Cb^2$

Em que:

"A" é a área da bacia (em km^2). "Cb" é o comprimento da bacia (em km)

Procura relacionar a forma da bacia com a de um rectângulo. É a relação entre a largura média "Lm" e o comprimento da bacia "Cb".

O Factor Forma varia entre 0, bacia alongada, e 1, bacia arredondada, e constitui um índice sobre a maior ou menor tendência para a ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica.

Assim, uma bacia com um Factor Forma baixo (próximo de 0) encontra-se menos sujeita a cheias rápidas que outra do mesmo tamanho, mas com um factor forma maior (próximo de 1).

1.2.2 - Índice de *Gravelius* ou Coeficiente de Compacidade

$Kc = 0.28\ P/ \sqrt{A}$

Em que:

"P" é o perímetro da bacia (em km). "A" é a área da bacia (em km^2).

Procura relacionar a forma da bacia com a de um círculo. É a relação entre o perímetro da bacia "P" e o perímetro de um círculo "Pc" de igual área.

O índice de *Gravelius* é um número adimensional, no mínimo será igual à unidade 1 correspondendo, nesse caso, a uma bacia circular.

Quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o respectivo coeficiente de compacidade. Considera-se compacta uma bacia em que $Kc < 1,6$.

Em igualdade dos restantes factores, a tendência para grandes cheias será tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor deste coeficiente.

.

Tabela 9 - Valores das variáveis da Geometria para as bacias hidrográficas do concelho de Pombal.

	Perímetro	Área	Comprimento total dos cursos de água	Altitude máxima	Altitude minima	Comprimento da bacia (km)	Factor Forma (Ff)	Índice de Gravelius (Kc)
	P (km)	A (Km2)	Ca (km)			Cb (km)		
Bacia Arunca Limite Norte do concelho	81.50	308.70	916.50	342	19	30	0.343	1.299
Bacia do Arunca Norte do Perímetro Urbano	57.00	179.60	618.50	342	55	19.50	0.472	1.191
Bacia do Arunca Sul do perímetro Urbano	53.00	129.10	555.00	342	68	17.00	0.446	1.306
Bacia Anços	29.50	63.00	161.00	440	25	10.00	0.63	1.040
Bacia Carnide	54.50	156.70	570.50	198	38	23.00	0.29	1.220
Bacia Ribª O. Galegas	11.70	4.5	17.96	360	58	4.8	0.208	1.495
Bacia Rb. Valmar	31.50	51.9	129.00	302	68	11.00	0.429	1.225
Bacia Rb. Do Vale	17.00	10.20	57.50	276	62	6.4	0.249	1.492
Bacia Rb. Travasso	14.00	4.06	10.90	175	67	6.30	0.102	1.950
Bacia Rb. Degolaço	12.50	6.60	11.30	160	59	7.1	0.130	1.367

1.2.3 - Geometria: Conclusão

A área da bacia hidrográfica do Arunca no concelho de Pombal é aproximadamente 308.7 km^2, ou seja 40.3% dos 765 km^2 do total da bacia do Arunca enunciados no Plano de bacia Hidrográfica do Rio Mondego. Desta área (308.7 km^2), 129.10 km^2, ou seja 42% corresponde à área que a bacia hidrográfica ocupa até entrar no perímetro urbano da cidade de Pombal.

A ribeira de Carnide tem uma área 156.7Km², apresentando-se como a segunda maior do sistema hidrográfico do concelho.

Até ao limite norte do concelho de Pombal, a bacia do rio Arunca tem 30 km de comprimento e 916.5 km de cursos de água. Até ao início do perímetro urbano da cidade de Pombal o comprimento da Bacia é de 17km, e 555 km de cursos de água, o que representa 60.55% do total da bacia.

A bacia da ribeira de Carnide tem de extensão 23 km, valor que é também o segundo maior entre as bacias do concelho.

O valor do Factor Forma e do índice de compacidade para a bacia do Arunca é respectivamente, 0.343 e 1.299, valores que anunciam níveis de perigosidade a ter em conta, estes valores indicam que a bacia é circular, o que possibilita uma elevada captação de água aquando de precipitação localizada e intensa no entanto, esta perigosidade apresenta-se aparentemente atenuada no extremo Sul do perímetro urbano de Pombal, pois, quer o valor do Factor Forma quer do índice de compacidade são mais elevados do que os da bacia, 0.446 e 1.306 respectivamente.

Quanto às bacias do rio Anços e da ribeira de Carnide, ambas tem o índice de compacidade abaixo de 1.6. No entanto, quanto à forma a bacia do Anços poderá ser classificada como sendo uma bacia intermédia, 0.630, enquanto a bacia da ribeira de Carnide já se apresenta como uma bacia alongada, sendo esta a única das grandes sub-bacias do concelho que possui esta característica.

Das ribeiras da bacia do Arunca a montante do perímetro urbano de Pombal a que possui maior área é a ribeira de Valmar, tendo esta também o maior comprimento total dos cursos de água, apresenta igualmente o Factor Forma com o valor mais elevado entre as sub-bacias do Arunca, 0.429, o que lhe confere uma forma menos arredondada, o índice de compacidade calculado para esta sub-bacia foi, 1.34, inferior a 1.6, no entanto aponta ainda para alguma regularidade.

O ribeiro do Vale e a ribeira do Outeiro Galegas situados na margem direita do Arunca e a Leste da cidade de Pombal, desembocam no rio Arunca dentro do perímetro urbano da cidade, são os cursos de água que possuem o valor mais alto quanto ao índice de compacidade 1.492 e 1.545 evidenciando alguma regularidade devido à sua forma arredondada, sendo o Factor Forma igual a 0.249 e 0.143 respectivamente o que indica um elevado potencial para desenvolverem “pontas de cheia” quase instantâneas, como ocorreu em 26 de Outubro de 2006.

1.3 – Rede de drenagem

1.3.1 - Hierarquia *(Strahler, 1952)*

A hierarquização das linhas de água permite analisar o grau de ramificação existente numa bacia hidrográfica que, entre outras características, é avaliado pelo nível hierárquico alcançado pelos principais cursos de água. Assim, a hierarquia procura classificar os cursos de água por ordem de importância. Os canais de ordem “1” são os que não possuem tributários, os de ordem “2” resultam da confluência de dois canais de ordem “1”, os de ordem “3” resultam da confluência de dois canais de ordem “2” e assim por diante.

1.3.2 - Magnitude *(Shreve, 1966)*

Nas bacias de drenagem, sob condições geomorfológicas e climáticas similares, o escoamento depende, em grande parte, do número de cursos de água nelas existentes e será tanto maior quanto maior for o número de canais em funcionamento.

A magnitude de um curso de água é igual ao número de cabeceiras que lhe são tributárias, ou seja, na prática, estas correspondem ao número de canais de ordem "1" segundo o critério de *Strahler*.

1.3.3 - Comprimento do rio principal

O comprimento do rio é a distância (em km) que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até à cabeceira mais longínqua.

Há vários critérios para a definição do curso de água principal. *Horton (1945)* propôs as seguintes regras: partindo de jusante de cada confluência, estender a linha do curso de água para montante, para além da bifurcação, seguindo a mesma direcção; o canal confluente que apresentar maior ângulo é o de ordem menor. Se ambos os cursos de água possuem o mesmo ângulo de confluência, o de maior dimensão é geralmente o de ordem mais elevada.

Shreve propôs um outro critério: em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo canal de maior magnitude.

1.3.4 - Densidade de Drenagem (Horton, 1945)

Dd = Ct /A (km / km^2)

Exprime a relação entre o comprimento total "Ct" dos cursos de água da bacia (em km), sejam eles perenes, sazonais ou ocasionais, e a área "A" da bacia (em km^2). Em condições similares a densidade de drenagem depende fundamentalmente do substrato geológico e do relevo.

A "Dd" fornece uma indicação da eficiência da drenagem natural das bacias, sendo estas tanto mais bem drenadas quanto maior for o seu valor.

Em igualdade dos restantes factores, as bacias com maior densidade de drenagem tenderão a estar mais sujeitas a cheias do que as bacias com menor densidade de drenagem.

Tabela 10 - Densidades de drenagem, válidas para a escala 1:25 000 (Gregory e Walling, 1973)

Densidade de Drenagem (km / km^2)	Classe
< 3	muito baixa
3 ≤ Dd < 5	baixa
5 ≤ Dd < 7	média
7 ≤ Dd < 9	elevada
9 ≤ Dd < 11	muito elevada
Dd ≥ 11	extremamente elevada

1.3.5 - Densidade Hidrográfica (Horton, 1945)

Dh = N / A (n.º de cursos de água / km^2)

Em que:

"N" é o número total de cursos de água existentes na bacia

"A" é a área da bacia.

Segundo o critério de *Strahler*, o número de cursos de água corresponde aos de ordem "1" portanto à magnitude *(Shreve)* de uma bacia. A "Dh" representa a capacidade que uma área tem em gerar novos cursos de água.

1.3.6 - Coeficiente de Torrencialidade. (Vivas, 1966)

Ct = Dh x Dd

Em que:

"Dh" é a densidade hidrográfica

"Dd" é a densidade de drenagem.

É um índice utilizado sobretudo em pequenas bacias hidrográficas, afectadas pelo escoamento torrencial. A torrencialidade de uma bacia será tanto maior quanto mais elevado for o valor do índice.

Tabela 11 - Valores das variáveis rede de drenagem no concelho de Pombal

	Hierarquia	Magnitude	Comprimento do rio principal	Densidade Drenagem	Densidade Hidrográfica	Coeficiente Torrencialidade
			km	km/km^2	nº c.a./ km^2	
Bacia Arunca Limite Norte do concelho	5	1295	33	2.960	4.19	12.40
Bacia do Arunca Norte do Perímetro Urbano	-	1080	22	3.443	6.01	20.69
Bacia do Arunca Sul do perímetro Urbano	-	950	19.5	4.298	7.35	31.59
Bacia do Anços	4	187	7	2.550	2.96	7.54
Bacia da Rbª de Carnide	4	902	22	3.640	5.75	20.93
Bacia Ribª O. Galegas	3	72	5.6	1.050	5.55	5.82
Bacia Rbª. Valmar	4	203	15	2.485	3.91	9.71
Bacia Rb. Do Vale	3	76	8.4	5.637	7.45	41.99
Bacia Rb. Travasso	2	9	6.7	2.684	2.21	5.92
Bacia Rb. Degolaço	2	9	5.3	1.712	1.36	2.32

1.3.7 – Rede de drenagem: Conclusão

A hierarquia do rio Arunca dentro do território do concelho de Pombal tem como valor 5, e uma magnitude de 1295, em que 73.35% desse valor, ou seja 950 cursos de água de ordem "1" situam-se a montante da cidade de Pombal, dos quais, 436 estão situados a montante da junção do rio Arunca com a ribeira da Venda Nova. A magnitude da sub-bacia da ribeira de Valmar é 203.

As sub-bacias do ribeiro do Vale e da ribeira do outeiro Galegas apresentam uma magnitude de valor 76 e 72 respectivamente, valores estes que atestam a baixa capacidade deste sector da bacia em gerar novas cabeceiras.

A magnitude da bacia da ribeira de Carnide é de 902, muito próxima da magnitude da bacia do Arunca. Isto pode ser atribuído a uma menor resistência dos materiais dessa área face à erosão hídrica, o que permite gerar um elevado número de canais de escoamento. Já a bacia do rio Anços apresenta um valor inferior ao da bacia da ribeira de Valmar, pois o material das cabeceiras do Anços é composta por calcários compactos de grande resistência mecânica.

A elevada magnitude da bacia da ribeira de Carnide apresenta-se como um factor que potencia de certa maneira a ocorrência de cheias rápidas, embora que atenuadas pela forma alongada desta.

A densidade de drenagem da bacia do ribeiro do Vale é a mais elevada de todas as bacias do concelho, o que significa que, em igualdade dos outros factores, está mais vulnerável à ocorrência de cheias rápidas.

Os cursos de água de maior densidade de drenagem também são os que contem maior potencialidade em gerar novos cursos de água pois apresenta o valor da densidade hidrográfica mais elevada.

O comprimento do rio Arunca quase coincide com o comprimento da bacia, característica esta que se mantém para os diversos cursos secundários o que também contribui para o aumento da perigosidade.

Comparativamente, a ribeira de Carnide tem o mesmo comprimento que o Arunca tem até ao limite Norte do perímetro urbano da cidade de Pombal, enquanto o Anços dentro do concelho de Pombal apresenta uma extensão semelhante à do ribeiro do Vale.

Na bacia do Arunca, a eficiência natural de drenagem, ou seja, a densidade de drenagem, é mais eficaz até ao ponto Sul do perímetro urbano de pombal (4.29), do que na totalidade da bacia dentro do concelho de Pombal, (2.96), pertencendo o valor mais baixo dentro desta, à ribeira do Outeiro Galegas (1.05). Esta eficiência encontra-se em concordância com a capacidade que cada sector tem em gerar novos cursos de água, como se pode verificar pelos valores da densidade hidrográfica.

O coeficiente de torrencialidade é directamente proporcional às densidades de drenagem e hidrográfica. Na bacia do Arunca no concelho de Pombal, o local onde este índice é mais elevado é nos sectores que correspondem ao início do perímetro urbano da cidade de Pombal e à bacia do ribeiro do Vale.

Este valor para o início do perímetro urbano da cidade de Pombal explica-se por ser o local onde a ribeira de Valmar conflui com o rio Arunca.

Este valor na bacia do Arunca para o ponto Sul do perímetro Urbano, poderá ser explicado pela proximidade à desembocadura da ribeira de Valmar no rio Arunca, confluência essa que segundo estes índices, permite deduzir ser esse local um dos pontos críticos dentro da bacia hidrográfica do Arunca.

1.4 – O relevo

1.4.1 – Desnivelamento

D = Hmáx - Hmín

O desnivelamento "D", expresso em metros, é a diferença entre a altitude máxima da bacia "Hmáx" e a altitude mínima da bacia "Hmín".

O desnivelamento tem influência sobre a energia potencial da água e uma bacia será tanto mais acidentada quanto maior for a sua amplitude altimétrica.

1.4.2 - Relação de Relevo *(Schumm)*

Rr =D/Cb

É a razão entre a amplitude altimétrica "D" da bacia e comprimento da bacia "Cb", medido paralelamente ao curso de água principal. Em que "Rr" é a relação de relevo. Neste índice, os valores da "D" e do "Cb" são em metros.

É um indicador da inclinação da bacia influenciando, por isso, a velocidade do escoamento. Quanto maior for a relação de relevo de uma bacia mais rápida é a chegada das águas à sua desembocadura.

1.4.3 - Índice de Rugosidade *(Melton, 1957)*

Ir = D x Dd

Em que: "D" é o desnivelamento da bacia e "Dd" é a densidade de drenagem. O índice de Rugosidade será tanto maior quanto mais acidentada for uma bacia e mais dissecada estiver pela erosão fluvial.

1.4.4 - Inclinação média ou gradiente dos cursos de água *(Horton)*

Dc = Dh / Ch

O declive, inclinação ou gradiente "Dc" dos canais fluviais é a relação entre o desnível "Dh" dos seus pontos extremos e o respectivo comprimento "Ch". Tanto pode ser medido para o curso de água principal, ou para cada um dos seus afluentes, como para os segmentos que formam uma linha de água. Vem expresso em % (se as unidades estiverem em metros e multiplicando o resultado final por 100), graus ou m/km (se "D"

estiver em metros e “Ch” em km). Um curso de água será tanto mais inclinado quanto maior for o valor deste índice.

O declive dos canais controla, em boa parte, a velocidade do escoamento à superfície e, consequentemente, o tempo que a água leva a concentrar-se nos canais fluviais, afectando a grandeza das pontas de cheia, a infiltração e a susceptibilidade à erosão dos solos das bacias de drenagem.

Tabela 12 - Valores das variáveis rede de drenagem no concelho de Pombal.

	Desnivelamento	Relação de Relevo	Índice de Rugosidade	Inclinação média ou Gradiente dos Cursos de água
	m			%
Bacia Arunca Limite Norte do concelho	323	10.76	956.0	0.0098
Bacia do Arunca Norte do Perímetro Urbano	287	14.71	988.1	0.0130
Bacia do Arunca Sul do perímetro Urbano	274	16.11	1177.7	0.0140
Bacia do Anços	415	41.50	933.7	0.0590
Bacia da Rbª de Carnide	160	6.95	582.4	0.0072
Bacia Ribª O. Galegas	302	33.50	317.1	0.0160
Bacia Rbª. Valmar	234	33.42	685.8	0.0260
Bacia Rb. Do Vale	214	38.90	453.7	0.0329
Bacia Rb. Travasso	108	17.14	48.9	0.0099
Bacia Rb. Degolaço	101	28.8	67.3	0.0089

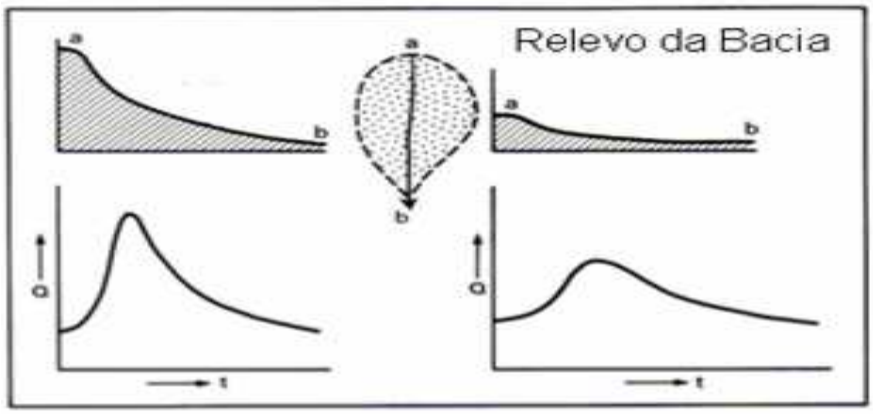


Figura 27 - Influência do relevo da bacia (altitude e declive) no hidrograma de cheia; ab – perfil longitudinal do curso de água, Q – caudal, t - tempo. Fonte: (Gregory e Walling, 1973).

1.4.5- Conclusão

A bacia hidrográfica do Arunca apresenta o **desnivelamento** máximo junto ao topo da Serra da Sicó de (555m), este desnivelamento encontra-se na vertente NW da Serra, no entanto o desnivelamento a ter em conta para a bacia do Arunca é o desnivelamento que existe ao longo do canal principal da bacia, que é de 323m, sendo de 274m até ao limite Sul do perímetro urbano da cidade, e 287m até ao limite Norte, apresentando uma diferença de desnível entre estes dois limites de 13m.

A bacia do rio Anços é a que apresenta o maior desnivelamento (415m), situação justificada pela altitude a que se encontram as suas cabeceiras na vertente norte da serra da Sicó, e a montante da principal exsurgência que alimenta regularmente este curso de água.

O **desnivelamento** da bacia da ribeira de Carnide é um dos mais fracos entre as bacias do concelho, tendo como particularidade a sua Foz no Mondego estar somente um metro acima do nível de base.

Neste índice a bacia do Anços é a que possui a maior inclinação, em sentido oposto encontra-se a bacia da ribeira de Carnide com o desnivelamento menos acentuado, o que teoricamente induzirá uma velocidade mais baixa no escoamento da água.

Quanto à inclinação média dos cursos de água regista-se que o valor da bacia do Arunca é inferior a qualquer sector ou ponto nela referenciado.

A **relação de relevo**, tal como está definida apresenta-se como um dos indicadores mais importantes para o estudo de uma bacia. Na bacia do rio Arunca, como se pode verificar o ribeiro do Vale é o que apresenta o valor mais alto, a ribeira de Valmar, situação compreensível pois ambos têm a sua origem na serra da Sicó. Mais uma vez o valor do limite Sul do perímetro urbano da cidade de Pombal é superior ao valor da bacia, 16.11 contra os 10.76 da bacia.

O índice de **rugosidade** que depende do produto entre o desnivelamento com a densidade de drenagem, traduz o carácter acidentado de uma bacia, e tem na bacia do Arunca o seu valor máximo junto ao limite Sul do perímetro urbano da cidade.

A bacia do rio Anços, e tendo em conta os valores até aqui enunciados, apresenta-se como sendo a bacia mais acidentada.

1.5 - Perfil longitudinal dos cursos de água

Relaciona as cotas do respectivo leito com as distâncias à Foz. Muitas vezes, associam-se perfis transversais do vale talhado pelo curso de água em vários pontos do seu perfil longitudinal, para definir as variações da largura e forma do vale.

A análise destes perfis, (Figuras nº 28, 29 e 30), permite detectar eventuais rupturas de declive, bem como os troços de maior erosão e / ou assoreamento potencial devidos à dinâmica dos cursos de água.

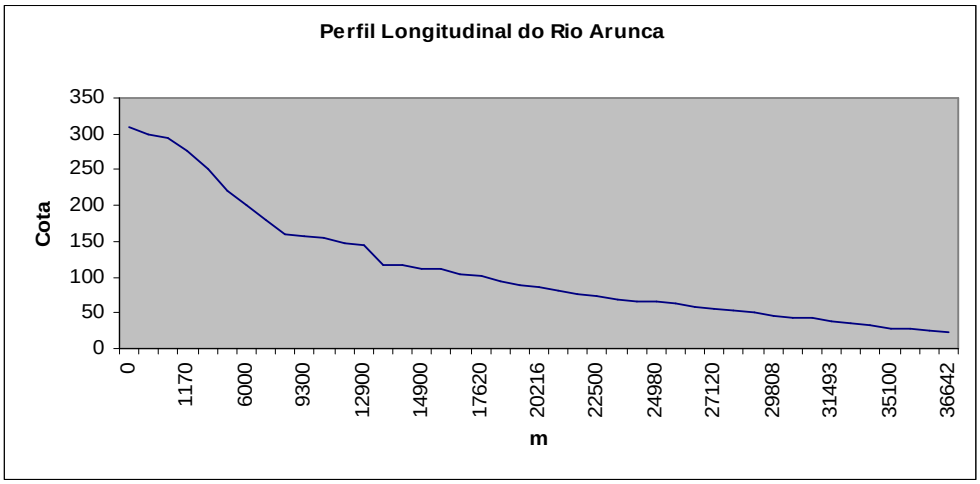


Figura 28 - Perfil longitudinal do Rio Arunca. Fonte: Elaboração própria.

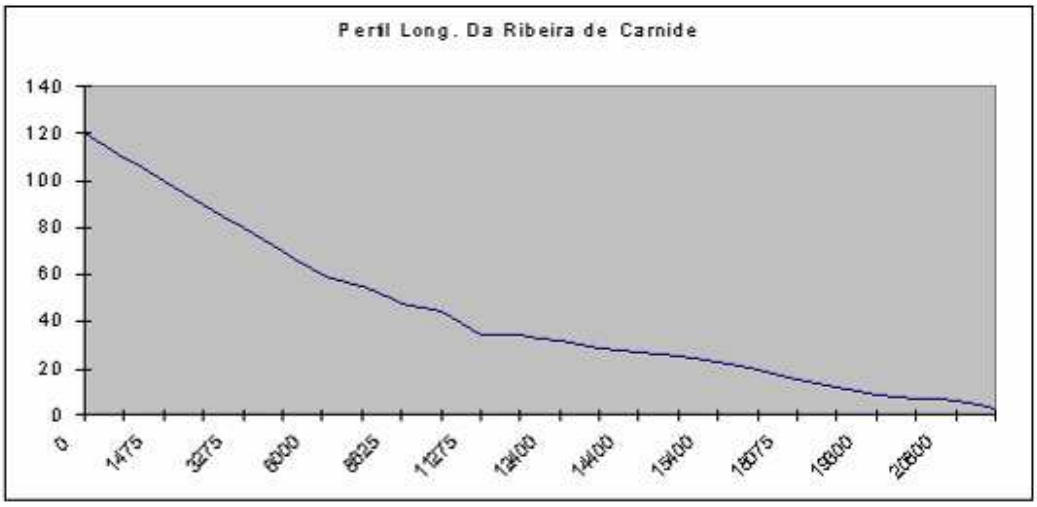


Figura 29 - Perfil Longitudinal da Ribeira de Carnide. Fonte: Elaboração própria.

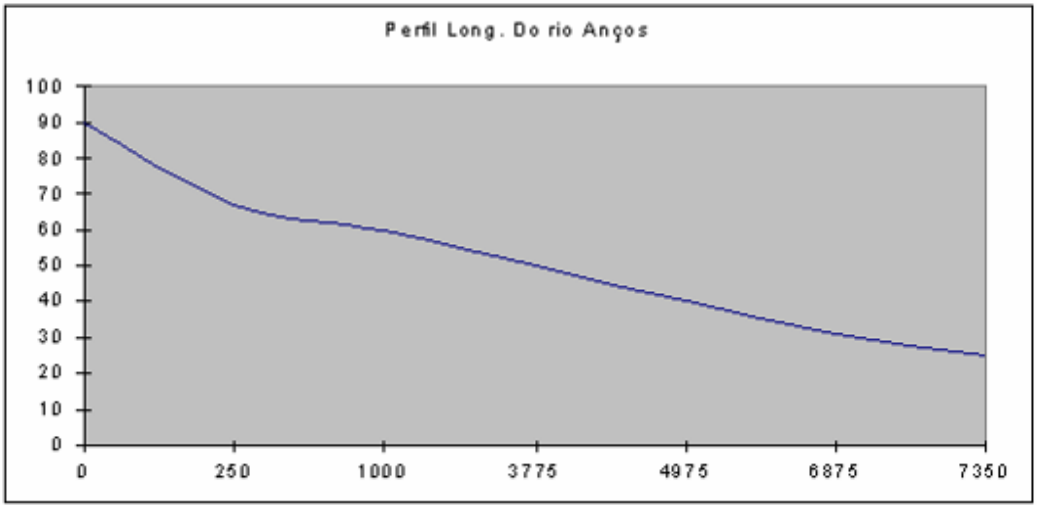


Figura 30 - Perfil Longitudinal do Rio Anços. Fonte: Elaboração própria.

1.5.1 – Conclusão perfis longitudinais.

Pela observação do perfil longitudinal do rio Arunca, constata-se que o curso principal de água apresenta um perfil ligeiramente côncavo, pode-se depreender de certa maneira, que nos primeiros 5000 metros este curso de água possui uma inclinação acentuada, surgindo uma ruptura de declive aos 12900 metros que se prolonga até próximo dos 14000 metros.

A partir dos 20000 metros o declive suaviza-se e genericamente, poder-se-á dizer que o rio tem características erosivas durante os primeiros 14000 metros, começando a partir daí e de uma forma gradual a depositar os sedimentos provenientes da sua actividade erosiva a montante.

A hipsometria da bacia do Arunca tem uma característica particular, que é o Arunca ser o curso de água principal mas não tem, a sua cabeceira no ponto de maior altitude da bacia, a altitude máxima da bacia é de 555m. A cabeceira da linha de água mais elevada está a 443m de altitude e pertence á ribeira dos Vinagres, no entanto a altitude máxima do concelho situa-se a montante da cabeceira do ribeiro do Vale.

A elaboração da curva hipsométrica possibilita a visualização do volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica, desde o ponto de cota máxima até à base tida como referência, portanto, o material com potencialidade de ser erodido.

Neste caso, o perfil topográfico do rio Arunca permite-nos fazer uma interpretação do intregal hipsométrico, o qual apresentará uma forma inversa à do perfil, ou seja

convexa, o que revela um predomínio de fenómenos erosivos até a cota 100, a partir daí começará a aproximar-se do estado de maturação.

No caso do rio Anços, o perfil a partir dos 1000 metros apresenta uma forma rectilínea não apresentando também qualquer ruptura de declive.

O curso da ribeira de Carnide, tem um declive acentuado até aos 11000 metros, onde ocorre uma ruptura de declive, suavizando-se gradualmente a partir daí até a sua Foz no Rio Mondego.

1.6 – Tempos de resposta e concentração para bacias e sub-bacias

1.6.1 -Tempo de concentração *(J. Temez)*

Considera-se tempo de concentração, o tempo gasto por uma gota de água que caia no ponto mais longínquo de uma bacia até chegar à desembocadura.

Embora a fórmula de *Giandotti* seja de corrente utilização no nosso país, esta, tende a dar valores do tempo de concentração por defeito que podem não se aproximarem do tempo de resposta das bacias. *F. Correia (1983)* propõe, por isso, a utilização no nosso país da fórmula de *J. Temez*, pois esta foi testada em bacias americanas e espanholas com resultados próximos da realidade.

A fórmula de *Temez* é a seguinte:

$$Tc = (L / I^{0.25})^{0.76}$$

Em que *Tc* é o tempo de concentração em horas; *Ch* é o comprimento do curso de água principal em km; I é a inclinação média do curso de água principal.

Tabela 13 - Tempo de concentração para as varias linhas de água do concelho de Pombal

Bacia do Arunca Limite Norte do concelho	Bacia do Arunca Norte do Perímetro Urbano	Bacia do Arunca Sul do perímetro Urbano	Bacia do Anços	Bacia da Rbª de Carnide	Bacia Ribª O. Galegas	Bacia Rbª. Valmar	Bacia Rb. Do Vale	Bacia Rbº doTravasso	Bacia Rbª doDegolaço
10h36mi	7h10mi	6h27mi	2h15mi	8h21min	3h20min	3h10mi	2h18mi	3h04mi	2h37mi

1.7 - Tempo de concentração para o perímetro urbano

1.7.1 - Características do sistema de drenagem

Das 34 secções para as quais se realizaram cálculos só serão representados as oito mais representativas da realidade da bacia dentro do perímetro urbano da cidade. A área correspondente a cada secção seleccionada dentro da bacia hidrográfica tem as seguintes área:

Tabela 14 - Área das secções, dentro do PU de Pombal

Secções	Área Bacia (km²)	Secções	Área Bacia (km²)
S1	212.94	**S15**	182.17
S4	209.23	**S19**	178.40
S7	203.59	**S23**	173.26
S11	202.51	**S25**	163.73

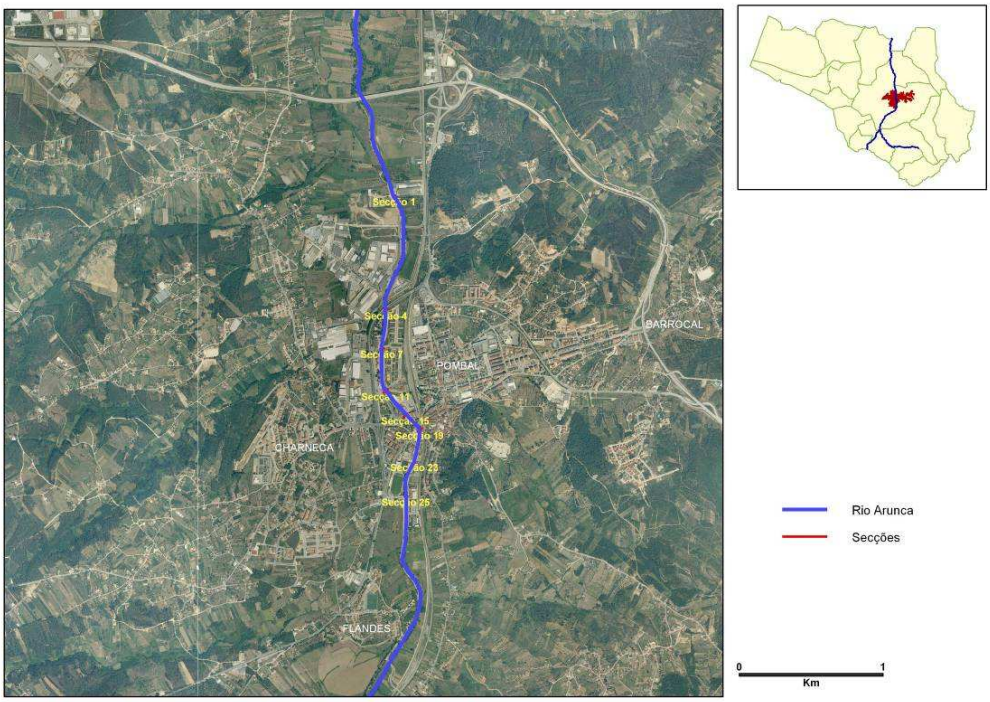


Figura 31 - Localização das secções. Fonte: Elaboração própria.

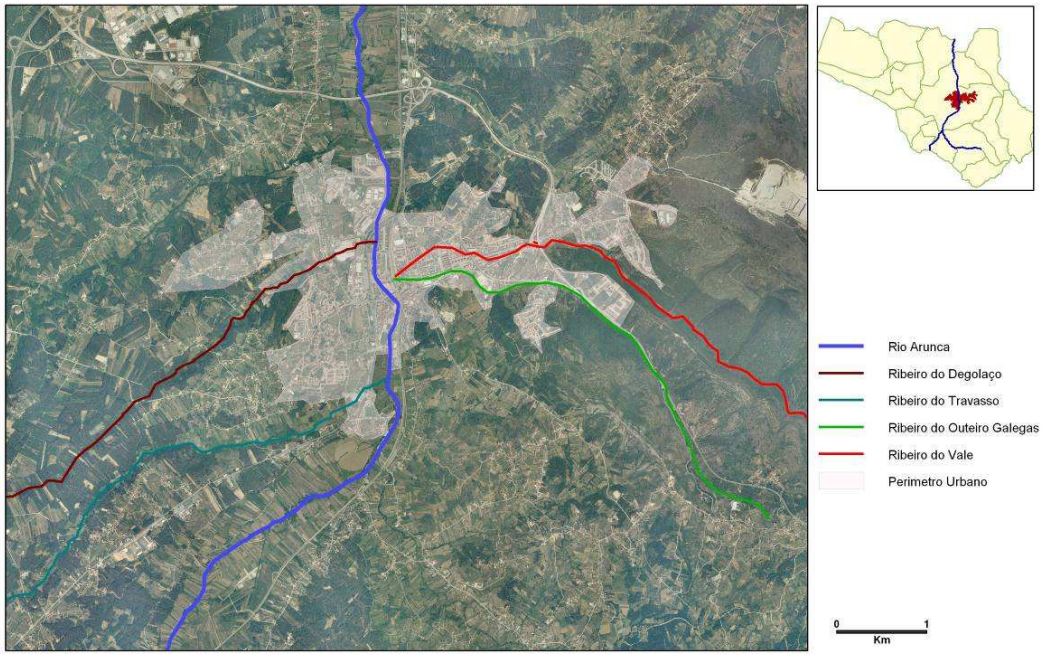


Figura 32 - Cursos de água que convergem para a cidade de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

Trata-se de um sistema de drenagem com características intermitentes, em geral há escoamento durante as estações húmidas, sendo muito reduzido ou geralmente nulo na época de estiagem.

Durante a estação chuvosa, este sistema de drenagem transporta os caudais superficiais e subterrâneos, pois o lençol de água conserva-se bastante próximo da superfície e alimenta o curso de água; na época seca, o lençol freático desce a um nível inferior e o escoamento cessa ou ocorre somente durante, ou imediatamente após as chuvadas de grande intensidade representando um dos factores predominantes no capitulo de inundações urbanas.

Determinou-se ainda, o tempo de concentração correspondente a cada secção seleccionada no perímetro urbano da cidade relevante para o cálculo dos caudais de cheia.

A determinação do tempo de concentração está habitualmente relacionada com a precipitação crítica, a área da bacia, altura média da bacia e o comprimento do curso de água principal.

1.8 - Tempos de concentração para as secções

1.8.1 - Formula de *Giandotti*

$Tc = 4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L / 0.80 \times \sqrt{hm}$

Em que:

Tc – tempo de concentração (horas)

A - Área correspondente a cada ponto seleccionado na bacia hidrográfica (163.73; 173.26; 178.4; 182.17; 202.17; 203.59; 209.23; 212.94 Km²)

L - comprimento da maior linha de água da bacia, para cada ponto (19.61; 20.21; 21; 21.25; 21.6; 21.98; 22.386; 22.9 km)

hm - altura média da bacia, medida a partir da cota da secção em estudo (145.95 m), como a diferença da altura média entre pontos e muito pequena, adopta-se este valor para todos os pontos .

1.8.2 - Fórmula de *Temez*

$Tc = 0.3 \times (L / i^{0.25})^{0.76}$

Em que *i* é a inclinação média da bacia e foi considerado (0.0135) para todos os pontos

L - comprimento da maior linha de água da bacia, para cada ponto (19.61; 20.21; 21; 21.25; 21.6; 21.98; 22.38; 22.9 Km)

1.8.3 - Fórmula de *Kirpich*

$Tc = 0.0663 \times (L^{0.77} : i^{0.385})$

em que:

L - comprimento da maior linha de água da bacia, para cada ponto (19.61; 20.21; 21; 21.25; 21.6; 21.98; 22.38; 22.9 km)

i é a inclinação média da bacia e foi considerado (0.0135) para todos os pontos.

1.8.4 - Fórmula do *Soil Conservation Service*

$Tc = L : 3.6 \times V$

em que V é a velocidade. Pese o facto de a velocidade depender da inclinação e do índice de rugosidade, neste caso optou-se por um valor fixo de: (1.2m /s).

L - comprimento da maior linha de água da bacia, para cada ponto (19.61; 20.21; 21; 21.25; 21.6; 21.98; 22.38; 22.9 km).

1.8.5 - Fórmula do *Ven Te Chow*

$$\mathbf{Tc = 0.160 \times (L / \sqrt{i})^{0.64}}$$

L – comprimento da maior linha de água da bacia, para cada ponto (19.61; 20.21; 21; 21.25; 21.6; 21.98; 22.38; 22.9 km)

1.8.6 – Tempos de concentração e análise comparativa

Os tempos de concentração calculados pelos diferentes métodos são:

Tabela 15 - Tempos de concentração por secções.

Secções	Giandotti	Temez	Kirpich	SCS	Ven Te Chow	Média
S25	8.20 h	6.31 h	3.23 h	4.32 h	4.12 h	5.24 h
S23	8.35 h	6.41 h	3.28 h	4.40 h	4.18 h	5.32 h
S19	8.47 h	6.53 h	3.35 h	4.51 h	4.24 h	5.42 h
S15	8.52 h	6.57 h	3.40 h	4.54 h	4.29 h	5.47 h
S11	9.14 h	7.02 h	3.42 h	5.00 h	4.32 h	5.54 h
S7	9.19 h	7.07 h	3.46 h	5.05 h	4.35 h	5.58 h
S4	9.27 h	7.13 h	3.49 h	5.11 h	4.38 h	6.04 h
S1	9.35 h	7.21 h	3.53 h	5.18 h	4.43 h	6.10 h

Os valores calculados pelos diferentes métodos, apresentam uma série muito heterogénea, mas permitem obter um valor médio de 5.58 horas, adoptando-se nos cálculos subsequentes para o tempo de concentração o valor de:

***Tc* = 6 horas.**

1.8.7- Tempo de resposta para as bacias e sub-bacias

O tempo de resposta "Tr", corresponde ao tempo que uma bacia leva a responder à precipitação útil responsável pela ponta de cheia, segundo o *United States Department of Agriculture* – U. S. D. A., ou seja, o tempo que leva desde o pico de precipitação até ao pico de cheia.

$$Tr = 0.6 \times Tc$$

Tabela 16 - Tempo de resposta para as várias linhas de água do concelho de Pombal

Bacia do Arunca Limite Norte do concelho	Bacia do Arunca Norte do Perímetro Urbano	Bacia do Arunca Sul do perímetro Urbano	Bacia do Anços	Bacia da Rbª de Carnide	Bacia Ribª O. Galegas	Bacia Rbª. Valmar	Bacia Rb. do Vale	Bacia Rbº doTravasso	Bacia Rbª doDegolaço
6h21mi	4h18mi	3h52mi	1h21mi	4h48mi	2 horas	1h54mi	1h23mi	1h50mi	1h34mi

1.8.8 - Tempo de resposta para as secções no perímetro urbano. (Arunca)

$$Tr = 0.6xTc$$

Tabela 17 - Tempo de resposta para as secções no perímetro urbano

Secções	Giandotti	Temez	Kirpich	SCS	Ven Te Chow	Média
S25	5 h 6 min	3 h 55 min	2 h 2 min	2 h 42 min	2 h 31 min	3 h 14 min
S23	5 h 8 min	4 h 6 min	2 h 5 min	2 h 48 min	2 h 34 min	3 h 19 min
S19	5 h 16 min	4 h 7 min	2 h 8 min	2 h 54 min	2 h 38 min	3 h 25 min
S15	5 h 19 min	4 h 10 min	2 h 12 min	2 h 56 min	2 h 38 min	3 h 27 min
S11	5 h 32 min	4 h 12 min	2 h 13 min	3 h 00 min	2 h 42 min	3 h 32 min
S7	5 h 34 min	4 h 16 min	2 h 15 min	3 h 3 min	2 h 44 min	3 h 34 min
S4	5 h 40 min	4 h 19 min	2 h 17 min	3 h 6 min	2 h 46 min	3 h 37 min
S1	5 h 45 min	4 h 24 min	2 h 19 min	3 h 10 min	2 h 49 min	3 h 41 min
S25-S1	39 min	29 min	17 min	28 min	18 min	27 min

1.9 - Conclusão tempo de concentração e de resposta

As secções aqui apresentadas são as mais representativas das 34 secções utilizadas no programa *HEC-RAS*. As sub-bacias caracterizadas, são de alguma forma as que podem provocar constrangimentos nos espaços urbanos.

A diferença do tempo de concentração entre o limite Norte do perímetro urbano da cidade de Pombal e o limite Norte é de 43 minutos, apresentando somente 26 minutos de diferença quanto ao tempo de resposta, o que inviabilizará qualquer tipo de acção de protecção.

A ribeira de Valmar tendo em conta os vários índices e os tempos de concentração e de resposta, tudo aponta para que seja o curso de água secundário de maior perigosidade,

mais precisamente no ponto de confluência com o rio Arunca, ponto este que se encontra imediatamente a montante do limite sul do perímetro urbano de Pombal.

O ribeiro do Vale apresenta um tempo de concentração na ordem das 2 horas e 18 minutos e um tempo de resposta somente de 1 hora e 23 minutos. No entanto este curso de água possui características muito próprias chegando a desenvolver pontas de cheia abaixo do tempo de concentração calculado.

A ribeira de Carnide apresenta tempos de concentração e de resposta relativamente elevados 8 horas e 12 minutos e 4 horas e 48 minutos respectivamente o que permite que se tomem medidas preventivas atempadamente.

Esta situação já não se verifica na bacia do rio Anços, pois esta apresenta valores muito baixos quer para o tempo de concentração quer para o tempo de resposta, ou seja, 2 horas e 51 minutos e 1 hora e 21 minutos, respectivamente.

Como a única estação hidrométrica está localizada em Ponte de Mocate, muito a jusante do limite do concelho, os alertas para a cidade terão de vir a partir da precipitação acumulada em 6 horas passando também pela colocação de equipamento de hidrometria no designado limite Sul do perímetro urbano da cidade de Pombal e um outro na confluência entre o rio Arunca e a ribeira da Venda Nova.

CAPITULO IV

1 – Caudais e cheias no espaço urbano de Pombal

Durante o Outono de 2006 ocorreram no território nacional precipitações que nalguns locais correspondem a valores com um período de retorno de 100 anos.

Na madrugada de 26 de Outubro de 2006, precipitações intensas e concentradas provocaram cheias no concelho de Pombal. Estas precipitações tiveram o seu máximo entre as 0:00 e as 1:30 da madrugada.

O posto udográfico de Pombal registou 40 mm de precipitação no intervalo entre as 0:30 e 1:00 hora da madrugada do dia 26 de Outubro, atingindo os 110,6 mm no intervalo entre as 0 horas e as 6 horas. Isoladamente, nas bacias secundárias do concelho, os caudais não terão ultrapassado os calculados para o período de retorno de 10 anos, para um período de tempo de 30 minutos, no entanto à escala das bacias principais estes caudais tenham sido superiores aos previstos para o período de retorno de 50 anos *(SVARH, Março 2007).*

A variabilidade do fenómeno deve-se ao facto das bacias das ribeiras serranas terem dezenas de quilómetros quadrados com declives superiores a 10% e com um tempo de concentração muito curto originando uma ponta de cheia de elevada velocidade.

A exposição das vertentes, variável fundamental na orientação do escoamento superficial e como se verifica na (Figura 10), têm a propriedade de “canalizar” esse escoamento no sentido do perímetro urbano da cidade de Pombal.

O aumento da superfície impermeabilizada nas vertentes do maciço calcário, a ocupação e o desvio do leito original das ribeiras e ribeiros que convergem para a cidade, ou seja, para o troço canalizado sob a Avenida Heróis do Ultramar onde o escoamento do ribeiro do Vale se junta ao da ribeira do Outeiro Galegas, associados a fenómenos de precipitação intensa dão origem a cheias e inundações numa extensa área da cidade.

Figura 33 - Avenida Heróis do Ultramar – 26/10/2006,(cheia proveniente do Rº do Vale e Rª O. Galegas).

Figura 34 - Rua 1º de Maio (Cheia com origem na ribeira do O. Galegas).

Figura 35 - Av. Heróis do Ultramar - Em frente ao Hospital – (cheia proveniente do Rº do Vale).

Figura 36 - Cheia junto ao mercado municipal (proveniente da Rª do O. Galegas).

Figura 37 - Avenida H. do Ultramar Em frente ao Hospital. (cheia proveniente do Rº do Vale).

2 - Caracterização do perímetro urbano

O perímetro urbano da cidade de Pombal localiza-se em grande parte no leito maior do rio Arunca, (Figura 38), estando o seu núcleo mais antigo totalmente implantado neste vale. Em 1970, a área urbana ocupava 21.5 hectares, entre 1970 e 1990 esta área cresceu 10 vezes passando a ocupar 213 hectares. Em 2008 a sua expansão já chegava aos 668 hectares. Parte deste crescimento fez-se à custa de espaços situados nas vertentes da serra da Sicó, em que, áreas de máxima infiltração foram convertidas em áreas de máxima impermeabilização, uma outra parte do crescimento urbano ocorreu na margem esquerda do Arunca nas vertentes viradas para o centro urbano que chegam a atingir um grau de impermeabilização superior a 75%.

Esta expansão levou a um aumento da impermeabilização na área envolvente da cidade. A (Figura 39), representa a área impermeabilizada dentro das bacias dos ribeiros e ribeiras cujos cursos de água convergem para a cidade.

As bacias que convergem para a cidade têm 703 hectares impermeabilizados, 212 ha pertencem à ribeira do Degolaço, 133 ha ao ribeiro do Travasso, 90 ha à ribeira do Outeiro Galegas, 60 ha ao ribeiro do Vale, os restantes 208 ha pertencem à área impermeabilizada da cidade de Pombal, devido a construções ruas etc.

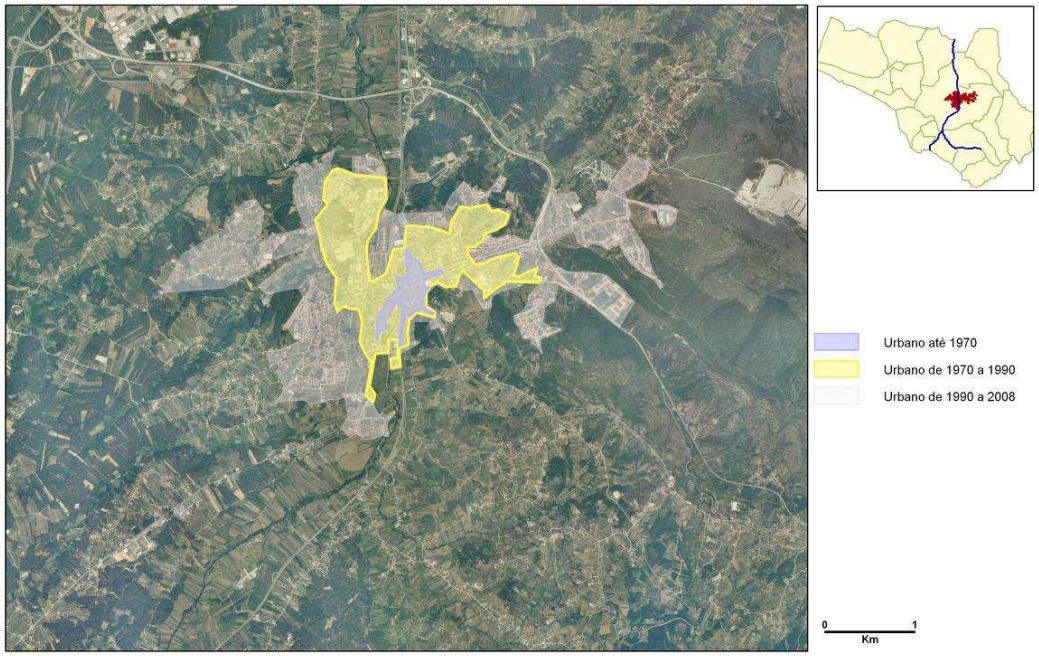


Figura 38 - Expansão da área urbana, 1970 – 2008. Fonte: Elaboração própria.

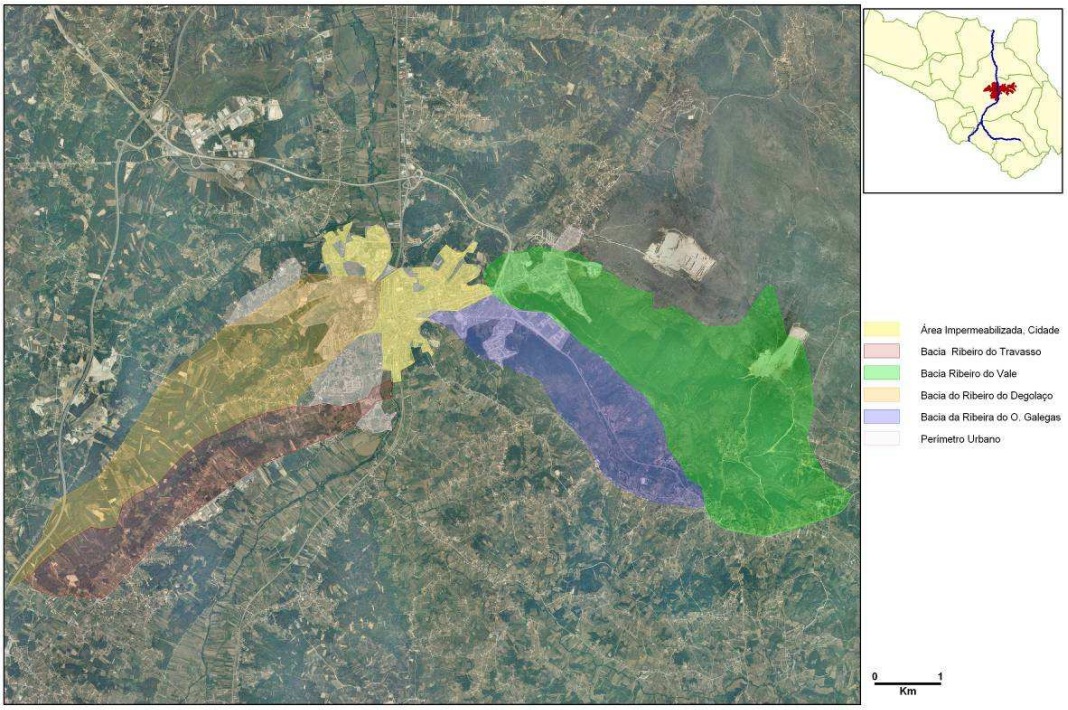


Figura 39 - Bacias convergentes para a cidade de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

3 - O(s) regime(s): análise da informação udométrica e hidrométrica disponível

Na bacia do Arunca, existe apenas a estação hidrométrica de Ponte de Mocate, muito a jusante da área em análise, que registou em 1981-1982 um máximo caudal instantâneo de 846.69 m^3/s em 17 anos de observações.

Segundo o *INAG* e o plano da bacia hidrográfica do Mondego, o caudal para um tempo de retorno igual a 100 anos no limite Norte do perímetro urbano da cidade de Pombal é de 321 m^3/s. Quanto à bacia da ribeira de Carnide não é apresentado qualquer valor.

O posto udométrico considerado para a análise da informação udométrica foi o de Pombal, cujas características geográficas se resumem na (Tabela 18).

Tabela 18 - Coordenadas do posto udométrico

Número	Designação	Tipo	Long.	Lat.	Alt.	Registos Utilizados
14F01	Pombal	UDOM	08º 37´25” W	39º 54´14”N	65.0	1944-1998

Foi efectuada uma análise estatística das precipitações em que o objectivo é analisar estatisticamente a precipitação em função do seu período de retorno (ou frequência) e em seguida procurar a curva teórica que melhor represente os pontos obtidos, para desta forma se poder efectuar a extrapolação para grandes períodos de retorno.

Determinaram-se os caudais de ponta de cheia nas secções consideradas, para os períodos de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos. No entanto só os correspondentes a 10 e 100 anos é que foram tidos em conta quando da selecção do caudal utilizado para efectuar o zonamento do vale do Arunca no sector do perímetro urbano da cidade.

Para a bacia hidrográfica do rio Arunca, os caudais de ponta de cheia foram obtidos por dois métodos:

- *A partir de precipitações intensas para os períodos atrás referidos;*
- *Através da analise estatística dos registos da estação hidrométrica de Ponte de Mocate dos caudais instantâneos máximos anuais essa estação hidrométrica.*

Os valores das precipitações máximas diárias obtidas são as seguintes:

Tabela 19 - Valores das precipitações máximas diárias para os diferentes tempos de retorno.

Tempo de Retorno (Anos)	Precipitação máxima diária (mm)	Precip. Máxima por Hora	P. Máxima em 6 horas	Curvas de Possibilidade udométrica
5	62.85	25.14	47.13	$i = 207.41 * t^{-0.562}$
10	72.80	29.12	54.6	$i = 232.21 * t^{-0.549}$
20	82.33	32.93	61.74	$i = 254.39 * t^{-0.538}$
50	94.68	37.87	71.01	$i = 680.05 * t^{-0.680}$
100	103.93	41.57	77.94	$i = 766.00 * t^{-0.681}$

Para se obter as precipitações relativas a um tempo de concentração, tc = 6h, usam-se as precipitações máximas calculadas pelo método estatístico de *Gumbel*, multiplicadas por um coeficiente "C", obtido pelo quociente entre a precipitação para uma duração (t) igual ao tempo de concentração e a precipitação diária ou recorrendo-se às curvas IDF.
No cálculo das precipitações máximas para tempos de retorno (Tr), de 100 anos, recorreu - se à curva IDF de Coimbra, que segundo *C. Brandão e R. Rodrigues (1998)*, têm respectivamente a seguinte expressão: $i = 766.00 \times t^{-0.681}$

Uma curva *(IDF), Intensidade-Duração-Frequência*, é uma representação gráfica da probabilidade de que uma dada intensidade de precipitação média poder ocorrer.
A intensidade de precipitação *(mm / h)*, duração (quantas horas choveu com essa intensidade) e a frequência (quantas vezes que se repete) são os parâmetros que compõem os eixos do gráfico da curva *IDF*. Uma curva *IDF* é criada ao longo do histórico de precipitação de uma estação udométrica. Quanto mais dados existirem mais precisa será a curva.

3.1 – Precipitações máximas

Como a precipitação à nossa latitude, tem um ritmo irregular, por vezes com elevada intensidade horária o que provoca escoamentos superficiais de elevada torrencialidade, há todo o interesse em se conhecer qual a precipitação máxima horária para um determinado período de retorno.

Segundo projecções do *INAG*, para um período de retorno de 100 anos a precipitação máxima para uma hora é 0.40 da precipitação máxima diária registada. Para o mesmo período de retorno, mas para seis horas o valor será de 0.75.

Denota-se que a precipitação máxima diária conhecida registada é de (110.6mm), valor este superior à prevista para os períodos de retorno de 50 e 100 anos.

3.2 - Precipitação média anual

De acordo com a série das precipitações, o valor da precipitação média anual é de 929.43 mm.

4 – Caudal de Cheia

4.1 - Considerações gerais

Pretende-se determinar o caudal de máxima cheia, para o tempo de retorno de 100 anos da linha de água do rio Arunca, reportada às secções atrás descritas, recorreu-se a diferentes métodos estatísticos, empíricos e semi-empíricos.

4.2 – Calculo de caudais de cheia para bacias e sub-bacias

4.2.1 – Caudal de Ponta *(Forti)*

O uso de fórmulas empíricas tem interesse nomeadamente para a determinação de cheias excepcionais na ausência de informação hidrométrica suficiente, válida ou credível.

$Qp = A[(b. 500/A+125)+c)]$, para uma precipitação máxima diária menor que 200 mm, onde $(b= 2.354)$ e $(c = 0.5)$, sendo a unidade de medida: m^3/s.

4.2.2 - Método de *Turazza – (Giandotti)*

É um método muito utilizado na avaliação do caudal de ponta de cheia em Itália e também em Portugal, onde é consagrado no Regulamento das Pequenas Barragens. Tem uma estrutura semelhante à fórmula racional, com a peculiaridade do coeficiente de escoamento ser determinado pela área da bacia.

$$Qp = \frac{\lambda A h}{Tc}$$ *em que:*

Qp = é o caudal de ponta em m^3/s,

A= é a área da bacia em km^2,

λ = é um parâmetro em função de A (Tabela 20),

h = é a precipitação máxima em mm, correspondente ao tempo de concentração e a um determinado período de retorno estatístico,

Tc = é o tempo de concentração da bacia em horas.

Esta fórmula apresenta alguns problemas nos valores de λ para bacias com área inferior a quinhentos quilómetros quadrados (A <500 km^2) e com tempos de concentração reduzidos (Tc), obtendo-se resultados por excesso, uma vez que os valores equivalentes aos da fórmula racional ultrapassam o valor de 1 (tabela 19), o que não faz sentido. Por esse motivo, Quintela (1984) sugere que se utilize λ = 0,224, para A <500 km^2.

Tabela 20 - Parâmetro λ da fórmula de Giandotti para o cálculo do caudal máximo de cheia.

Área da bacia em km^2	λ
<300	0,346
300 – 500	0,277
500 – 1000	0,197
1000 – 8000	0,100
8000 – 20 000	0,076
20 000 – 70 000	0,055

4.2.3 - Método proposto por *Quintela (1984)*

Em que sugere que se utilize λ = 0,224, para bacias com uma área inferior a quinhentos quilómetros quadrados. (A <500 km^2.).

Tabela 21 - Cálculo de caudais de cheia por método

m^3/s	Bacia do Arunca Limite Norte do concelho	Bacia do Arunca Norte do Perímetro Urbano	Bacia do Arunca Sul do perímetro Urbano	Bacia do Anços	Bacia da Rbª de Carnide	Bacia Ribª O. Galegas	Bacia Rbª. Valmar	Bacia Rb. do Vale	Bacia Rbº doTravasso	Bacia Rbª doDegolaço	Rb. Degolaço	Rb. Roussa
Forti	990.60	782.00	662.00	452.00	731.90	75.00	328.00	210.00	38.90	56.80	56.80	148.10
Turazza Giandotti	628.70	541.50	541.50	666.20	506.00	153.80	375.50	156.00	35.70	62.20	62.20	148.60
Quintela	508.40	437.90	349.40	488.80	327.60	99.60	243.00	100.90	23.20	40.60	40.60	96.30
MÉDIA	709.20	587.10	517.60	535.00	512.80	109.50	315.50	155.60	32.60	53.20	53.20	97.70

A representação da média dos caudais encontrados (Tabela 21) pelos modelos seleccionados serve unicamente para atenuar a disparidade dos valores encontrados através destes modelos.

4.2.4 - Conclusão (bacias e sub-bacias)

Na bacia hidrográfica do rio Arunca dentro do concelho de Pombal, o ponto correspondente ao limite Sul do perímetro urbano da cidade de Pombal, detém um caudal de ponta que é 66.8% do caudal total da bacia, no limite Norte deste perímetro, já representa 78.98% do total da bacia, sendo a diferença entre os dois pontos 12.18%.

A ribeira de Valmar contribui em 33.1% para o caudal total da bacia. Tendo em conta os vários índices e os tempos de concentração e de resposta, tudo aponta para que seja o curso de água secundário de maior perigosidade, em especial no ponto de confluência com o rio Arunca, ponto este, que se encontra imediatamente a montante do limite sul do perímetro urbano de Pombal.

A ribeira de Valmar requer assim cuidados especiais, não só devido às suas características físicas, mas também devido à forma rápida e temporalmente curta com que o seu caudal converge para o rio Arunca, contribuindo desta maneira para um aumento brusco do caudal deste último.

O ribeiro do Vale contribui com 21.1% para o caudal total da bacia do Arunca, com um tempo de concentração na ordem das 2 horas e 18 minutos e um tempo de resposta somente de 1 hora e 23 minutos. No entanto este curso de água possui características muito próprias chegando a desenvolver pontas de cheia abaixo do tempo de concentração calculado.

A bacia do ribeiro do Vale, com a sua cabeceira no maciço da Sicó atravessa áreas bastantes carsificadas e fracturadas. São áreas de infiltração máxima e de baixo escoamento superficial, pelo que, o caudal por ele apresentado é sazonal e de curta duração, uma vez que depende da exsurgência localizada na sua cabeceira, podendo classificar-se o seu regime como sendo do tipo fluvial pontual, imponderado e de elevada irregularidade.

Devido a esta característica, o seu caudal de ponta fica desfasado no tempo com o pico de cheia no rio Arunca. Assim a sua contribuição para o aumento da cheia junto à sua desembocadura no rio principal só terá significado caso este (Arunca) venha a ter mais do que um pico de cheia num espaço curto de tempo.

A expansão urbana da cidade de Pombal para Noroeste, (sentido da Sicó), ou seja, para as vertentes adjacentes ao ribeiro do Vale e ribeira do Outeiro Galegas originou que o encanamento do escoamento superficial para um túnel, cuja secção tem somente

capacidade para suportar 57% do caudal resultante de precipitações mais intensas ou concentradas.

A bacia do rio Arunca apresenta indicadores que nos permitem concluir que possui um elevado potencial para a ocorrência de cheias rápidas ou excepcionais, sendo este tipo de cheias as que maior perigo apresentam para as populações, bens e equipamentos. Convém também salientar neste caso os três cursos de água da bacia do Arunca que convergem para o rio dentro ou próximo do perímetro urbano de Pombal, ou seja as ribeiras do Outeiro Galegas, Valmar e o ribeiro do Vale.

Quer a bacia hidrográfica do rio Anços quer a da ribeira de Carnide possuem um elevado potencial para produzirem caudais de ponta excepcionais muito elevados, destacando-se os valores encontrados para a bacia da ribeira de Carnide pese o facto de não se conhecerem registos históricos de danos significativos.

Ao caudal calculado para a bacia do Anços ter-se-á que adicionar os $8m^3/s$ proveniente dos caudais das exsurgências que alimentam o curso de água. Este caudal confere-lhe um regime que pode ser classificado de regular e ponderado.

4.3– Calculo de caudais de cheia para o perímetro urbano de Pombal a partir da precipitação,

4.3.1 - Fórmula empírica: *Método de Iszkowski (1986)*

Pese embora o facto de as fórmulas empíricas constituírem métodos de predeterminação de pontas de cheia com base em observações a partir de outras bacias hidrográficas, e entrarem em linha de conta apenas com a área de drenagem total, não considerando sequer uma probabilidade estatística de ocorrência, estas podem contudo ser utilizadas em zonas com informação hidrométrica insuficiente ou inexistente, como é o caso.

Dentro das fórmulas empíricas, a que considera a precipitação ocorrida na bacia hidrográfica embora sem especificar o período de retorno, e que é das mais vulgarmente utilizada, é a fórmula de *Iskowski.*

A expressão de cálculo de máxima cheia, preconizada por *Iskowski* é:

Q = K.m.P.A

Em que:

Q – caudal de máxima cheia (m^3/s)

K – coeficiente que depende da morfologia do terreno;

m - coeficiente variável com a área da bacia hidrográfica;

P – precipitação média anual (0.929 m)

A – área correspondente a cada ponto seleccionado na bacia hidrográfica (163.73; 173.26; 178.4; 182.17; 202.17; 203.59; 209.23; 212.94 Km²).

O valor de K depende da categoria dos solos, cobertura vegetal e relevo e é determinado pela tabela seguinte:

Tabela 22 - Quadro Weise/Reid.

Relevo da Bacia	Valores de K			
	I	II	III	IV
Pântanos	0.017	0.030		
Área Plana/levemente ondulada	0.025	0.040		
Área plana e com Colinas	0.030	0.055	0.100	
Área com Colinas n/muito íngremes	0.035	0.070	0.125	
Montes de altura media, parte colinas, ou colinas escarpadas	0.040	0.082	0.155	0.400
Montes altos segundo a encosta				
Com pouca inclinação	0.060	0.160	0.360	0.600
Com media inclinação	0.070	0.185	0.460	0.700
Com grande inclinação	0.080	0.210	0.600	0.800

Categoria I – Terreno muito permeável com vegetação normal ou cultivado e terreno de média permeabilidade com vegetação densa.

Categoria II – Terreno de colina ou montanha com vegetação normal; terreno plano levemente ondulado, mas pouco permeável.

Categoria III – Terreno impermeável com vegetação normal em colina íngreme ou montanhosa.

Categoria IV – Terreno impermeável com escassa ou nenhuma vegetação em colina íngreme ou montanhoso.

Como a bacia em estudo apresenta solos calcários a Leste e solos arenosos e margosos a Sul e Ocidente, as vertentes são declivosas a Este e suaves a Ocidente, o coberto vegetal das encostas é constituído predominantemente por pinhal e eucaliptal e o dos vales é agrícola, considerou-se o valor de K = 0.185.

O valor de (m) é obtido por interpolação a partir da seguinte tabela:

Tabela 23 - coeficiente variável com a área da bacia hidrográfica.

A (Km²)	1	10	40	70	100	500	1000	2000	10000	30000	100000
m	10	9	8.23	7.60	7.40	5.90	4.70	3.77	3.02	2.80	2.05

m = 6.80

4.3.2 - Métodos empíricos e semi-empíricos

As fórmulas cinemáticas são as que entram em linha de conta com as características do movimento da água na bacia hidrográfica, expressas usualmente através do tempo de concentração e da chuvada crítica.

4.3.2.1 - Fórmula de Giandotti (adaptada)

Q = 0.224 x P x A : Tc

Em que:

Q – caudal de máxima cheia (m^3/s)

A – área correspondente a cada ponto seleccionado na bacia hidrográfica (163.73; 173.26; 178.4; 182.17; 202.17; 203.59; 209.23; 212.94 Km^2)

Pmáx – altura de precipitação máxima, correspondente a um tempo de concentração e a um determinado período de retorno estatístico (mm)

Tc – tempo de concentração (horas)

4.3.2.2 - Formula racional

$$Qp = \frac{C\ i\ A}{3,6}$$

Em que:

Q – caudal de máxima cheia (m^3/s)

C – coeficiente de escoamento, adimensional, baseado no tipo e características da superfície do terreno

A – área correspondente a cada ponto seleccionado na bacia hidrográfica (163.73; 173.26; 178.4; 182.17; 202.17; 203.59; 209.23; 212.94 Km^2)

Para o posto udométrico de Coimbra e para o cálculo das precipitações máximas para tempos de retorno “Tr”, de 100 anos, os parâmetros da curva *IDF* para o intervalo proposto são:

Tabela 24 – Parâmetros da curva IDF

T (anos)	0,5h<t<6h		6h<t<48h	
	a	b	a	b
5	374.38	-0.6467	485.15	-0.6948
10	436.65	-0.6443	639.05	-0.7124
50	574.03	-0.6411	998.29	-0.7375
100	632.17	-0.6402	1155.70	-0.7449

I – a intensidade média correspondente ao valor máximo da precipitação para determinada frequência de ocorrência, com duração igual ao tempo de concentração (mm / h).

O coeficiente de escoamento "C" depende do coberto vegetal, da orografia e da capacidade de infiltração. Para a bacia em estudo podemos considerar C igual a 0.4.

Tabela 25 - Valores do coeficiente "C" para o método racional segundo o American Society of Civil Engineers (Carvalho, 1998).

	Tipo de Ocupação		Coeficiente
Zonas Urbanas	Relvados	Solo arenoso, plano (declive até 2%)	0,05 – 0,10
		Solo arenoso, declive médio (2-7%)	0,10 – 0,15
		Solo arenoso, declive grande (> 7%)	0,15 – 0,20
	Zonas comerciais	Áreas centrais	0,70 – 0,95
		Áreas periféricas	0,50 – 0,70
	Zonas residenciais	Moradias	0,30 – 0,50
		Blocos residenciais afastados	0,40 – 0,60
		Blocos residenciais próximos	0,60 – 0,75
		Áreas suburbanas	0,25 – 0,40
		Áreas de apartamentos	0,50 – 0,70
	Zonas industriais	Dispersas	0,50 – 0,80
		Densas	0,60 – 0,90
	Parques, cemitérios		0,10 – 0,25
	Campos de jogos		0,20 – 0,35
	Parques ferroviários		0,20 – 0,40
	Zonas não aproveitadas		0,10 – 0,30
	Vias (automóveis e peões)		0,75 – 0,85
	Telhados		0,75 – 0,95
Zonas Agrícolas	Com infiltração acima da média	Culturas	0,20
		Pastagens	0,15
		Bosques e florestas	0,10
	Com infiltração média, sem lentículas de argila, lodos e solos equivalentes	Culturas	0,40
		Pastagens	0,35
		Bosques e florestas	0,30
	Com infiltração superior à média, solos argilosos densos ou solos com rocha próxima da superfície e solos delgados sobre rocha impermeável	Culturas	0,50
		Pastagens	0,45
		Bosques e florestas	0,40

Refira-se que este método é normalmente recomendado para bacias inferiores a 25 Km^2, podendo fornecer bons valores para bacias maiores, desde que seja possível estabelecer um coeficiente "C" coerente.

4.3.2.3 - Soil Conservation Service

Q =0.277 x K x A x hu / Tc

em que:

hu- altura de precipitação útil (mm)

A- área correspondente a cada ponto seleccionado na bacia hidrográfica (163.73; 173.26; 178.4; 182.17; 202.17; 203.59; 209.23; 212.94 Km^2)

K – k é um factor de ponta, em função do declive da bacia (pode variar entre 1, no caso das bacias muito declivosas, e 0,5 no caso de bacias muito planas; nos cálculos habituais utiliza-se k = 0,75).

Tc – tempo de crescimento, ou o tempo para a ponta em horas.

0,277 é o factor de conversão das unidades utilizadas.

O valor da precipitação útil é dado por:

$hu = (h-h0)^2 / h+4xh0$

Sendo:

h - altura de precipitação total (mm)

ho - perdas iniciais por infiltração (mm), dado por:

ho = (5080:N)-50.80 em que: N, é o parâmetro de escoamento que depende do tipo do solo, para o nosso caso, temos solos maioritariamente do tipo B e C isto é, solos com intensidade de infiltração alta e média, quando completamente humedecidos, adoptando-se para **N** o valor de **86**.

Tabela 26 - Correspondência entre os números de escoamento "N" para diferentes condições de humedecimento do solo (Lencastre e Franco, 2003).

AMC			AMC			AMC			AMC		
II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III
100	100	100	80	63	91	60	40	78	40	22	60
99	97	100	79	62	91	59	39	77	39	21	59
98	94	99	78	60	90	58	38	76	38	21	58
97	91	99	77	59	89	57	37	75	37	20	57
96	89	99	76	58	89	56	36	75	36	19	56
95	87	98	75	57	88	55	35	74	35	18	55
94	85	98	74	55	88	54	34	73	34	18	54
93	83	98	73	54	87	53	33	72	33	17	53
92	81	97	72	53	86	52	32	71	32	16	52
91	80	97	71	52	86	51	31	70	31	16	51
90	78	96	70	51	85	50	31	70	30	15	50
89	76	96	69	50	84	49	30	69	25	12	43
88	75	95	68	48	84	48	29	68	20	9	37
87	73	95	67	47	83	47	28	67	15	6	30
86	72	94	66	46	82	46	27	66	10	4	22
85	70	94	65	45	82	45	26	65	5	2	13
84	68	93	64	44	81	44	25	64	0	0	0
83	67	93	63	43	80	43	25	63			
82	66	92	62	42	79	42	24	62			
81	64	92	61	41	78	41	23	61			

No que respeita ao tempo de crescimento "tp", é calculado de acordo com a seguinte expressão:

tp = 0.5 x tr + 0.6 x tc

Em que:

tr- é a duração da precipitação útil (horas)

tc - tempo de concentração da bacia (horas)

A duração (tr), pode ser calculada, subtraindo à duração (t) da precipitação total, o tempo necessário para choverem as perdas iniciais, (ho), considerando a intensidade média i = h (t)/t, constante durante toda a chuvada.

Temos então:

tr = t-ho : [h (t)/t]

Dado que a relação entre h e hu não é linear, excepto para N = 100, o processo de cálculo foi feito por tentativas, para valores de tr ≥ tc.

Os caudais de cheia para as secções referenciadas no rio Arunca dentro do perímetro urbano de Pombal são os seguintes:

Tabela 27 - Caudais de cheia para as secções referenciadas no rio Arunca na cidade de Pombal

	Iszkowski	Giandotti	Racional	S.C.S.	Media
S25	191.3 m³/s	342.2 m³/s	229.2 m³/s	395.7 m³/s	289.6 m³/s
S23	202.5 m³/s	362.0 m³/s	242.6 m³/s	418.7 m³/s	306.5 m³/s
S19	208.5 m³/s	372.8 m³/s	249.8 m³/s	431.1 m³/s	315.7 m³/s
S15	212.9 m³/s	380.7 m³/s	255.0 m³/s	439.7 m³/s	322.0 m³/s
S11	236.7 m³/s	423.2 m³/s	283.5 m³/s	489.4 m³/s	358.2 m³/s
S7	237.9 m³/s	425.5 m³/s	285.0 m³/s	492.0 m³/s	360.1 m³/s
S4	244.5 m³/s	437.2 m³/s	292.2 m³/s	505.6 m³/s	369.9 m³/s
S1	248.9 m³/s	445.0 m³/s	298.1 m³/s	514.6 m³/s	376.7 m³/s

Conclui-se, que os caudais mais elevados obtidos a partir da utilização dos valores da precipitação são os obtidos pelo método de *SCS.*

As várias demonstrações destes modelos mostram que, para bacias desta ordem de grandeza, o método que melhor se adapta é *o Soil Conservation Service*, verificando-se, uma aproximação aos caudais obtidos pelo método de *Giandotti.*

A heterogeneidade dos valores encontrados, deve-se ao facto de que as cheias que ocorrem num determinado local não são exclusivamente determinadas pela intensidade da precipitação local, mas sim da conjugação de todos os mecanismos de escoamento natural, ou seja os escoamentos de base, directo e intermédio, bem como acções de origem antrópica envolvidas na convergência da área drenante de e para essa região.

Esta heterogeneidade dos resultados obtidos pelos modelos utilizados, deve-se em parte ao contributo das variáveis de maior peso de cada modelo, bem como ao valor atribuído a cada factor ou coeficiente relativamente à variável relevo, ocupação do solo, coberto vegetal, geologia, ocupação humana, etc.

Como dificilmente existem duas bacias com as mesmas características físicas/climáticas, torna-se difícil afirmar qual é o modelo de cálculo de caudais que melhor representa esta região. Como a diferença dos valores são muito acentuadas e como todos os modelos recorrem a variáveis que são válidas para este tipo de bacia, a opção foi utilizar a média dos caudais dos modelos utilizados, mantendo-se assim representados os valores extremos encontrados.

4.4 -Caudais de ponta calculados através de caudais máximos instantâneos anuais do rio Arunca para o perímetro urbano de Pombal.

Na determinação de caudais de ponta de cheia através da análise estatística de caudais instantâneos máximos anuais utilizaram-se os registos da estação hidrométrica de Ponte de Mocate *(13F/04)*, situada no rio Arunca, cerca de 21 km a jusante da secção de definição da bacia hidrográfica considerada, dominando uma bacia com cerca de 478 km^2.

Na (Tabela 28), constam os registos de caudais instantâneos máximos anuais (Q i.m.a.) nesta estação hidrométrica no período de 17 anos entre 1972/73 e 1988/89.

Tabela 28 - Registos de caudais instantâneos máximos anuais, ponte de Mocate. Fonte: SNIRH (2008)

Ano hidrológico	Q i.m.a (m^3/S)	Ano hidrológico	Qi.m.a (m^3/S)
1972/73	144,10	1981/82	864,70
1973/74	104,10	1982/83	33,40
1974/75	200,60	1983/84	99,20
1975/76	7,00	1984/85	130,60
1976/77	130,20	1985/86	127,50
1977/78	245,00	1986/87	97,40
1978/79	145,70	1987/88	143,80
1979/80	115,40	1988/89	108,60
1980/81	13.80		

4.4.1 - Análise estatística a partir da série de caudais instantâneos máximos anuais.

A análise estatística da série de caudais instantâneos máximos anuais consistiu na determinação dos descritores estatísticos da amostra e na verificação do ajustamento de funções de distribuição de probabilidades da amostra. As funções de distribuição de probabilidades analisadas foram as leis de *Gumbel (G), Pearson III (P III)* e de extremos generalizada *(EG).*

A apreciação da adaptabilidade das funções consideradas à série de caudais instantâneos máximos anuais utilizou o teste estatístico de hipóteses não paramétrico do *Qui-Quadrado* (X^2) .

O estudo estatístico da série de caudais instantâneos máximos anuais e correspondentes descritores estatísticos, bem como os dados e resultados da análise do ajustamento das distribuições postuladas são apresentados na (Tabela 29).

Apesar dos resultados obtidos apontarem para a rejeição da aplicação de qualquer das leis analisadas à amostra de caudais instantâneos máximos anuais, para o nível de confiança de 95%, optou-se por dar seguimento aos cálculos, procurando confirmar a ordem de grandeza dos caudais de ponta obtidos através de precipitações intensas.

4.4.2 - Analise estatística da série de caudais instantâneos máximos anuais

Tabela 29 - Ajustamento de leis estatísticas à amostra de caudais instantâneos máximos anuais, Ponte de Mocate (13F/04).

Média da amostra (m^3/s)	159,47
Desvio padrão da amostra (m^3/s)	191,24
Coeficiente de assimetria (-)	3,50

	Lei estatística		
	G	**P III**	**EG**
Estatística X^2 da amostra	22,71	8,59	21,53
Graus de Liberdade	2	1	1
Variável aleatória X^2 (95%)	5,99	3,84	3,84

4.5 - Caudais de ponta de cheia

Tendo-se obtido para a secção da estação hidrométrica, a partir das leis estatísticas analisadas, os caudais instantâneos máximos associados aos períodos de retorno considerados, procedeu-se à transposição destes caudais para a secção de interesse, para o que se aplicou a fórmula de *Meyer*.

Sendo Q_{EH} *o* caudal instantâneo máximo anual para um dado período de retorno, obtido a partir da analise estatística da série de caudais instantâneos máximos anuais na estação hidrométrica e *Q*, o caudal de ponta de cheia que, para o mesmo período de retorno, se pretende estimar para a secção em estudo. Designando por A_{EH} *e* A as áreas correspondentes as bacias hidrográficas em questão, a fórmula de *Meyer* é dada por:

$$Q/Q_{EH} = (A/A_{EH})^{\alpha}$$

No presente caso, A_{EH} = 478 Km^2 e A= 204 Km^2 (corresponde à secção mais ou menos a meio do perímetro urbano da cidade).

O valor do expoente α da fórmula de *Meyer* adoptado foi de 0,510, correspondente à zona 3 (bacias inferiores do Cavado, Ave, Douro, Vouga e Mondego).

Assim, foram obtidas as estimativas de caudais que se apresentam na (Tabela 30).

Tabela 30 - Rio Arunca. Caudais de ponta de cheia obtidos a partir da análise estatística (m^3/s)

	Gumbel		Pearson III		Extremos generalizada	
T (anos)	QEH	Secção em análise	QEH	Secção em análise	QEH	Secção em análise
5	297	192	226	146	272	176
10	409	265	365	236	386	250
50	655	424	759	492	675	437
100	759	492	954	617	815	528

Embora todas as leis estudadas tenham sido rejeitadas, a lei de *Pearson III* foi a que revelou melhor ajuste à amostra, por lhe corresponder um menor valor da estatística do teste do *Qui-Quadrado*, (Tabela 29), pelo que, das estimativas obtidas, esta deverá ser a mais fiável.

O cálculo de caudais de cheia através da análise estatística de caudais instantâneos máximos anuais registados na estação hidrométrica considerada não foi efectuado para os ribeiros do Travasso, Vale e ribeira do O. Galegas, devido ao facto de ser muito grande a diferença de áreas entre as bacias hidrográficas definidas pela secção onde se situa a estação hidrométrica e pelas secções das bacias hidrográficas dos ribeiros.

4.6 - Caudais dos principais ribeiros e ribeiras que convergem para o perímetro urbano de Pombal.

Calcularam-se os caudais para Tr = 5, Tr = 10, Tr = 50, Tr = 100, das ribeiras e ribeiros que convergem para o perímetro urbano da cidade de Pombal. Os valores foram obtidos recorrendo-se à **Formula Racional.**

Tabela 31 - Calculo dos caudais da Ribeiro do Travasso segundo a fórmula racional

T (anos)	C(-)	a (-)	b (-)	i (mm/h)	Q (m^3/s)
5	0,45	374,38	-0,6467	13,0	10
10	0,50	436,65	-0,6443	15,4	14
50	0,60	574,03	-0,6402	20,6	22
100	0,65	632,17	-0,6402	22,8	26

Tabela 32 - Calculo dos caudais do Ribeiro do Vale segundo a fórmula racional

T (anos)	C(-)	a (-)	b (-)	i (mm/h)	Q(m^3/s)
5	0,45	374,38	-0,6467	12,5	30
10	0,50	436,65	-0,6443	14,8	39
50	0,60	574,03	-0,6411	19,7	63
100	0,65	632,17	-0,6402	21,8	75

Tabela 33 - Calculo dos caudais do Ribeiro Outeiro Galegas segundo a fórmula racional

T (anos)	C(-)	a (-)	b (-)	i (mm/h)	Q (m^3/s)
5	0,45	374,38	-0,6467	13,6	11
10	0,50	436,65	-0,6443	16,1	14
50	0,60	574,03	-0,6411	21,5	23
100	0,65	632,17	-0,6402	23,8	28

Tabela 34 - Ribeiros - Caudais de ponta de cheia

T (anos)	Travasso	Vale	O.Galegas
5	10	30	11
10	14	39	14
50	22	63	23
100	26	75	28

Note-se que a ocorrência do caudal associado a um determinado período de retorno em um dos ribeiros não implica a ocorrência simultânea do caudal associado ao mesmo período de retorno no rio Arunca.

4.6.1 - Caudais de ponta de cheia adoptados

Para a secção do rio Arunca em análise os caudais de ponta de cheia obtidos pelos dois métodos utilizados apresentam a mesma ordem de grandeza, embora os valores obtidos através da análise estatística de caudais instantâneos máximos anuais sejam superiores aos valores obtidos através de precipitações intensas.

Geralmente, seriam adoptados os caudais de ponta de cheia mais elevados. No entanto, uma vez que os ajustes da amostra de caudais instantâneos máximos anuais às funções de distribuição de probabilidades analisadas foram todos rejeitados, optou-se por considerar caudais mais próximos, embora por prudência superior, dos obtidos através de precipitações intensas.

O caudal de cheia dos ribeiros e ribeiras confluentes para o Arunca na área do perímetro urbano no referido período de retorno sem ter em conta a influência das áreas impermeabilizadas representam cerca de 129 m^3/s, caudal bem significativo. No entanto a linha-férrea (linha do Norte) funciona como uma barragem e faz com que os caudais que extravasam os cursos de água sejam retidos por esta, originando pontos de **elevada perigosidade** na margem esquerda do rio Arunca. A realização da simulação da cota de cheia no perímetro urbano foi realizada com caudais constantes adoptando-se para Tr = 10, o caudal encontrado através do método de *Gumbel*, 265m^3/s, somando-se a este os 129 m^3/s provenientes dos cursos de água secundários, logo, o caudal utilizado foi de 394m^3/s. Mesmo assim, é superior ao caudal de **Tr = 100** indicado pelo INAG para a bacia do Arunca. Para **Tr = 100**, utilizou-se a média dos caudais calculados, **500 m^3/s** por arredondamento, embora se tenha obtido caudais pelo método de *Pearson III* de 617m^3/s, e 731.90 m^3/s pelo modelo de *Forti.(Após várias simulações com estes últimos valores o resultado final em cartografia não apresentava alterações significativas).*

Considerou-se assim adequado efectuar a simulação com caudal constante em todo o troço do rio dentro do perímetro urbano.

5 – Níveis de cheia

5.1 - Considerações prévias

No campo da simulação e modelação recorreu-se a alguns programas informáticos, como o: *GeoMedia Grid (CAD) HEC-RAS e HEC-GeoRAS.*

O *HEC-RAS* é um programa que executa simulações de modelação hidrodinâmico, este programa calcula a curva de regolfo em secções irregulares para um determinado caudal, para escoamentos gradualmente variados e com circulação em lâmina livre, como é o caso admitiu-se um regime permanente. O modelo foi estendido a 900 m a jusante da secção nº1 para que as condições de fronteira do modelo minimizem a influência das condições de escoamento. Os dados geométricos introduzidos foram obtidos através de um levantamento topográfico à escala 1:2000. O espaçamento entre perfis não ultrapassou, de uma forma geral mais de 50m. Como é uma aplicação que recorre a modelos hidrológicos determinísticos, para a sua utilização há três passos fundamentais.

1-Preparação dos dados, onde se inclui as seguintes acções: Cálculo de caudais, definição das características geométricas e hidráulicas. Para se estimar o caudal de ponta de cheia é necessário conhecer previamente a geometria e atributos do canal de escoamento do troço a modelar (declive, comprimento, etc.), bem como da respectiva bacia drenante e de eventuais sub-bacias de afluentes que possam convergir para o troço a modelar. Esta acção consiste na definição das características geométricas (perfis) e hidráulicas do canal fluvial a modelar e do respectivo leito maior, a escala usada foi a de 1:2000 que permite uma boa representação morfológica do leito maior e principalmente do leito menor, é nesta fase que se recorreu a outros *software*s.

2-Modelação hidráulica, que comporta o ajuste dos dados geométricos; definição dos dados de escoamento e do plano geral da modelação hidráulica; execução e validação da modelação hidráulica. Após correcção dos dados importados para o *HEC-RAS* e inserção dos caudais previamente calculados, inclinação, parametrização da modelação hidráulica, regime de escoamento, coeficiente de rugosidade, tipo de regime, etc. etc.

3-Análise e visualização dos resultados, fase em que se faz a exportação, visualização e validação dos resultados e respectiva produção cartográfica.

As cotas máximas de cheia, foram calculadas ao longo de 34 secções transversais que se encontram assinaladas na (Tabela 35), cujas características geométricas foram levantadas da carta à escala 1:2000. Após a elaboração dos perfis das 34 secções das

quais se representa abaixo as oito mais significativas. Foi efectuado o zonamento em planimetria conforme as figuras seguintes.

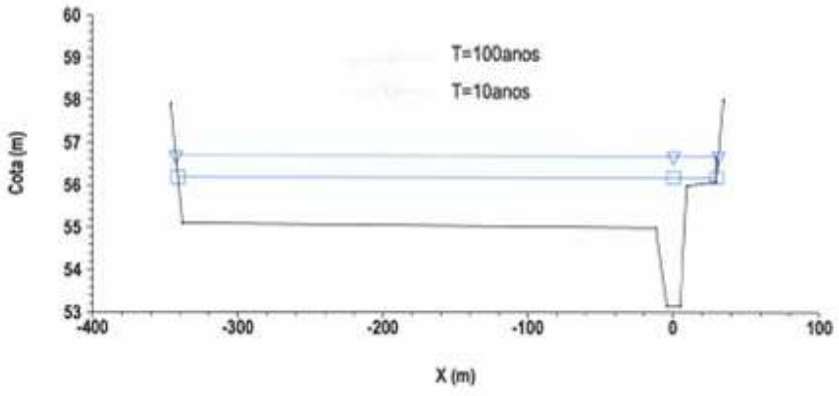


Figura 40 - Secção S-1.

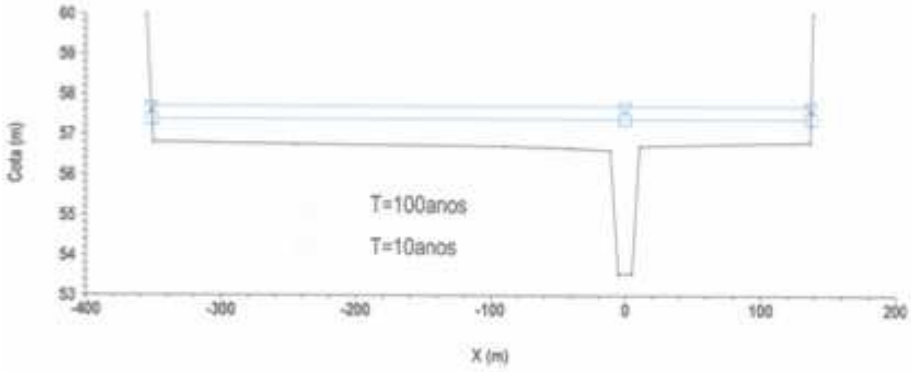


Figura 41 - Secção S-4.

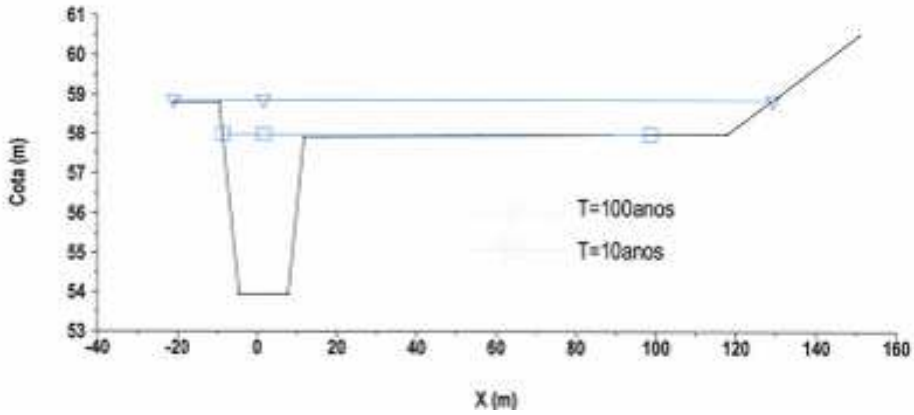


Figura 42 - Secção S-7.

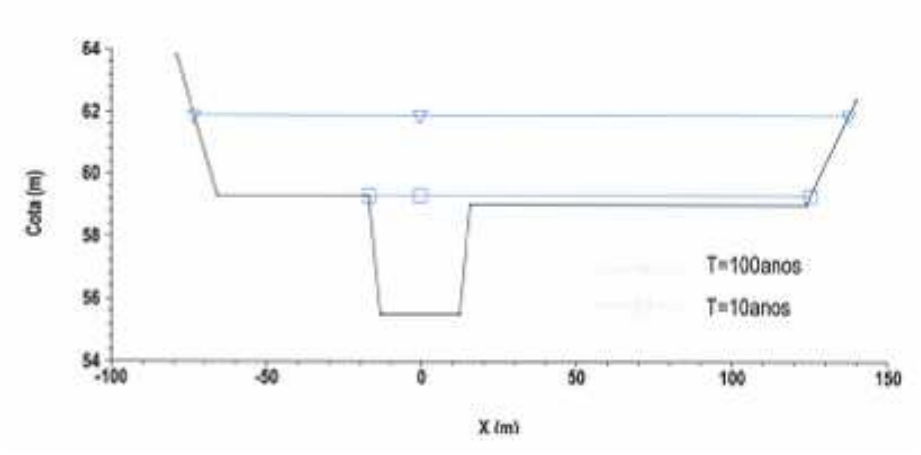


Figura 43 - Secção S - 10.

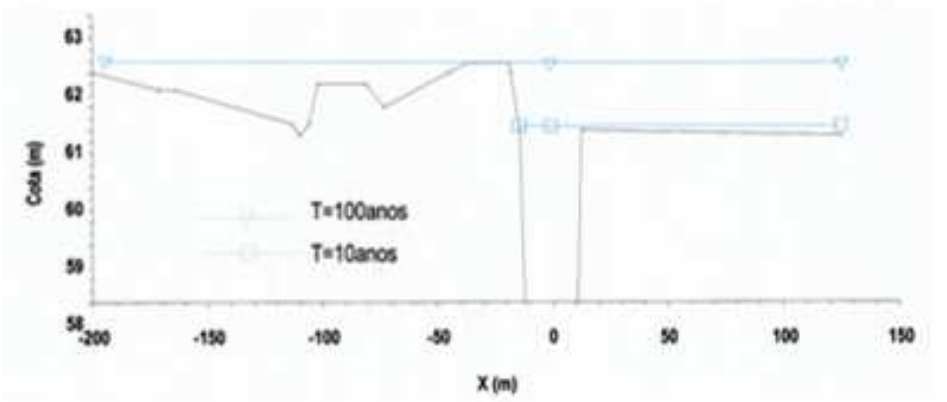


Figura 44 - Secção S -15.

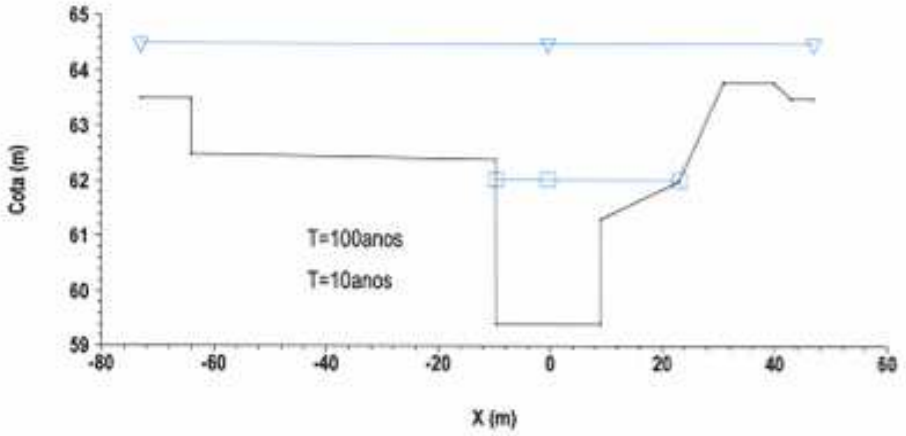


Figura 45 - Secção S- 19.

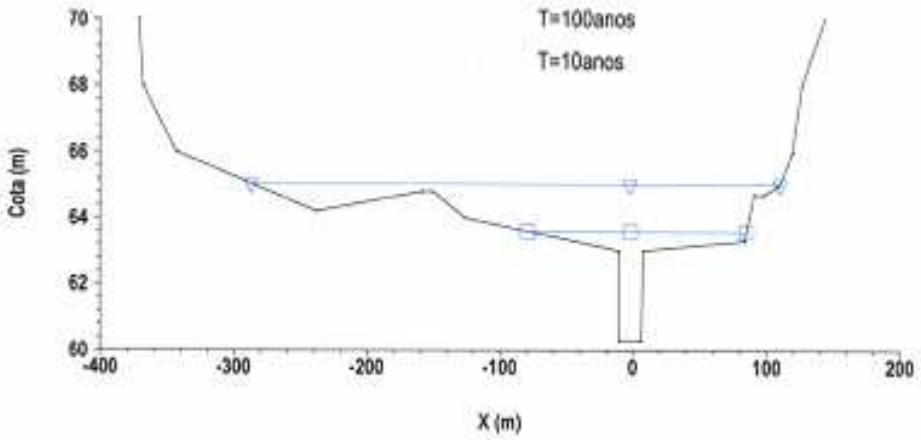


Figura 46 - Secção S - 23.

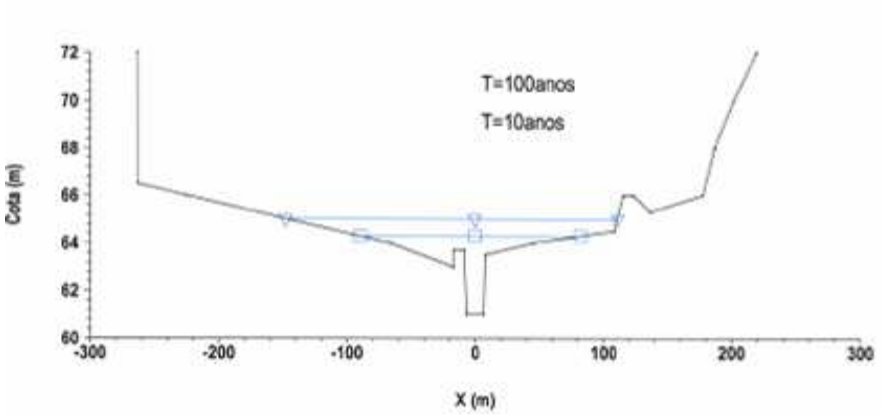


Figura 47 - Secção S - 25.

Tabela 35 - Nível da superfície livre por secção

Secção	Nível da superfície livre (m)			
	T (anos)			
	5	**10**	50	**100**
S-0	55.87	**56.03**	56.34	**56.54**
S-1	56.04	**56.19**	56.49	**56.69**
S-2	56.10	**56.26**	56.59	**56.82**
S-3	56.52	**57.32**	57.38	**57.59**
S-4	57.28	**57.37**	57.49	**57.70**
S-5	57.08	**57.65**	58.30	**58.44**
S-6	57.56	**57.93**	58.66	**58.84**
S-7	57.61	**57.98**	58.61	**58.86**
S-8	58.05	**58.60**	59.04	**59.26**
S-9	58.28	**59.35**	60.64	**61.89**
S-10	58.38	**59.28**	60.62	**61.88**
S-11	58.46	**59.26**	60.29	**61.52**
S-12	59.30	**59.27**	60.98	**62.17**
S-13	59.52	**59.73**	61.02	**62.19**
S-14	59.81	**60.21**	61.39	**62.12**
S-15	61.16	**61.07**	61.68	**62.16**
S-16	61.13	**61.03**	61.43	**62.15**
S-17	61.73	**62.08**	62.95	**63.47**
S-18	61.88	**62.33**	63.93	**64.57**
S-19	61.45	**62.04**	63.78	**64.50**
S-20	61.82	**62.88**	64.12	**64.78**
S-21	62.57	**63.63**	64.16	**64.80**
S-22	62.70	**63.64**	64.15	**64.77**
S-23	63.25	**63.60**	64.35	**65.04**
S-24	63.61	**63.97**	64.44	**65.10**
S-25	63.45	**64.29**	64.81	**65.03**
S-26	64.57	**64.70**	65.19	**65.46**
S-27	64.72	**64.88**	65.27	**65.50**
S-28	64.63	**64.71**	64.77	**65.30**
S-29	64.61	**65.02**	65.79	**66.45**
S-30	65.40	**65.66**	66.08	**66.49**
S-31	65.77	**66.06**	66.58	**66.89**
S-32	66.51	**66.73**	67.18	**67.48**
S-33	68.18	**68.62**	69.23	**69.51**
S-34	68.18	**68.62**	69.23	**69.51**

Foram fixados os coeficientes de “K” do leito normal e do leito de cheia dos troços compreendidos entre as 34 secções transversais consideradas. Para o leito normal foram estabelecidas, em função das observações realizadas ao leito do rio, três zonas com diferentes valores de “K”:

Para os troços entre as secções 0 e 11, em que todo o leito normal apresenta o revestimento natural, considerou-se K=29 $m^{1/3}/s$; Para os troços entre as secções 11 e 14, em que uma das margens apresenta o revestimento natural e outra apresenta revestimento de pedra e argamassa, considerou-se K=33 $m^{1/3}/s$; Para os troços entre as secções 14 e 25, em que ambas as margens se encontram revestidas com pedra e argamassa, considerou-se K=50 $m^{1/3}/s$.

Para o leito de cheia considerou-se K=29 $m^{1/3}/s$ em todos os troços, correspondente a um revestimento natural, embora, como se sabe, o leito de cheia na zona urbana de Pombal esteja francamente artificializado. Foram ainda tidas em conta as características das oito pontes sobre o rio Arunca e alguns edifícios existentes na zona urbana de Pombal.

Os cálculos para o zonamento de Tr =10 e Tr =100 no rio Arunca foram efectuados a partir de caudais indicados nos capítulos de cálculos de caudais e considerou-se o caudal constante ao longo do sector urbano.

No entanto, como se já se referiu no caso de ocorrência de uma cheia de T=100 anos no rio Arunca, podem ocorrer cheias com período de retorno T=5 anos nos outros ribeiros.

No zonamento efectuado para, Tr = a 10 e Tr =100 encontram-se delimitadas as áreas inundáveis para os períodos de retorno de 10 e 100 anos.

Note-se que aquelas áreas dizem respeito aos níveis correspondentes aos caudais de ponta das cheias encontrados, caudais que tem uma duração curta, pelo que se estima que os níveis máximos durante as cheias sejam um pouco inferiores, designadamente nas zonas mais afastadas do leito menor do rio Arunca.

Tendo em conta os resultados obtidos, será sobretudo de realçar a grande diferença de nível existente entre as secções S-8 e S-9, cerca de 2,60m para a cheia associada a T=100 anos, causada pelos acessos em aterro à ponte da E.N. 1.

Analisando de modo geral a delimitação das áreas inundáveis constata-se que:

Para a cheia associada a **T=10 anos,** grande parte da margem direita, na área situada entre o rio Arunca e a via-férrea (Linha do Norte) será inundada, exceptuando algumas zonas nos troços compreendidos entre as secções S-0 e S-4 e o troço entre as secções S-13 e S-17. (Figura 48).

Na margem esquerda, as inundações para T= 10 anos serão praticamente simétricas à margem direita, embora um pouco menores entre a ponte da E.N. 1 e a secção S-13, visto nesta zona o terreno situar-se a cotas um pouco mais elevadas que na direita.

Para a cheia associada a **T=100 anos,** conclui-se que praticamente toda a margem direita do rio Arunca, ou seja, a área compreendida entre o rio Arunca e a linha-férrea, seja inundada. Para este período de retorno e na margem direita, um troço da própria linha do Norte, situado entre as secções S-17 e S-24, ficará submerso, bem como a zona baixa da parte mais antiga da cidade. Na margem esquerda, a inundação para **T=100** anos será muito superior à causada para T=10 anos. Não serão, no entanto, afectados os acessos ao viaduto Engenheiro Guilherme Santos. No entanto, o troço da EN 1

compreendido entre a ponte sobre o Arunca e a secção S-25 é inundado para **Tr= 100.**

Uma grande parte do parque industrial da Formiga será efectuado pelas cheias, embora a submersão seja claramente maior para a cheia centenária.

Na área em questão, e para a cheia centenária não ficarão submersos os tabuleiros das pontes da Formiga, da Estrada Nacional1, da Estação de Camionagem e da ponte Pombalina, que estão situados a cotas mais elevadas que as dos terrenos adjacentes. Os respectivos acessos serão no entanto afectados.

Com efeito, para as cheias excepcionais (superiores a centenária), admite-se que cerca de 70% do caudal se escoa fora do leito menor do rio Arunca, (Figura 48).

A cidade também será inundada pelas ribeiras do Vale e do Outeiro Galegas, sendo neste caso factores determinantes, a intensidade da precipitação e a impermeabilização dos solos em áreas de máxima infiltração, também é nas bacias destes cursos de água que se encontram os declives mais acentuados do concelho.

Ao determinar-se o valor da cota atingida pela cheia centenária em relação ao fundo do leito do rio, cuja cota varia entre os 53.4m e 61.7m, sendo que na margem esquerda, a cota varia entre 64.9m a 53.4m, e na margem direita entre 64.5m a 55.8m. Verifica-se que o escoamento é condicionado pelo perfil transversal do leito maior onde o caudal em condições de cheia centenária atingirá a cota 64.8m no sector sul do perímetro urbano de Pombal e 56.8m no sector norte do mesmo.

Em ambas as margens, o rio atravessa terrenos de cultivo abandonados quanto à prática agrícola e que constituem o leito de cheia. Neste leito não foram consideradas para o cálculo do escoamento em situação de cheia centenária os detritos provenientes de árvores e restos das culturas agrícolas.

A experiência, as marcas e os registos históricos, mostram que, as secções de vazão actuais ao longo do perímetro urbano da cidade de Pombal, não andam muito longe da capacidade de vazão do caudal correspondente à cheia centenária, sendo este conjunto constituído pelo leito menor do rio Arunca, e pelos leitos de cheia da margem direita e da margem esquerda.

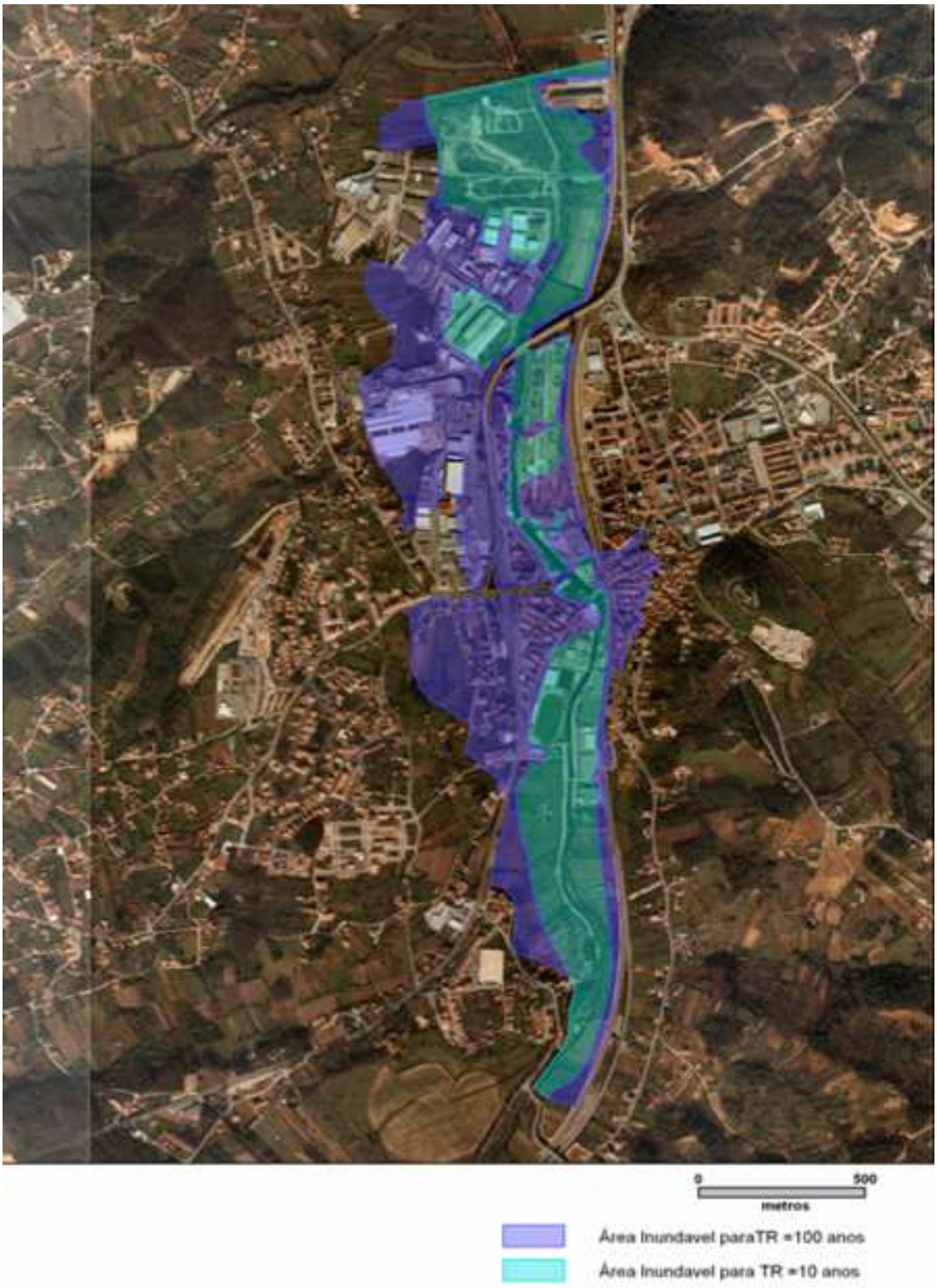


Figura 48 - Tr = 10 e Tr = 100 para o sector urbano de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

Figura 49 - Cheias do Rio Arunca, Ribeira do Outeiro Galegas e Ribeiro do Vale a 26/10/2006. Fonte: Elaboração própria.

6 - Cheias, inundações e ordenamento do território

Recorrendo ainda, ao software *CYPE* que tem por base na sua programação a fórmula racional, calcularam-se os caudais produzidos pelos espaços cuja impermeabilização é aproximadamente 100% nas bacias adjacentes e convergentes para a cidade, ou seja o correspondente à (Figura 50).

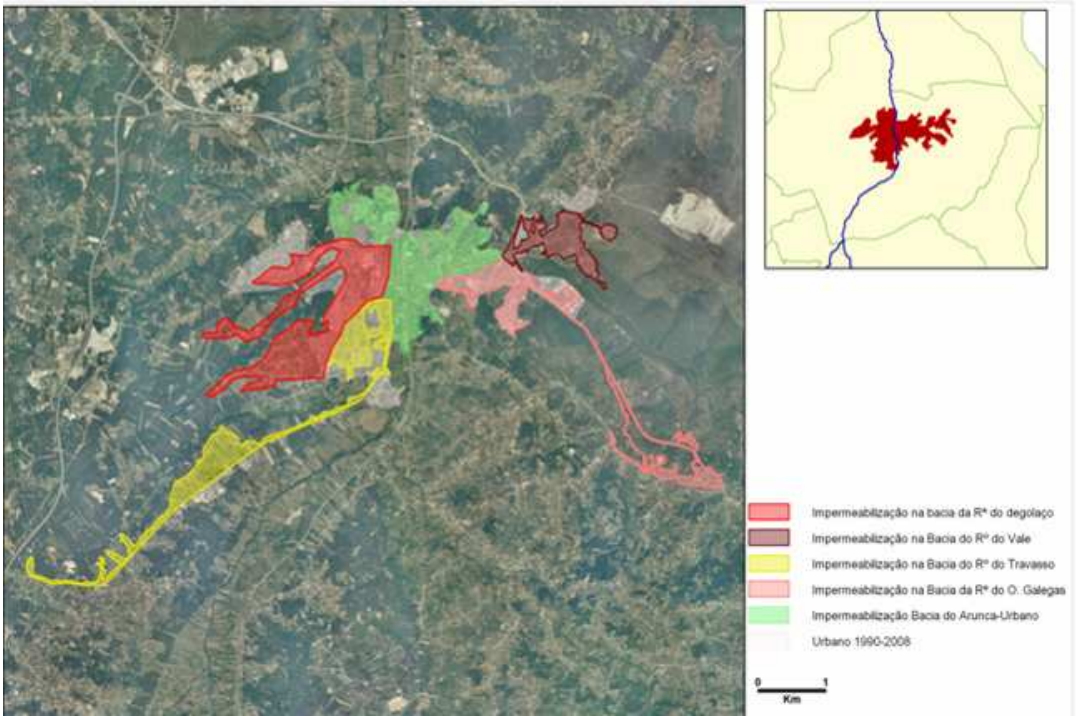


Figura 50 - Áreas impermeabilizadas nas bacias envolventes à cidade. Fonte: Elaboração própria.

Partindo do pressuposto que quase toda a precipitação caída nos espaços impermeabilizados fica livre para o escoamento superficial e que as características do relevo, o "encaminham" para o rio Arunca, no entanto antes de chegar a este rio, tem que "atravessar" o espaço urbano da cidade. Optou-se, por apresentar os caudais produzidos por estes espaços impermeabilizados, separadamente dos cálculos das bacias onde estão inseridos.

Na margem esquerda do Arunca, temos os ribeiros do Degolaço e do Travasso, em que o primeiro tem uma área impermeabilizada de 2.1 km^2 e 61.88 m^3/s de caudal produzido, o ribeiro do Travasso com 1.3 km^2 de área impermeabilizada e 38.9 m^3/s de caudal.

Na margem direita, as bacias do ribeiro do Vale e da ribeira do Outeiro Galegas, põem em evidência o quanto a cidade de Pombal é vulnerável às cheias e inundações, pois estas bacias possuem áreas impermeabilizadas na ordem de 0.60 km^2 e 0.89 km^2, que

produzirão caudais na ordem dos 17.55m^3/s e 26.20m^3/s respectivamente. Este volume de água (43.75 m^3/s) representa um caudal superior à capacidade de vazão do troço canalizado sob a cidade que é de 24.93 m^3/s, este troço canalizado sob a cidade e para o qual converge todo o escoamento superficial da margem direita do Arunca, descarrega o caudal excedentário 18.81 m^3/s, num sistema totalmente estrangulado, quer pelo restante caudal das bacias, bem como, devido a uma prática urbanística de grandes lacunas, ou seja, vai-se somando colectores de "n" urbanizações a um colector central com a mesma secção dos colectores das urbanizações, afunilando-se todo o sistema de drenagem pluvial, o que provoca inundações urbanas como a que ocorreu no dia 26/10/2006.

Só para o escoamento proveniente das áreas impermeabilizadas das bacias do ribeiro do Vale e da ribeira do Outeiro Galegas, seria necessário um canal com 20m^2 de secção entre o topo da Avenida Heróis do Ultramar e o rio Arunca, o que existe actualmente tem uma secção de 9 m^2.

Ainda dentro deste tema dos caudais provenientes da expansão urbana, industrial e de extracção, a Leste da cidade de Pombal, na vertente Norte do ribeiro do Vale existem duas pedreiras de extracção de calcários, designadas de: pedreira do Barrocal e pedreira de Vila Cã (Figura 51), ocupando a primeira uma área de 35 hectares e a segunda 28 hectares. Na base da vertente em questão, existe uma "linha" de exsurgências que "eram"normalmente activadas após longos períodos de precipitação. No dia 26/10/2006 essas exsurgências "rebentaram" logo após o período de maior intensidade de precipitação que foi de 40 mm em meia hora (Figura 51).

Tendo em conta as características das pedreiras e a litologia local, composta por materiais muito fracturados como são os calcários e de elevada permeabilidade, por vezes com ligações entre a superfície e o sistema de circulação cársico através de fracturas e algares, poder-se-á concluir que essas duas pedreiras acumularam e descarregaram neste sistema de circulação 25 500 m^3 de água proveniente só desse período de maior intensidade de precipitação, o que equivalerá a um caudal de 7m^3/s descarregado directamente no ribeiro do Vale que por sua vez o encaminhou para a Avenida Heróis do Ultramar, contribuindo assim para aumentar a magnitude da cheia que ocorreu nesse dia.

Tendo em conta só estes valores, efectuou-se uma nova modelação hidráulica para a margem direita do Arunca obtendo-se um novo mapa das áreas inundáveis no perímetro urbano da cidade (Figura 52).

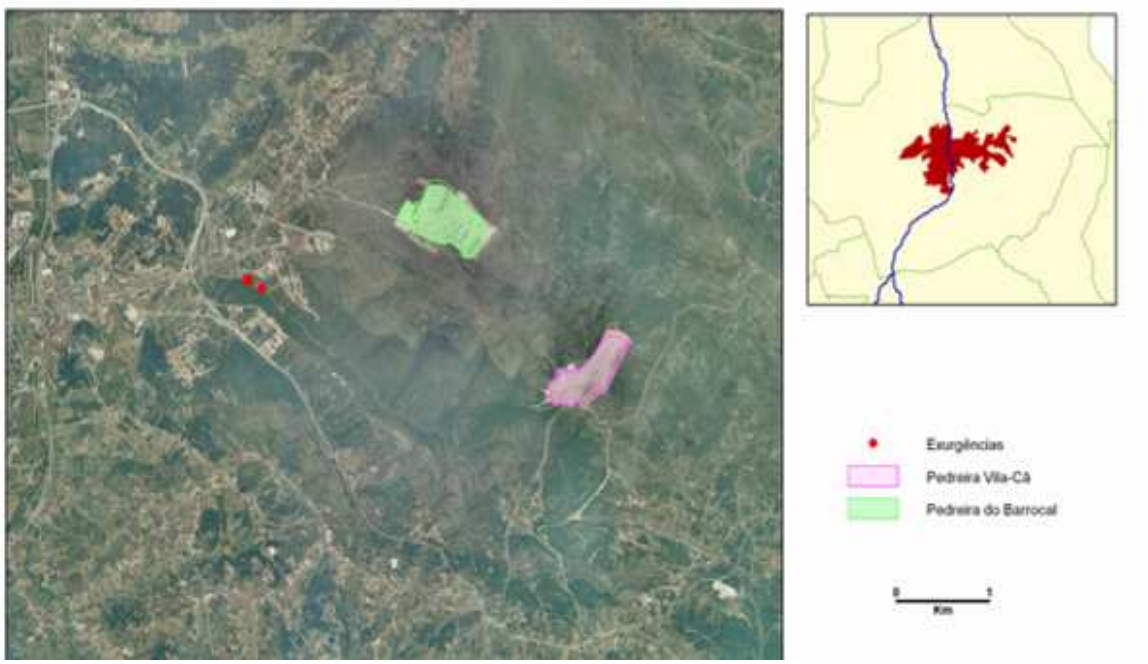


Figura 51 - Exsurgências e pedreiras a Leste da cidade de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

Figura 52 – Cheias, Sub- bacias sector Leste da cidade de Pombal Fonte: Elaboração própria.

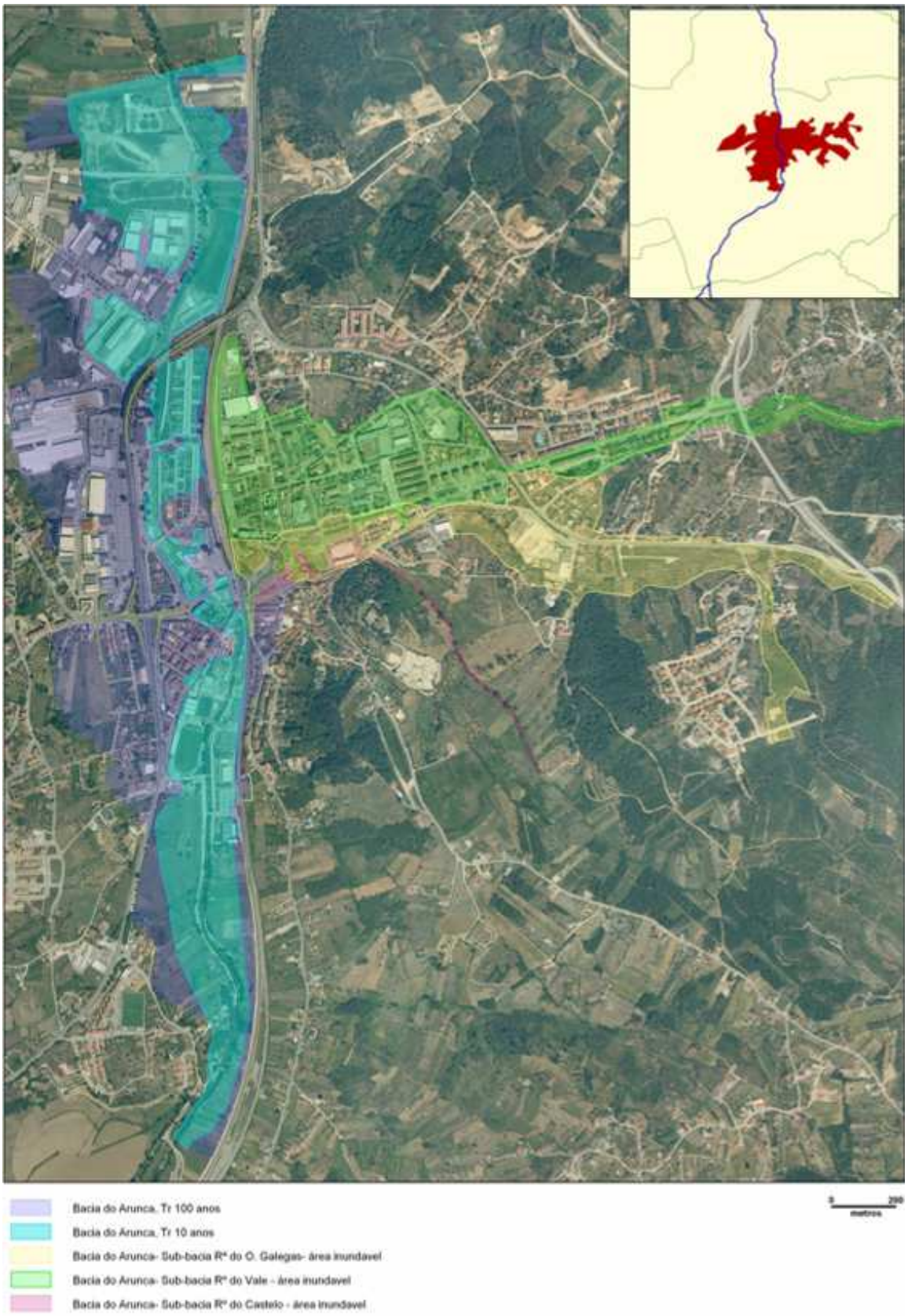


Figura 53 - Tr 10, Tr 100 Bacia do Arunca e sub-bacias do sector leste da cidade de Pombal Fonte: elaboração própria.

7 - Susceptibilidade, elementos expostos ou elementos em risco

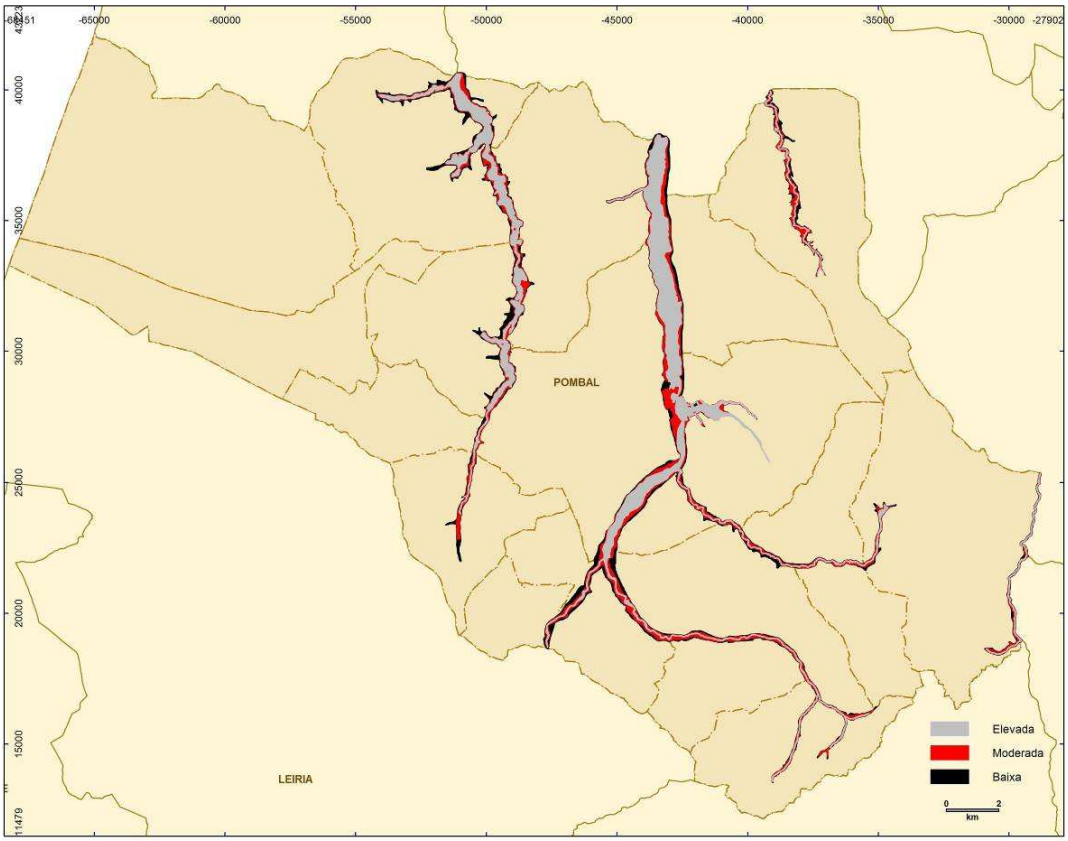


Figura 54 - Susceptibilidade a cheias no concelho de Pombal. Fonte: Elaboração própria.

A análise da susceptibilidade (Figura 54) constata-se que existem os seguintes equipamentos expostos ao risco de cheia:

- Bacia do Arunca: 2800 metros de vias asfaltadas, 221 construções armazéns habitações, estabelecimentos industriais etc., uma sub-estação eléctrica, uma ETAR, 2 jardins-de-infância, 3 pavilhões gimnodesportivos, um estádio de futebol, 2 recintos desportivos não cobertos, uma piscina municipal, uma central de transportes públicos um refeitório municipal, 3 pontos de água do DFCI, um quartel sede dos Bombeiros Voluntários de Pombal.

A cidade de Pombal com uma população de 5779 habitantes, dos quais 4257 estão expostos ao risco de cheia, ou seja 73.6% da sua população.

- Bacia do Anços: 2500 metros de vias asfaltadas, 51 construções não sendo nenhuma delas de apoio a qualquer actividade, são todos de função residencial.

Bacia de Carnide: 5570 metros de vias asfaltadas, 6 construções, 4 pontos de água do DFCI, uma ETAR.

7.1 - Consequência e considerações finais

Os locais de elevada vulnerabilidade e nos quais os danos se fizeram sentir aquando das cheias de 26/10/2006 encontram-se representados nas (Figuras 55 e 56).

A (Figura 55), diz respeito só aos locais públicos com danos sofridos pelas cheias de 26/10/2006, a (Figura 56) localiza os locais dentro do perímetro urbano da cidade de Pombal que sofreram danos, cujo prejuízo foi calculado como sendo superior a dois milhões de Euros. Aos prejuízos materiais ainda há que somar a perda de uma vida humana.

É neste espaço que se notam a falta de medidas estruturais e uma melhor articulação das não estruturais. Estas últimas até existem, no entanto têm sido relegadas para o esquecimento. Com efeito, muito se poderá fazer em torno de decreto-lei 23/95 de 23 Agosto, que regula, entre outros assuntos, as águas residuais provenientes do processo de urbanização, mas que, "esquece" que essas águas convergem todas para condutas já existentes e cuja capacidade de vazão já foi há muito ultrapassada devido ao crescimento urbano dos últimos 25 anos.

Esta regulação só será eficaz caso seja acompanhada por uma fiscalização atenta e com conhecimento técnico/científico nesta matéria.

Nota-se ainda que existe uma quase total ausência por parte das entidades com responsabilidade pela delimitação, regulação e fiscalização da legislação em vigor, entidades essas, que também acompanham a elaboração/revisão do PDM.

No capítulo das medidas estruturais, acções de prevenção e protecção deverão ser implementadas no terreno, por exemplo, a implantação de barreiras de amortecimento do escoamento torrencial proveniente dos cursos de água que convergem para a cidade na margem direita do rio Arunca.

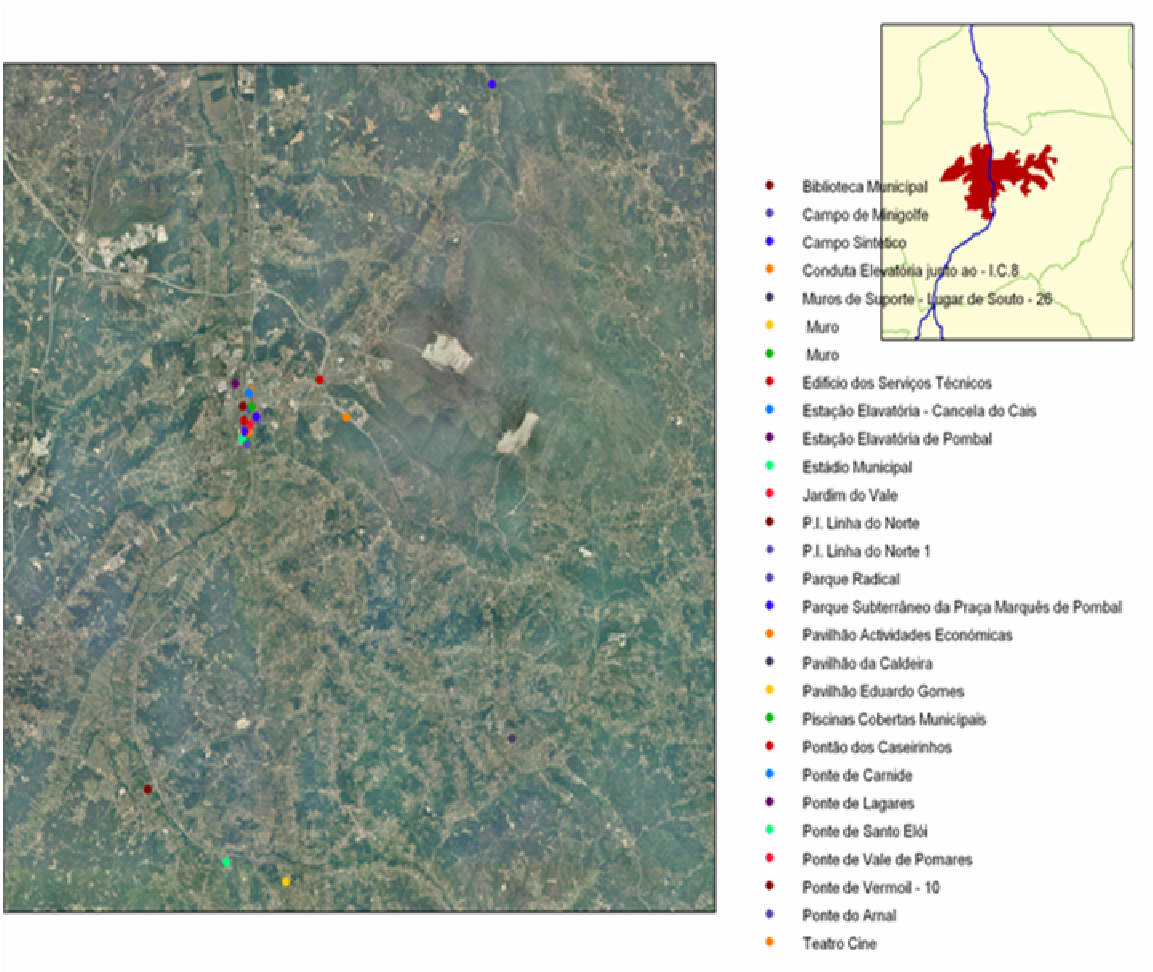


Figura 55 - Locais públicos no concelho de Pombal com danos provocados pelas cheias de 26/10/2006.
Fonte: Elaboração própria.

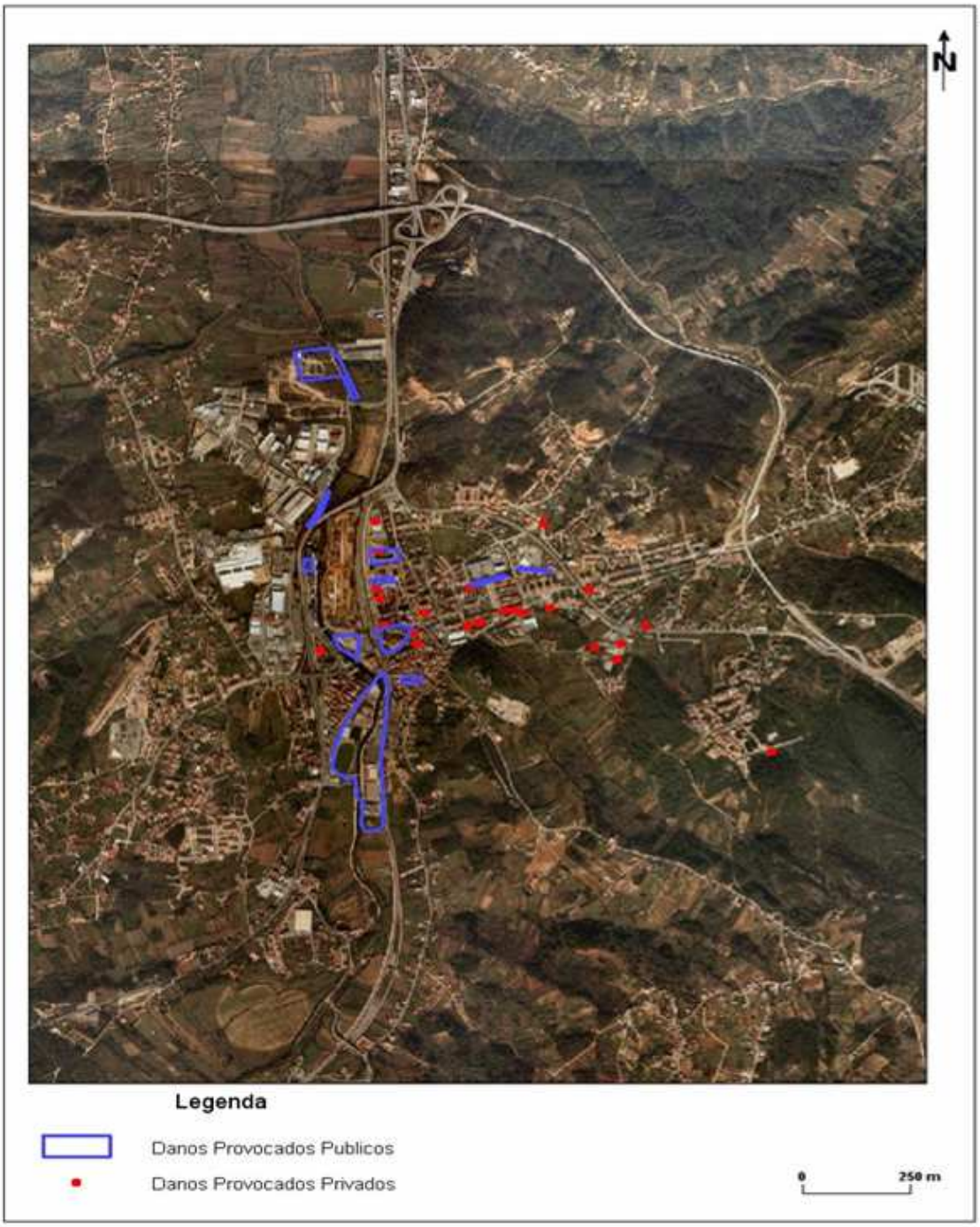


Figura 56 - locais públicos e privados na cidade de Pombal com danos provocados pelas cheias de 26/10/2006. Fonte: Elaboração própria.

No âmbito das medidas preventivas, deverá implantar-se um sistema de aviso e alerta na Serra da Sicó. Tendo em conta que se conhece o efeito de uma chuvada de 40 mm em meia hora nas bacias do ribeiro do Vale e da ribeira do Outeiro Galegas, sabendo-se também que a precipitação é mais intensa na serra relativamente ao resto do território do concelho, será necessário colocar pelo menos duas estações pluviométricas, uma no

topo da serra e uma segunda na vertente Oeste desta, que forneça dados em tempo real *(via GSM)*, por exemplo, para o serviço de protecção civil local.

Constata-se ainda, que continua a manter-se a tendência das últimas décadas, ou seja o crescimento de construções em todas as bacias hidrográfica das ribeiras convergentes para a cidade, e que esta expansão não tem tido em conta os impactes da impermeabilização, como factor na intensificação de cheias repentinas, nem tem imposto restrições à construção em leitos de cheia.

O PDM em vigor integra alguns condicionantes à transformação do uso do solo, criando assim algumas zonas de protecção, especialmente os que resultam da delimitação da REN e da RAN. Fora da malha urbana mais compacta do perímetro urbano da cidade, a REN representa, em geral, um zonamento eficaz para a protecção de zonas inundáveis, pois sobrepõe-se às zonas de leito de cheia e abrange outras áreas cuja protecção tem um papel preventivo na redução dos riscos de cheia. No entanto, o processo de licenciamento de planos e obras em zonas inundáveis não prevê qualquer medida de defesa e conservação do solo e da água nas cabeceiras e em zonas de riscos de erosão.

Dentro das zonas urbanas, a REN, por norma não é delimitada e o mesmo acontece com o zonamento do leito de cheia. Esta omissão na cartografia de ordenamento tem consequências visíveis na proliferação da ocupação dos leitos de cheia. No PDM em vigor as cheias urbanas são quase ou totalmente omitidas, não existindo qualquer referência à Zona Adjacente estabelecida por lei, e nalgumas situações permite a ocupação de áreas inundáveis em consonância com uma ausência de referência ao risco de cheia no processo de planeamento do uso do solo, nomeadamente em zonas de maior ocupação urbana.

Pese embora o facto das áreas de risco de inundação no interior do perímetro urbano estarem delimitadas, é necessário proceder à sua regulamentação através da figura de Zona Adjacente, dado que estas áreas não estão ainda integradas na demarcação da REN.

A identificação das zonas de risco e a delimitação das respectivas Zonas Adjacentes deverão ser inseridas na elaboração/revisão do PDM ou em outros planos ligados ao ordenamento do território de forma a compatibilizar o planeamento urbano (expansão) com os níveis de prevenção e segurança adequados.

Considera-se, ainda, face aos resultados encontrados, que o tipo de cheias que ocorrem nas bacias analisadas são do tipo de: “cheias rápidas”, visto em nenhum dos casos elas perdurarem mais do que dois a três dias, no entanto estas cheias rápidas ainda podem ser subdivididas em duas subclassificações: as previstas e as imprevistas

O rio Arunca bem como dos seus afluentes no concelho de Pombal, podem-se classificar como tendo um regime do tipo **pluvial**, **intermitente**, **imponderado**, de **elevada irregularidade**. As cheias com origem no rio Arunca quanto à velocidade de propagação são **rápidas, de ponta de cheia simples,** mas **previsíveis**, o mesmo não se aplica ás ribeiras da margem direita deste rio, alem de rápidas possuem carácter marcadamente **imprevisto** desenvolvendo uma **ponta de cheia repentina**, *(valor máximo que o caudal atinge durante a cheia)* as características das suas bacias apontam todas nesse sentido, porque: possuem **caudais de ponta elevados**, magnitude superior a **76,** tempos de concentração e de resposta muito baixos, áreas reduzidas, curso de água principal com um comprimento próxima da extensão da bacia, hierarquia superior ou igual a três, , factor forma superior a **0.5**, índice de *Gravélius* inferior a **1.4,** relação de relevo superior a **38**, densidade de drenagem inferior a **3** (muito baixa).

Os pontos críticos existentes nas várias bacias deverão possuir valores semelhantes aos atrás enunciados e estes pontos requerem uma outra análise que permita elaborar cartografia onde se identifique os locais onde eles se situam, pois foi aí que ocorreram os primeiros galgamentos das margens nos vários cursos de água do concelho de Pombal aquando das ultimas cheias. Ainda assim, será necessário avaliar a causa/efeito, quer a montante quer a jusante do perímetro urbano de Pombal, devido ao aumento da secção do rio Arunca dentro desse perímetro urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, JORGE (2008) – *Probabilidades e Estatística para a Engenharia*, Lidel, pp. 242 -276

BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. e WISNER, B. (1994) – *At Risk. Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*, Routledge, Londres, 284 p.

CANTOS, J. O. (2004) – "*Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal"*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (A.E.G.), nº 37. www.ieg.csic.es/age/boletin.htm.

CARVALHO, C. R.(2002) – *Utilização de sistema de informação geográfica na gestão de recursos hídricos: caso de estudo na bacia hidrográfica do rio Mondego*, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

CARVALHO, R. F. SÁ MARQUES, A. SIMÕES, N. e REIS, P. (2004) – "*A influência da urbanização na avaliação de caudais de cheia no concelho de Coimbra"* – 11º ENASB, Faro 13 a 15 de Outubro de 2004.

CRED (2008) – *The OFDA/CRED International Disaster Database*, informação consultada na página da *Emergency Events Database* em http://www.emdat.be. Universidade Católica de Louvain.

CORREIA, F. N.(1993) – *"A prevenção e o controlo de cheias numa óptica de gestão integrada de zonas inundáveis"*. Simpósio sobre Catástrofes Naturais. Estudo, Prevenção e Protecção, Ordem dos Engenheiros e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 8 a 10 de Novembro de 1993.

COSTA, P. C. (1986) – *"As cheias rápidas de 1967 e 1983 na região de Lisboa"*. Livro de Homenagem a Mariano Feio, Lisboa.

CHOW, Ven Te (1959) - *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Nova Iorque, 558 p.

CHOW, Ven Te (1964) – *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Nova Iorque, 1563 p.

Chow, V.T; Maidment, D.R.; Mays, L.W. (1988) - Applied Hydrology, McGraw-Hill International Editions, Singapore.

CUNHA, L. (1986) – *As grandes linhas de desenvolvimento do relevo na área de Soure*.

CUNHA, L. (1988) – *As serras calcárias de Condeixa-Sicó-Alvaiázere – estudo de geomorfologia*. Dissertação de Doutoramento, Coimbra, 329 p.

CUNHA, P. P. (2002) – *"Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial – o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal Central), no Inverno de 2000/2001"*. Territorium, 9, Edições Minerva, Coimbra.

FAUGÈRES, L. (1990) – " *La dimension des faits et la théorie du risque*". Le Risque et la Crise, Foundation for Internacional Studies, Malta.

GANHO, N. LOURENÇO, L. e REBELO, F. (1992) –*"Importância da Climatologia e da Geomorfologia no planeamento urbano. Análise de um caso concreto na parte oriental da cidade de Coimbra"*. Cadernos de Geografia.

GANHO, N. (2002) – "*O 'paroxismo' pluviométrico de 2000/2001 em Coimbra. Umas notas a montante dos riscos naturais e da crise*". Territorium, 9, Edições Minerva, Coimbra.

GARRY, G. (1993) – *Le risque d'inondation en France. Recherche d'une approche globale du risque d'inondation et de sa traduction cartographique dans une perspective de prévention*, Dissertação de Doutoramento, Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne, Paris.

GARRY, G. (1994) – "*Évolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France"*, Mappemonde, 4, Paris. www.mgm.fr

GODINHO, S. F. (1980) – "*Contribuição para o estudo das cheias na bacia hidrográfica do Mondego"*. O Clima de Portugal, Fascículo XXI, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.

HENRY, J. P. (2004) – *Systemes d'information spatiaux pour la gestion du risqué d'inondation de plaine*, Dissertação de Doutoramento, Université Strasbourg I, Strasbourg.

HEC (2002a) – *HEC-RAS, River Analysis System - User's Manual*. Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers.

HEC (2002b) – *HEC-RAS, River Analysis System - Hydraulic Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers.

HEC (2005) – *HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS*. Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers.

LENCASTRE, A. e FRANCO, F. M. (1992) – *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa, 2ª edição, Lisboa.

LIMA, M. L.(1995) "*Viver com o risco: abordagens da psicologia social ambiental", Inforgeo*, 9-10, Lisboa.

LOURO, S. (2004) – *Condições meteorológicas com efeitos de inundação. O exemplo da Bacia do Mondego*, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.

MILLER, J. B. (1997) – *Inondations: personnes menacées, stratégies de prévention*, Organização das Nações Unidas, Nova Iorque e Genebra.

OLIVEIRA, P. M. S. E. (2002) – *Inundações na cidade de Lisboa. Estudo de Geografia Física*, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.

OLIVEIRA, P. M. S. E. e RAMOS, M. C. (2002) – "*Inundações na cidade de Lisboa durante o Século XX e os seus factores agravantes"*. Finisterra, nº 74, Lisboa.

OJEDA, A. O. (1997) – "*Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico. Un planteamiento didáctico*". Lurralde, 20, pp. 261–283.

PAIVA, ISABEL MARIA RODRIGUES (2005) – *Risco de inundação em Coimbra, factores físicos e acção antrópica, as inundações urbanas e as cheias do Mondego*, (1950/51 -2003/4).

PALRILHA, P. M. (2004) – *As cheias no Baixo Mondego no ano hidrológico 2000/2001. Avaliação e percepção do risco de inundação*, Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Aveiro, Aveiro.

PARDÉ, M. (1933) – *Fleuves et Rivières*, 5ª edição, Armand Colin, Paris, 241 p.

PAULO, C. G. D. V. (1999) – *Os SIG e a modelação hidrológica na produção de cartografia de áreas de risco de cheia*, Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Superior Técnico, Lisboa.

PMDFCI- Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Município de Pombal.(2006,2007,2008,2009), não editado.

PME – Plano Municipal de Emergência – Município de Pombal. (2004, 2010)

RAMOS, M. C. (1992) – "*As cheias de Dezembro de 1989 em pequenas bacias-vertente da margem direita do Baixo-Tejo*". Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia, Porto.

RAMOS, M. C. (1994) – *Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (Bacia Hidrográfica do Tejo)*, Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.

RAMOS, C. M. (1998) – "*Obra hidráulica e agrícola do Mondego. Obras do controlo de cheias extremas*". Sociedade e Território, 27, Edições Afrontamento, Porto.

RAMOS, M. C. e REIS, E. (2001) – "*As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas"*. Finisterra, XXXVI, 71, Lisboa

RAMOS, C. (2005) – Programa de Hidrogeografia, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, DILIF – 3, Lisboa.

REBELO, F. (1997) – "*Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas"*. Territorium, 4, Edições Minerva, Coimbra.

REBELO, F. (1999) – " *A teoria do risco analisada numa perspectiva geográfica"*. Cadernos de Geografia, 18, Coimbra.

REBELO, F. (2001) – *Riscos Naturais e Acção Antrópica*, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

REIS, E. (1996) – *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas*. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

RIBEIRO, JOÃO MANUEL (1985), – Revista "Sociologia - Problemas e Praticas" nº 18 de 1995 do CIES/ISCTE

ROCHA, J. S. (1993) – "*Caracterização das zonas sujeitas a risco de cheias em Portugal"*. Simpósio sobre Catástrofes Naturais: estudo, prevenção e protecção, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

RODRIGUES, A. SARAMAGO, M. BRANDÃO, C. e DIOGO, P. A. (1997) – "*O Sistema Nacional de Vigilância e Alerta de Cheias*". Simpósio sobre Aproveitamentos Hidroeléctricos, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Lisboa. http://snirh.inag.pt

RODRIGUES, A. SARAMAGO, M. RODRIGUES, C. M. LACERDA, M. e RODRIGUES, R. (1998) – *Evolução recente do Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias*, Relatório Técnico da Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos do Instituto da Água, Lisboa. http://snirh.inag.pt

RODRIGUES, R. BRANDÃO; C. e COSTA, J. P. (2001) – *Hidrologia das cheias do Mondego de 26 e 27 de Janeiro de 2001*. Relatório Técnico da Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos do Instituto da Água, Lisboa. http://snirh.inag.pt

SALOMON, J. N. (1997) – *L'Homme face aux crues et aux inundations*, Presses Universitaires de Bordeaux, Bordéus, 136 p. ´

SARAIVA, M. G. (1987) – *A defesa contra cheias e sua inserção no Ordenamento do Território. Área Metropolitana de Lisboa*, Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

SARAIVA, M. G. e CORREIA, F. N. (1993) – *Flood Plain Management in Portugal. A Review*. Relatório preparado no âmbito de uma colaboração com a Middlesex University sobre as melhores práticas de prevenção e controlo de cheias na Europa, Lisboa.

SMITH, K. e WARD, R. (1998) – *Floods: Physical processes and human impacts*, John Wiley, Londres, 382 p.

SILVA, D. S. (2004) – *À espera da cheia? Paradoxos da modificação do ambiente por via da tecnologia*, Dissertação de Mestrado apresentada ao ISCTE, Lisboa, 210 p.

SOBRINHO, A. S. (1985) – "*As inundações e o ordenamento do território em Portugal*". Actas do II Colóquio Ibérico de Geografia, Vol.I, Lisboa, pp. 359-385.

STRAHLER, A.N. (1977) - El Agua del Suelo y el Balance Hídrico, in Geografía Física, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 255-269.

STRAHLER, A.N. (1977) - Las Aguas de Escorrentía y de Saturación; Morfología Fluvial, in Geografía Física, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 449-501.

STRAHLER, A.N. (1977) - Análisis Cuantitativo de las Formas de Erosión, in Geografía Física, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 521-542.

STRAHLER, A.N. (1987) - El Trabajo Geológico de los Ríos, in Geología Física, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 412-442.

STRAHLER, A.; STRAHLER, A. (2000) – *Introducing Physical Geography*. 2ª ed., John Wiley & Sons, Nova Iorque.

VARNES, D. (1978) – "*Slope movement Types and Processes*". Schuster & Krizek (eds.) Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report, 176, Washington.

TEMEZ, J. R. (1978) – *Calculo Hidrometeorologico de Caudales Maximos en Pequeñas Cuencas Naturales.* Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo. Direccion General de Carreteras, Madrid.

SNIRH (2007) – *Atlas da Água.* Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Instituto da Água, Lisboa.

SNIRH (2008) – Dados climatológicos consultados na página do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos disponíveis em snirh.pt, Instituto da Água.

ANEXOS

REGIME TÉRMICO DA REGIÃO I

CTEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MÉDIAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
MONTEMOR-O-VELHO	9.8	10.4	12	14.1	16.0	18.6	19.9	19.8	19.0	16.2	12.1	9.7	14.8
CRASTA ALTA	9.8	10.4	12.7	14.2	15.9	18.3	19.3	19.4	19.0	17.0	13.0	10.2	14.9
MÉDIA DA REGIÃO I	**9.8**	**10.4**	**12.4**	**14.2**	**16.0**	**18.5**	**19.6**	**19.2**	**19.0**	**16.6**	**12.6**	**10.0**	**14.9**

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MINIMAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
MONTEMOR-O-VELHO	5.6	6.3	7.8	9.0	11.4	13.5	14.7	14.2	13.1	10.5	7.2	5.2	9.9
CRASTA ALTA	5.9	5.9	8.0	9.0	11.3	13.8	14.5	14.5	13.8	11.7	8.5	6.0	10.2
MÉDIA DA REGIÃO I	5.8	6.1	7.9	9.0	11.4	13.7	14.6	14.4	13.5	11.1	7.9	5.6	10.1

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MÁXIMAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
MONTEMOR-O-VELHO	13.9	14.6	16.4	19.2	20.7	23.8	25.1	25.4	24.8	21.9	17.0	14.2	19.8
CRASTA ALTA	13.9	14.7	16.9	18.2	20.5	22.3	23.6	23.8	22.5	21.5	16.7	14.0	19.1
MÉDIA DA REGIÃO I	**13.9**	**14.7**	**16.7**	**18.7**	**20.6**	**23.1**	**24.4**	**24.6**	**23.7**	**21.7**	**16.9**	**14.1**	**19.5**

REGIME TÉRMICO DA REGIÃO II

CTEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MÉDIAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
COIMBRA	**10.0**	**10.7**	**12.4**	**14.2**	**16.7**	**19.4**	**21.7**	**21.6**	**20.4**	**17.3**	**12.8**	**10.2**	**15.6**

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MINIMAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
COIMBRA	**5.8**	**6.1**	**7.4**	**8.6**	**10.9**	**13.3**	**14.8**	**14.6**	**13.9**	**11.8**	**8.2**	**6.0**	**10.1**

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MÁXIMAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
COIMBRA	**14,2**	**15,3**	**17.4**	**19.8**	**22.5**	**25.5**	**28.5**	**28.6**	**26.9**	**22.8**	**17.4**	**14.4**	**21.1**

REGIME TÉRMICO DA REGIÃO III

CTEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MÉDIAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
EÓLICA S. SICÓ	**7.9**	**8.5**	**9.7**	**11.4**	**13.8**	**17.0**	**19.8**	**20.0**	**18.6**	**15.2**	**10.5**	**7.8**	**13.4**

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MINIMAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
EÓLICA S. SICÓ	**4.4**	**4.7**	**5.2**	**6.5**	**8.9**	**11.4**	**13.4**	**13.4**	**12.9**	**10.8**	**6.6**	**4.1**	**8.5**

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DAS MÁXIMAS													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
EÓLICA S. SICÓ	**11.4**	**12.3**	**14.2**	**16.2**	**18.8**	**22.5**	**26.2**	**26.6**	**24.3**	**19.6**	**14.4**	**11.4**	**18.2**

REGIME PLUVIOMÉTRICO REGIÃO I

PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
MONTEMOR-O-VELHO	129	122	107	67	67	36	7	12	40	94	118	115	914
CRASTA ALTA	119	94	100	60	48	25	3	10	33	71	108	97	767
MÉDIA DA REGIÃO I	**124**	**108**	**103**	**63**	**58**	**30**	**5**	**11**	**37**	**83**	**113**	**106**	**840**

MÉDIA MENSAL DO Nº DIAS COM PRECIPITAÇÃO													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
MONTEMOR-O-VELHO	**17**	**13**	**14**	**11**	**10**	**6**	**2**	**4**	**7**	**12**	**15**	**16**	**127**

REGIME PLUVIOMÉTRICO REGIÃO II

PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
COIMBRA	146	139	122	78	80	47	14	16	48	97	123	129	1038
POMBAL	140	114	118	69	68	27	5	12	42	76	124	130	927
MÉDIA DA REGIÃO II	**143**	**127**	**120**	**73**	**74**	**37**	**10**	**14**	**45**	**87**	**124**	**130**	**983**

MÉDIA MENSAL DO Nº DIAS COM PRECIPITAÇÃO													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
COIMBRA	14	12	14	10	10	6	2	4	7	10	13	14	116
POMBAL	14	13	14	10	10	6	1	3	6	10	14	14	115
MÉDIA DA REGIÃO II	**14**	**12.5**	**14**	**10**	**10**	**6**	**1.5**	**3.5**	**6.5**	**10**	**13.5**	**14**	**116**

REGIME PLUVIOMÉTRICO REGIÃO III

PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
LOUSÃ-BOAVISTA	171	181	115	100	116	58	22	21	58	115	128	137	1221
ALVAIÁZERE	82	72	81	52	40	23	6	5	36	60	73	72	601
MÉDIA DA REGIÃO III	**127**	**127**	**98**	**76**	**78**	**40**	**14**	**13**	**47**	**88**	**101**	**104**	**911**

MÉDIA MENSAL DO Nº DIAS COM PRECIPITAÇÃO													
ESTAÇÃO	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
LOUSÃ-BOAVISTA	15	13	11	12	11	8	2	3	9	4	6	3	123
ALVAIÁZERE	14	12	13	9	9	5	1	2	5	9	12	12	103
MÉDIA DA REGIÃO III	**14.5**	**12.5**	**12**	**10.5**	**10**	**6.5**	**1.5**	**2.5**	**7**	**6.5**	**9**	**7.5**	**113**

BALANÇOS HIDRICOS E CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS DE THORNTHWAITE

LATITUDE º: 40,18

MONTEMOR-O-VELHO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
t	**9,8**	**10,4**	**12**	**14,1**	**16**	**18,6**	**19,9**	**19,8**	**19**	**16,2**	**12,1**	**9,7**	**14,8**
i-indice térmico mensais e anual	2,77	3,03	3,76	4,80	5,82	7,31	8,10	8,03	7,55	5,93	3,81	2,73	**63,64**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	1,02	1,11	1,38	1,75	2,12	2,65	2,93	2,91	2,73	2,16	1,39	1,00	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,04	23,24	31,93	33,3	38,44	37,5	39,37	35,4	32,24	28,8	25,73	24,3	
Ep mes	26	26	44	58	81	99	115	103	88	62	36	24	**764**
R mes	**129**	**122**	**107**	**67**	**67**	**36**	**7**	**12**	**40**	**94**	**118**	**115**	**914**
R-Ep	103	96	63	9	-14	-63	-108	-91	-48	32	82	91	**149,999**
A	100	100	100	100	86	22				32	100	100	
acr A					-14	-63	-22			32	68		
S=excesso	103	96	63	9							14	91	**375**
D=deficite							86	91	48				**225**
Er	26	26	44	58	81	99	7	12	40	62	36	24	**516**
Dotação rega					14	63	108	91	48				**325**

verificação: certo

MONTEMOR-O-VELHO

Indice de aridez:	29%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	49%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	31%	**B1**	pouco humido
eficiencia termica	764	**B'2**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	42%	**a'**	nula ou pequena

LATITUDE º: 39,97

CRASTA ALTA	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
t	9,8	10,4	12,7	14,2	15,9	18,3	19,3	19,4	19	17	13	10,2	**14,9333**
i-indice térmico mensais e anual	2,77	3,03	4,10	4,86	5,76	7,13	7,73	7,79	7,55	6,38	4,25	2,94	**64,29**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	1,02	1,11	1,50	1,77	2,10	2,59	2,80	2,82	2,73	2,32	1,55	1,08	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,26	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,14	23,33	31,93	33,3	38,34	37,4	39,16	35,4	32,24	28,8	25,83	24,4	
Ep mes	27	26	48	59	80	97	110	100	88	67	40	26	**767**
R mes	119	94	100	60	48	25	3	10	33	71	108	97	**768**
R-Ep	92	68	52	1	-32	-72	-107	-90	-55	4	68	71	**0,87655**
A	100	100	100	100	68					4	72	100	
acr A					-32	-68				4	68	28	
S=excesso	92	68	52	1								43	**257**
D=deficite						4	107	90	55				**256**
Er	27	26	48	59	80	25	3	10	33	67	40	26	**444**
Dotação rega						72	107	90	55				**323**

verificação: certo

CRASTA ALTA

Indice de aridez:	33%	**s2**	grande deficiencia agua verao
indice humidade:	33%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	13%	**C2**	Subhúmido chuvoso
eficiencia termica	767	**B'2**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	40%	**a'**	nula ou pequena

LATITUDE º: 40,08

MÉDIA REGIÃO I	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
t	9,8	10,4	12,35	14,15	15,95	18,45	19,6	19,6	19	16,6	12,55	9,95	**14,8667**
i-indice térmico mensais e anual	2,77	3,03	3,93	4,83	5,79	7,22	7,91	7,91	7,55	6,15	4,03	2,83	**63,96**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	1,02	1,11	1,44	1,76	2,11	2,62	2,86	2,86	2,73	2,24	1,47	1,04	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,04	23,24	31,93	33,3	38,44	37,5	39,37	35,4	32,24	28,8	25,73	24,3	
Ep mes	26	26	46	59	81	98	113	101	88	64	38	25	**766**
R mes	124	108	103,5	63,5	57,5	30,5	5	11	36,5	82,5	113	106	**841**
R-Ep	98	82	58	5	-23	-68	-108	-90	-52	18	75	81	**75,2175**
A	100	100	100	100	77	9				18	93	100	
acr A					-23	-68	-9			18	75	7	
S=excesso	98	82	58	5								74	**316**
D=deficite							99	90	52				**241**
Er	26	26	46	59	81	98	5	11	37	64	38	25	**516**
Dotação rega					23	68	108	90	52				**341**

verificação: certo

MÉDIA REGIÃO I

Indice de aridez:	31%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	41%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	22%	**B1**	pouco humido
eficiencia termica	766	**B'2**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	41%	**a'**	nula ou pequena

LATITUDE º: 40,2

COIMBRA	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
t	10	10,7	12,4	14,2	16,7	19,4	21,7	21,6	20,4	17,3	12,8	10,2	**15,6167**
i-indice térmico mensais e anual	2,86	3,16	3,96	4,86	6,21	7,79	9,23	9,16	8,41	6,55	4,15	2,94	**69,27**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	1,05	1,16	1,45	1,77	2,26	2,82	3,34	3,31	3,04	2,38	1,52	1,08	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,04	23,24	31,93	33,3	38,44	37,5	39,37	35,4	32,24	28,8	25,73	24,3	
Ep mes	27	27	46	59	87	106	131	117	98	68	39	26	**832**
R mes	146	139	122	78	80	47	14	16	48	97	123	129	**1039**
R-Ep	119	112	76	19	-7	-59	-117	-101	-50	29	84	103	**206,841**
A	100	100	100	100	93	35				29	100	100	
acr A					-7	-59	-35			29	71		
S=excesso	119	112	76	19							13	103	**441**
D=deficite							83	101	50				**234**
Er	27	27	46	59	87	106	14	16	48	68	39	26	**564**
Dotação rega					7	59	117	101	50				**334**

verificação: certo

COIMBRA

Indice de aridez:	28%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	53%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	36%	**B1**	pouco humido
eficiencia termica	832	**B'2**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	43%	**a'**	nula ou pequena

LATITUDE º: 40,06

MÉDIA REGIÃO II	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total

t	10,0	10,7	12,4	14,2	16,7	19,4	21,7	21,6	20,4	17,3	12,8	10,2	**15,6**
i	2,86	3,16	3,96	4,86	6,21	7,79	9,23	9,16	8,41	6,55	4,15	2,94	**69,27**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	1,05	1,16	1,45	1,77	2,26	2,82	3,34	3,31	3,04	2,38	1,52	1,08	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,04	23,24	31,93	33,3	38,44	37,5	39,37	35,4	32,24	28,8	25,73	24,3	
Ep mes	27	27	46	59	87	106	131	117	98	68	39	26	**832**
R mes	143	126,5	120	73,5	74	37	9,5	14	45	86,5	123,5	129,5	**982**
R-Ep	116	100	74	15	-13	-69	-122	-103	-53	18	85	103	**149,841**
A	100	100	100	100	87	19				18	100	100	
acr A					-13	-69	-19			18	82		
S=excesso	116	100	74	15							3	103	**409**
D=deficite							103	103	53				**260**
Er	27	27	46	59	87	106	10	14	45	68	39	26	**554**
Dotação rega					25	69	122	103	53				**372**

verificação: certo

MÉDIA REGIÃO II

Indice de aridez:	31%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	49%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	30%	**B1**	pouco humido
eficiencia termica	832	**B'2**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	43%	**a'**	nula ou pequena

LATITUDE º: 40,13

LOUSÃ-BOAVISTA

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
t	7,9	8,5	9,7	11,4	13,8	17	19,8	20	18,6	15,2	10,5	7,8	**13,35**
i-indice térmico mensais e anual	2,00	2,23	2,73	3,48	4,65	6,38	8,03	8,16	7,31	5,38	3,07	1,96	**55,39**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	0,74	0,82	1,00	1,27	1,70	2,32	2,91	2,95	2,65	1,96	1,13	0,72	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,04	23,24	31,93	33,3	38,44	37,5	39,37	35,4	32,24	28,8	25,73	24,3	
Ep mes	19	19	32	42	65	87	115	105	85	56	29	18	**672**
R mes	171	181	115	100	116	58	22	21	58	115	128	137	**1222**
R-Ep	152	162	83	58	51	-29	-93	-84	-27	59	99	119	**549,797**
A	100	100	100	100	100	71				59	100	100	
acr A						-29	-71			59	41		
S=excesso	152	162	83	58	51						58	119	**682**
D=deficite							21	84	27				**132**
Er	19	19	32	42	65	87	22	21	58	56	29	18	**469**
Dotação rega						29	93	84	27				**232**

verificação: certo

LOUSÃ-BOAVISTA

Indice de aridez:	20%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	101%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	90%	**B4**	muito humido
eficiencia termica	672	**B'1**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	46%	**a'**	nula ou pequena

LATITUDE º: 39,98

MÉDIA REGIÃO III

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
t	7,9	8,5	9,7	11,4	13,8	17,0	19,8	20,0	18,6	15,2	10,5	7,8	**13,4**
i	2,00	2,23	2,73	3,48	4,65	6,38	8,03	8,16	7,31	5,38	3,07	1,96	**55,39**

a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	0,74	0,82	1,00	1,27	1,70	2,32	2,91	2,95	2,65	1,96	1,13	0,72	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,26	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,14	23,33	31,93	33,3	38,34	37,4	39,16	35,4	32,24	28,8	25,83	24,4	
Ep mes	19	19	32	42	65	87	114	105	85	56	29	18	**672**
R mes	126,5	126,5	98	76	78	40,5	14	13	47	87,5	100,5	104,5	**912**
R-Ep	107	107	66	34	13	-46	-100	-92	-38	31	71	87	**240,463**
A	100	100	100	100	100	54				31	100	100	
acr A						-46	-54			31	69		
S=excesso	107	107	66	34	13						2	87	**416**
D=deficite							46	92	38				**176**
Er	19	19	32	42	65	87	14	13	47	56	29	18	**442**
Dotação rega						92	100	92	38				**322**

verificação: certo

MÉDIA REGIÃO III

Indice de aridez:	26%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	62%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	46%	**B2**	moder humido
eficiencia termica	672	**B'1**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	45%	**a'**	nula ou pequena

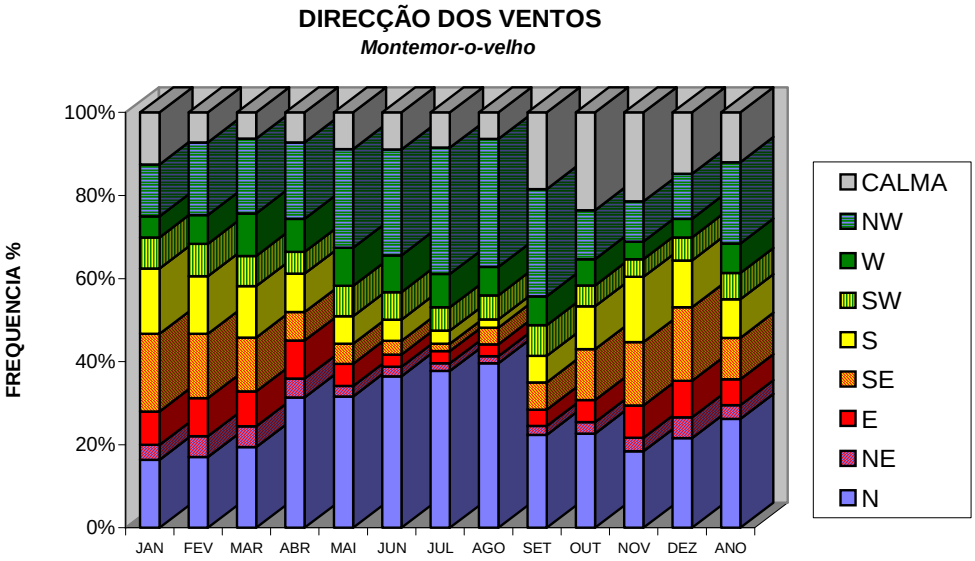
LATITUDE º: 40,04

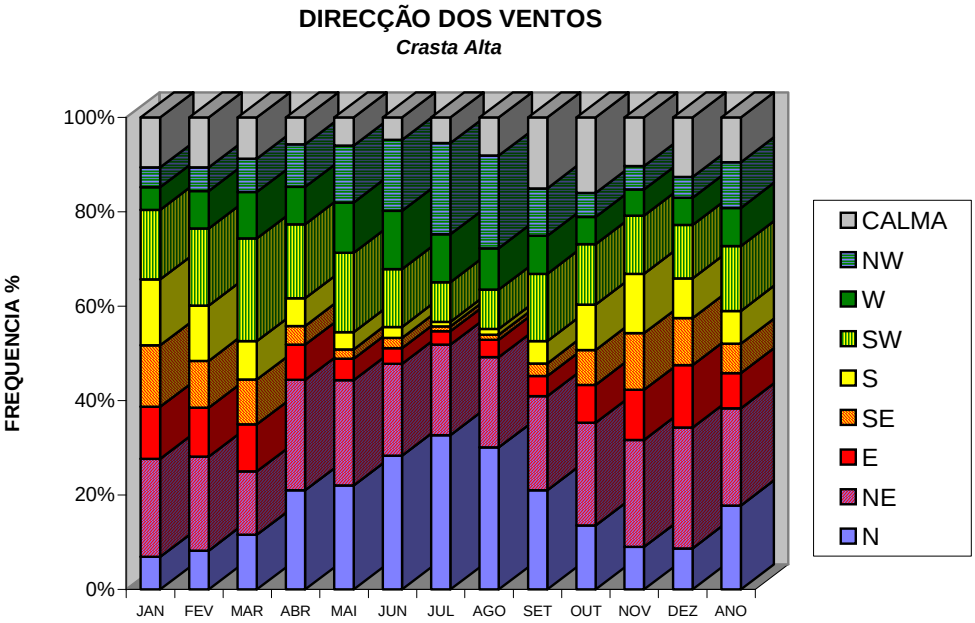
MÉDIA POMBAL	**jan**	**fev**	**mar**	**abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**total**
t	9,2	9,9	11,5	13,3	15,5	18,3	20,4	20,4	19,3	16,4	12,0	9,3	**14,6111**
i	2,53	2,80	3,52	4,37	5,54	7,12	8,38	8,41	7,75	6,02	3,74	2,57	**62,75**
a	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
En dia	0,93	1,03	1,29	1,60	2,01	2,58	3,03	3,04	2,81	2,19	1,37	0,94	
k dia lat 40º	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
K lat 40ºC	26,04	23,24	31,93	33,3	38,44	37,5	39,37	35,4	32,24	28,8	25,73	24,3	
Ep mes	24	24	41	53	77	97	119	108	90	63	35	23	**755**
R mes	131,2	120,3	107,2	71,0	69,8	36,0	9,5	12,7	42,8	85,5	112,3	113,3	**911,667**
R-Ep	107	96	66	18	-8	-61	-110	-95	-48	22	77	90	**156,298**
A	100	100	100	100	92	32				22	100	100	
acr A					-8	-61	-32			22	77	0	
S=excesso	107	96	66	18								90	**377**
D=deficite							78	95	48				**221**
Er	24	24	41	53	77	97	10	13	43	63	35	23	**503**
Dotação rega					15	61	110	95	48				**329**

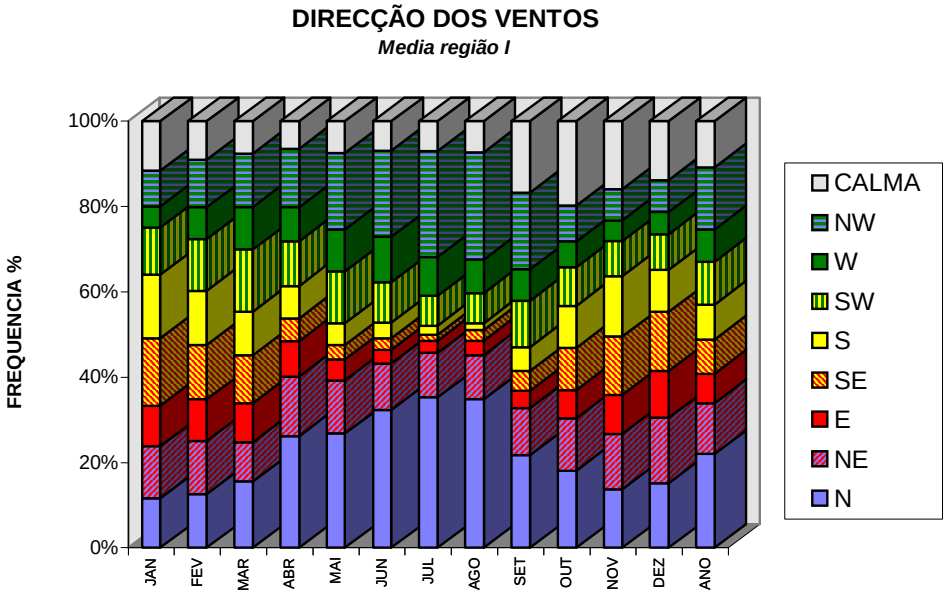
verificação: certo

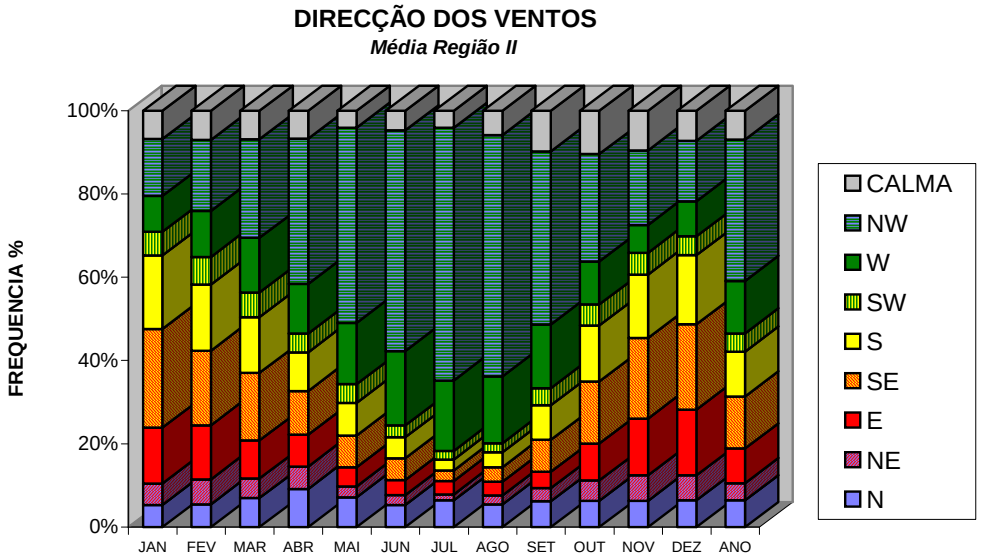
MÉDIA POMBAL

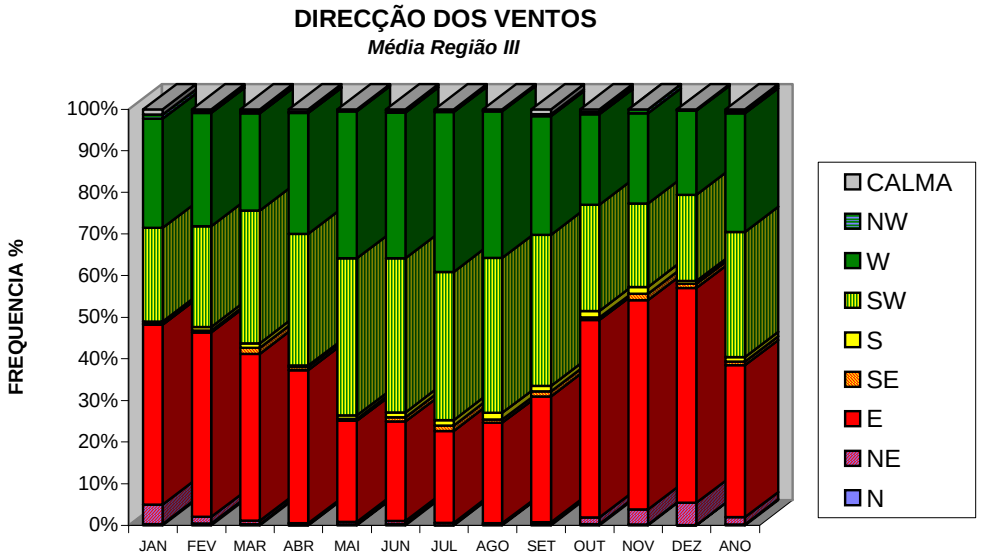
Indice de aridez:	29%	**s**	moderada deficiencia agua verao
indice humidade:	50%	**s2**	grande excesso agua inverno
indice hidrico:	32%	**B1**	pouco humido
eficiencia termica	755	**B'2**	mesotérmico
coef conc eficiencia termica	43%	**a'**	nula ou pequena


DIRECÇÃO DOS VENTOS
Montemor-o-velho
FREQUENCIA %
100%
80%
60%
40%
20%
0%
JAN
FEV
MAR
ABR
MAI
JUN
JUL
AGO
SET
OUT
NOV
DEZ
ANO
CALMA
NW
W
SW
S
SE
E
NE
N


DIRECÇÃO DOS VENTOS
Crasta Alta
FREQUENCIA %
100%
80%
60%
40%
20%
0%
JAN
FEV
MAR
ABR
MAI
JUN
JUL
AGO
SET
OUT
NOV
DEZ
ANO
CALMA
NW
W
SW
S
SE
E
NE
N


DIRECÇÃO DOS VENTOS
Media região I
FREQUENCIA %
100%
80%
60%
40%
20%
0%
JAN
FEV
MAR
ABR
MAI
JUN
JUL
AGO
SET
OUT
NOV
DEZ
ANO
CALMA
NW
W
SW
S
SE
E
NE
N


DIRECÇÃO DOS VENTOS
Média Região II
FREQUENCIA %
100%
80%
60%
40%
20%
0%
JAN
FEV
MAR
ABR
MAI
JUN
JUL
AGO
SET
OUT
NOV
DEZ
ANO
CALMA
NW
W
SW
S
SE
E
NE
N


DIRECÇÃO DOS VENTOS
Média Região III
FREQUENCIA %
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
JAN
FEV
MAR
ABR
MAI
JUN
JUL
AGO
SET
OUT
NOV
DEZ
ANO
CALMA
NW
W
SW
S
SE
E
NE
N

REGIME DE VENTOS DA REGIÃO I

Montemor-o-Velho

	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL	DIRECÇÃO DOMINANTE
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V			
JAN	16.4	9.3	3.6	8.0	8.0	8.3	18.7	9.3	15.7	15.3	7.5	14.4	5.1	12.7	12.5	11.7	12.5	9.8	SE
FEV	17.0	10.8	5.0	10.5	9.2	9.2	15.5	10.6	13.9	18.0	7.8	13.3	6.9	12.8	17.5	12.1	7.2	11.4	NW
MAR	19.4	13.3	5.0	11.4	8.4	8.6	13.0	8.5	12.4	16.8	7.3	14.3	10.2	11.3	18.0	12.8	6.3	11.6	N
ABR	31.4	16.5	4.5	10.1	9.2	8.7	6.8	9.2	9.3	13.5	5.2	13.1	8.0	10.6	18.4	15.1	7.2	12.6	N
MAI	31.6	15.4	2.6	10.4	5.3	8.1	4.8	8.1	6.6	13.1	7.4	14.8	9.1	10.1	23.8	15.0	8.8	12.4	N
JUN	36.5	17.2	2.3	8.4	3.0	6.7	3.3	8.3	5.1	10.6	6.6	9.6	8.9	9.6	25.5	12.8	8.9	12.2	N
JUL	37.8	13.9	1.8	8.0	2.9	9.3	1.8	4.6	3.2	8.2	5.6	9.7	8.0	8.0	30.4	12.8	8.5	11.1	N
AGO	39.6	15.2	1.7	9.1	2.9	8.0	4.0	6.1	2.0	5.9	5.8	10.1	6.8	7.7	30.8	12.7	6.4	11.8	N
SET	22.4	11.7	2.2	8.2	3.9	6.1	6.6	7.3	6.4	10.8	7.4	9.5	6.9	7.5	25.9	10.7	18.4	8.2	NW
OUT	22.7	9.5	2.7	7.7	5.4	7.0	12.2	8.0	10.3	11.0	5.1	10.2	6.3	6.9	11.8	10.0	23.5	7.0	N
NOV	18.4	8.5	3.3	7.3	7.8	6.0	15.2	7.5	15.7	14.9	4.3	12.7	4.2	9.3	9.7	10.7	21.4	7.7	N
DEZ	21.6	8.3	5.0	6.6	8.8	7.8	17.7	9.5	11.3	14.6	5.5	13.2	4.5	11.1	10.8	9.6	14.8	8.4	N
ANO	**26.2**	**12.5**	**3.3**	**8.8**	**6.2**	**7.8**	**10.0**	**8.1**	**9.3**	**12.7**	**6.3**	**12.1**	**7.1**	**9.8**	**19.6**	**12.2**	**12.0**	**9.9**	**N**

F = Frequência da direcção (%)
V = Velocidade média para cada direcção (Km/hora)

REGIME DE VENTOS DA REGIÃO I

Crasta Alta

	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL	DIRECÇAÕ DOMINANTE
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V			
JAN	6.9	8.5	20.8	7.2	11.0	7.7	13.0	7.1	14.0	6.5	14.7	11.5	4.8	11.8	4.2	10.6	10.6	7.5	NE
FEV	8.2	7.7	19.9	9.1	10.4	7.3	9.9	5.8	11.7	8.4	16.4	13.1	7.9	16.4	5.0	12.2	10.6	8.8	NE
MAR	11.6	10.0	13.4	11.5	10.0	7.7	9.5	6.7	8.1	7.0	21.8	12.4	9.8	11.1	7.1	9.8	8.7	9.2	SW
ABR	21.0	13.5	23.4	12.6	7.4	9.2	4.0	6.0	5.9	6.3	15.7	10.6	7.9	8.6	9.0	9.8	5.7	10.3	NE
MAI	22.0	13.8	22.3	13.1	4.6	9.6	2.0	6.4	3.6	6.6	16.8	11.1	10.7	8.0	12.0	8.3	6.0	10.5	NE
JUN	28.3	12.6	19.5	11.6	3.3	6.7	2.2	6.2	2.3	6.2	12.3	10.7	12.3	7.8	15.0	7.9	4.8	9.8	N
JUL	32.7	12.3	19.1	11.5	2.9	6.3	1.0	5.8	1.0	8.3	8.4	7.5	10.1	7.1	19.4	8.0	5.4	9.4	N
AGO	30.1	12.3	19.1	12.4	3.7	8.9	1.0	7.1	1.3	4.9	8.3	8.0	8.8	6.6	19.6	8.5	8.1	9.4	N
SET	21.0	8.4	19.9	8.4	4.3	6.1	2.7	4.2	4.7	7.6	14.3	8.2	8.0	5.9	10.1	5.8	15.0	6.4	N
OUT	13.5	7.4	21.8	8.2	8.0	5.9	7.4	5.6	9.6	5.3	12.8	6.8	5.8	8.5	5.1	6.8	16.0	5.9	NE
NOV	9.0	9.7	22.7	7.2	10.6	6.3	12.0	6.7	12.6	7.7	12.3	13.2	5.5	12.5	5.0	11.0	10.3	7.8	NE
DEZ	8.7	10.4	25.6	6.8	13.2	5.6	10.0	6.4	8.4	5.8	11.3	11.8	5.8	14.4	4.4	10.4	12.6	7.1	NE
ANO	**17.8**	**10.6**	**20.6**	**10.0**	**7.5**	**7.3**	**6.2**	**6.2**	**6.9**	**6.7**	**13.8**	**10.4**	**8.1**	**9.9**	**9.7**	**9.1**	**9.5**	**8.4**	**NE**

F = Frequência da direcção (%)
V = Velocidade média para cada direcção (Km/hora)

REGIME DE VENTOS DA REGIÃO I

Média da Região I

	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL	DIRECÇAÕ DOMINANTE
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V			
JAN	11.7	8.9	12.2	7.6	9.5	8.0	15.9	8.2	14.9	10.9	11.1	13.0	5.0	12.3	8.4	11.2	11.6	8.6	SE
FEV	12.6	9.3	12.5	9.8	9.8	8.3	12.7	8.2	12.8	13.2	12.1	13.2	7.4	14.6	11.3	12.2	8.9	10.0	S
MAR	15.5	11.7	9.2	11.5	9.2	8.2	11.3	7.6	10.3	11.9	14.6	13.4	10.0	11.2	12.6	11.3	7.5	10.2	N
ABR	26.2	15.0	14.0	11.4	8.3	9.0	5.4	7.6	7.6	9.9	10.5	11.9	8.0	9.6	13.7	12.5	6.5	11.1	N
MAI	26.8	14.6	12.5	11.8	5.0	8.9	3.4	7.3	5.1	9.9	12.1	13.0	9.9	9.1	17.9	11.7	7.4	11.1	N
JUN	32.4	14.9	10.9	10.0	3.2	6.7	2.8	7.3	3.7	8.4	9.5	10.2	10.6	8.7	20.3	10.4	6.9	10.6	N
JUL	35.3	13.1	10.5	9.8	2.9	7.8	1.4	5.2	2.1	8.3	7.0	8.6	9.1	7.6	24.9	10.4	7.0	10.0	N
AGO	34.9	13.8	10.4	10.8	3.3	8.5	2.5	6.6	1.7	5.4	7.1	9.1	7.8	7.2	25.2	10.6	7.3	10.3	N
SET	21.7	10.1	11.0	8.3	4.1	6.1	4.6	5.8	5.5	9.2	10.9	8.9	7.4	6.7	18.0	8.3	16.7	7.1	N
OUT	18.1	8.5	12.3	8.0	6.7	6.5	9.8	6.8	10.0	8.2	9.0	8.5	6.1	7.7	8.5	8.4	19.8	6.3	N
NOV	13.7	9.1	13.0	7.3	9.2	6.2	13.6	7.1	14.2	11.3	8.3	13.0	4.9	10.9	7.4	10.9	15.9	7.7	S
DEZ	15.2	9.4	15.3	6.7	11.0	6.7	13.9	8.0	9.9	10.2	8.4	12.5	5.2	12.8	7.6	10.0	13.7	7.8	N
ANO	**22.0**	**11.5**	**12.0**	**9.4**	**6.8**	**7.5**	**8.1**	**7.1**	**8.1**	**9.7**	**10.0**	**11.2**	**7.6**	**9.8**	**14.6**	**10.6**	**10.7**	**9.0**	**N**

F = Frequência da direcção (%)
V = Velocidade média para cada direcção (Km/hora)

REGIME DE VENTOS DA REGIÃO II

Coimbra

	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL	DIRECÇAÕ DOMINANTE
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V			
JAN	5.4	7.6	5.1	10.9	13.4	14.8	23.7	13.4	17.6	12.9	5.7	9.3	8.6	9.3	13.7	9.6	6.8	11.0	SE
FEV	5.5	8.5	6.0	11.4	13.0	15.6	17.8	14.6	15.9	13.2	6.6	10.6	11.0	10.2	17.1	9.6	7.0	11.3	SE
MAR	7.0	9.7	4.7	13.6	9.1	16.3	16.2	13.9	13.4	12.3	5.9	9.9	13.1	9.4	23.7	9.6	6.8	10.8	NW
ABR	9.2	10.0	5.3	13.1	7.7	14.5	10.4	11.4	9.3	12.2	4.5	8.4	11.9	9.0	34.8	10.9	6.7	10.3	NW
MAI	7.2	9.6	2.6	10.7	4.6	13.4	7.6	10.8	7.9	10.7	4.5	7.9	14.7	9.2	46.9	11.1	4.1	10.2	NW
JUN	5.4	10.1	2.3	11.2	3.7	11.8	5.2	9.5	5.0	10.4	2.9	8.7	17.8	9.1	53.1	10.9	4.7	9.9	NW
JUL	6.5	9.4	1.4	9.1	3.2	11.9	2.5	7.8	2.7	8.1	2.0	5.4	16.9	9.0	60.7	11.2	4.1	10.0	NW
AGO	5.5	9.2	2.1	11.5	3.3	13.4	3.5	9.0	3.6	7.9	2.2	4.7	16.0	9.0	58.1	11.0	5.8	9.7	NW
SET	6.2	8.2	3.2	8.5	3.9	10.6	7.7	9.7	8.3	10.2	4.1	6.9	15.3	8.4	41.5	9.3	9.8	8.2	NW
OUT	6.3	7.5	4.9	10.4	8.9	11.2	14.9	11.9	13.5	12.0	5.0	7.2	10.3	7.6	25.8	8.4	10.4	8.7	NW
NOV	6.3	7.8	6.2	11.8	13.6	13.5	19.3	13.9	15.3	12.4	5.2	8.2	6.7	7.5	17.9	9.0	9.5	10.2	SE
DEZ	6.5	7.5	6.0	10.8	15.8	13.9	20.5	11.6	16.6	12.9	4.5	9.3	8.4	8.3	14.6	9.0	7.2	10.3	SE
ANO	**6.4**	**8.8**	**4.2**	**11.1**	**8.4**	**13.4**	**12.4**	**11.5**	**10.8**	**11.3**	**4.4**	**8.0**	**12.6**	**8.8**	**34.0**	**10.0**	**6.9**	**9.6**	**NW**

F = Frequência da direcção (%)
V = Velocidade média para cada direcção (Km/hora)

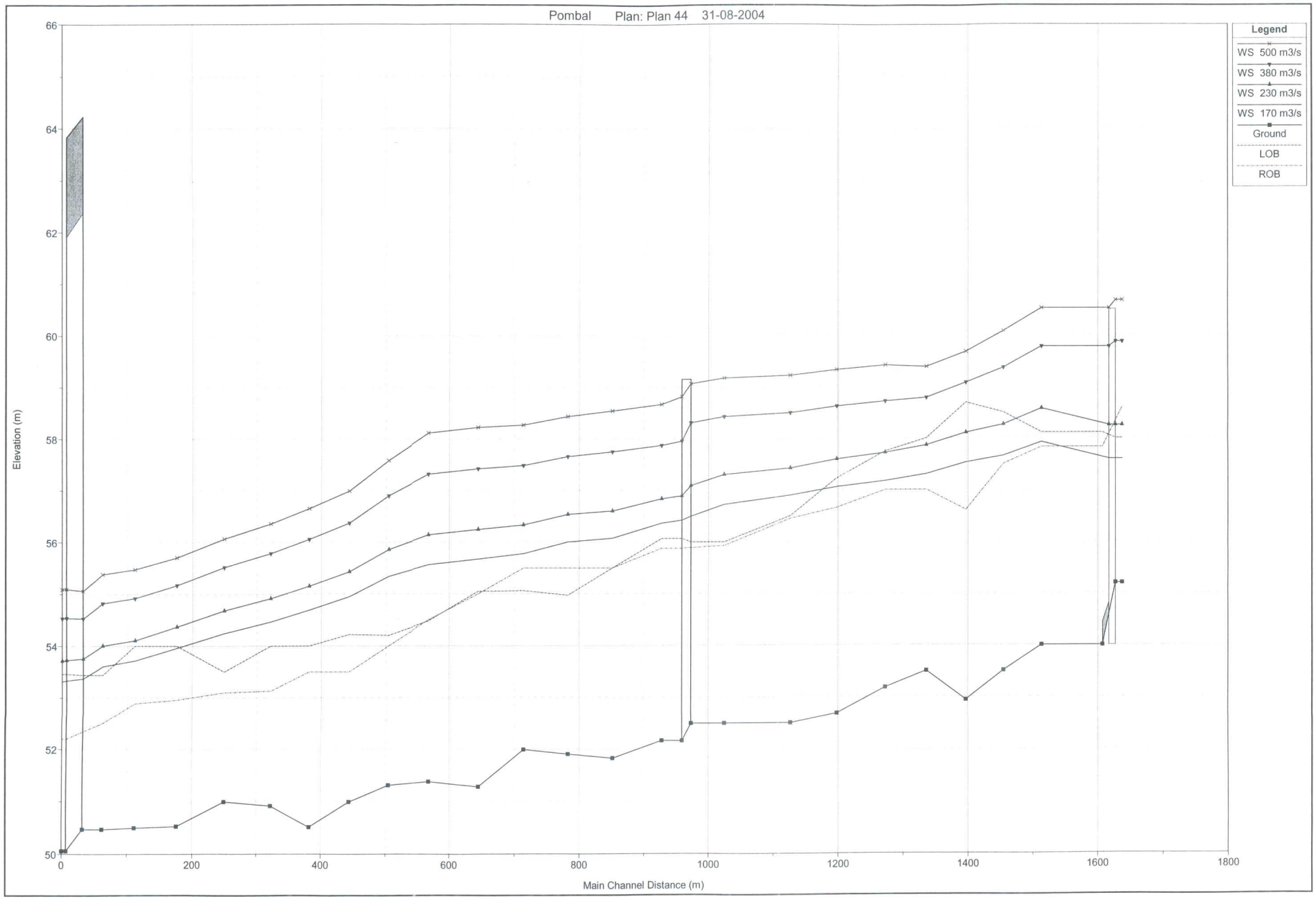
REGIME DE VENTOS DA REGIÃO III

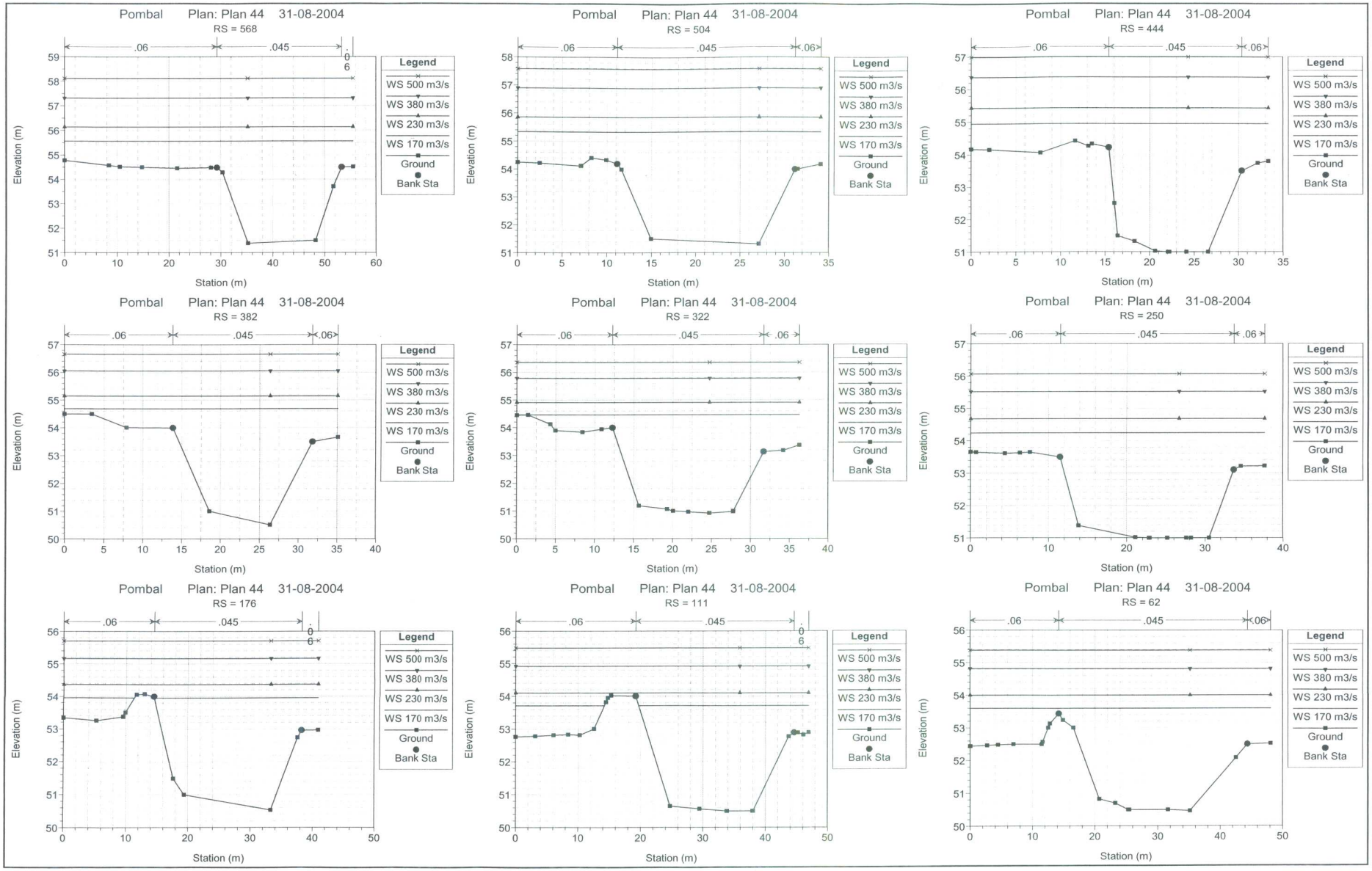
EÓLICA SERRA DA SICÓ

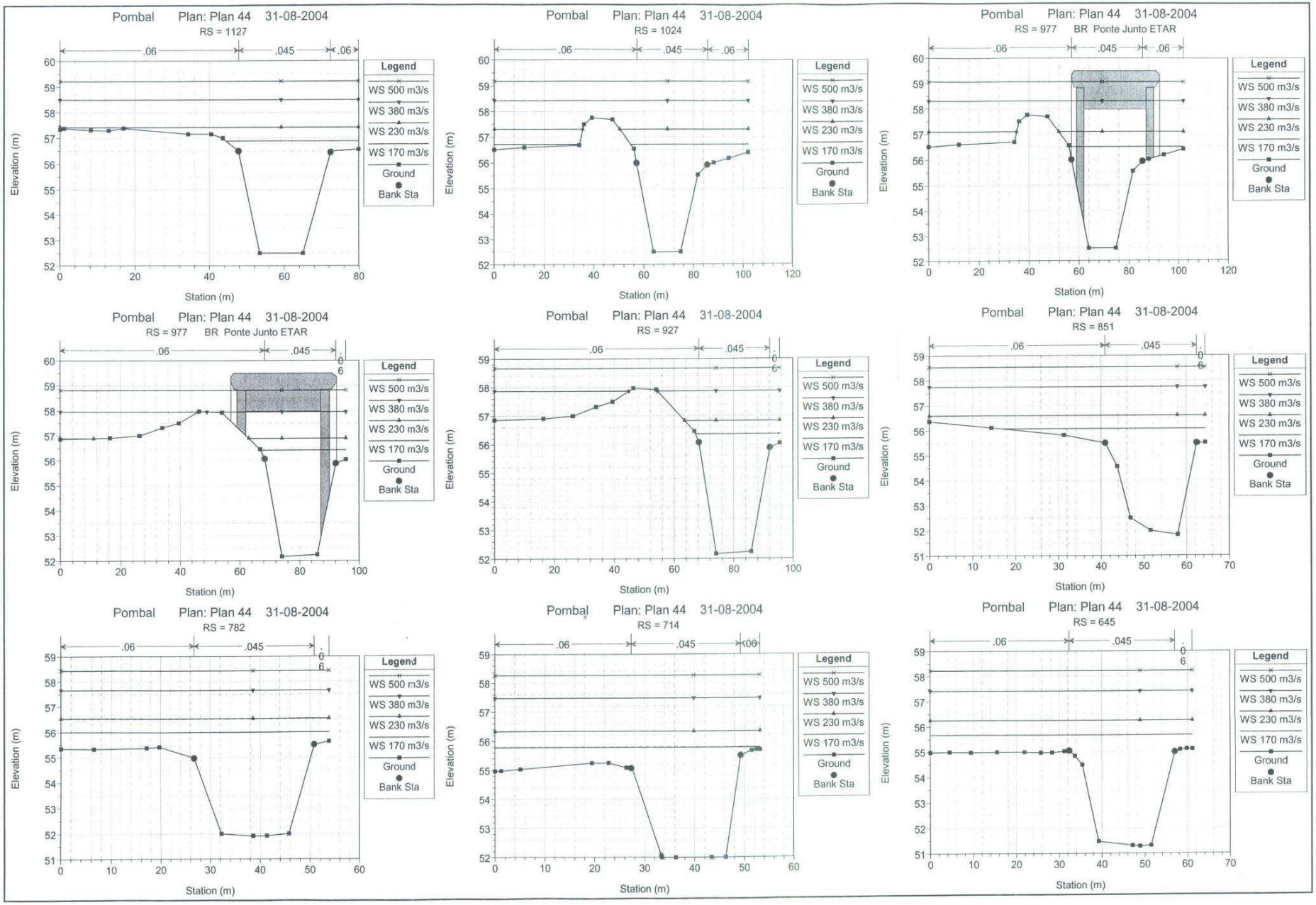
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	VELOCIDADE MÉDIA MENSAL	DIRECÇAÕ DOMINANTE
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V			
JAN	0.3	7.3	4.7	6.1	43.2	11.1	0.2	3.0	0.6	7.2	22.5	9.3	26.2	9.6	1.0	6.1	1.3	9.8	E
FEV	0.4	7.0	1.6	4.7	44.4	12.1	0.4	9.2	0.9	10.8	24.2	8.8	27.2	9.5	0.5	9.0	0.4	10.4	E
MAR	0.3	2.0	0.8	9.0	40.1	10.2	1.4	6.3	1.1	6.2	31.9	7.8	23.4	7.4	0.5	6.5	0.5	8.6	E
ABR	0.0	0.0	0.5	4.5	36.8	8.4	0.8	7.6	0.3	5.3	31.6	8.2	29.1	7.6	0.2	3.5	0.7	8.0	E
MAI	0.2	4.0	0.6	5.3	24.3	8.1	0.5	6.0	0.8	6.6	37.8	8.1	35.3	7.6	0.2	3.0	0.3	7.8	SW
JUN	0.3	5.0	0.7	3.0	23.9	9.0	1.0	7.7	1.2	7.9	37.1	8.1	35.0	7.2	0.5	5.6	0.3	7.9	SW
JUL	0.0	0.0	0.6	4.5	22.1	8.5	1.3	6.4	1.3	5.7	35.6	8.7	38.4	7.6	0.2	9.0	0.5	8.1	W
AGO	0.2	3.0	0.3	4.5	24.1	7.8	0.8	6.9	1.6	7.8	37.3	8.4	35.2	7.2	0.2	6.0	0.3	7.8	SW
SET	0.3	3.7	0.4	3.2	30.3	7.6	1.2	6.4	1.3	4.9	36.3	7.6	28.5	5.8	0.5	5.4	1.2	6.9	SW
OUT	0.3	5.0	1.6	5.4	47.4	11.0	0.6	8.2	1.6	6.2	25.5	7.1	21.8	6.0	0.5	4.4	0.7	8.6	E
NOV	0.2	3.0	3.6	3.7	50.3	10.0	1.5	5.8	1.7	5.6	20.0	6.7	21.7	7.2	1.0	4.8	0.0	8.3	E
DEZ	0.1	3.0	5.3	7.8	51.6	9.3	1.0	5.9	0.7	6.5	20.7	7.4	20.2	8.3	0.2	4.5	0.2	8.5	E
ANO	0.2	3.6	1.7	5.1	36.5	9.4	0.9	6.6	1.1	6.7	30.0	8.0	28.5	7.6	0.5	5.7	0.5	8.3	E

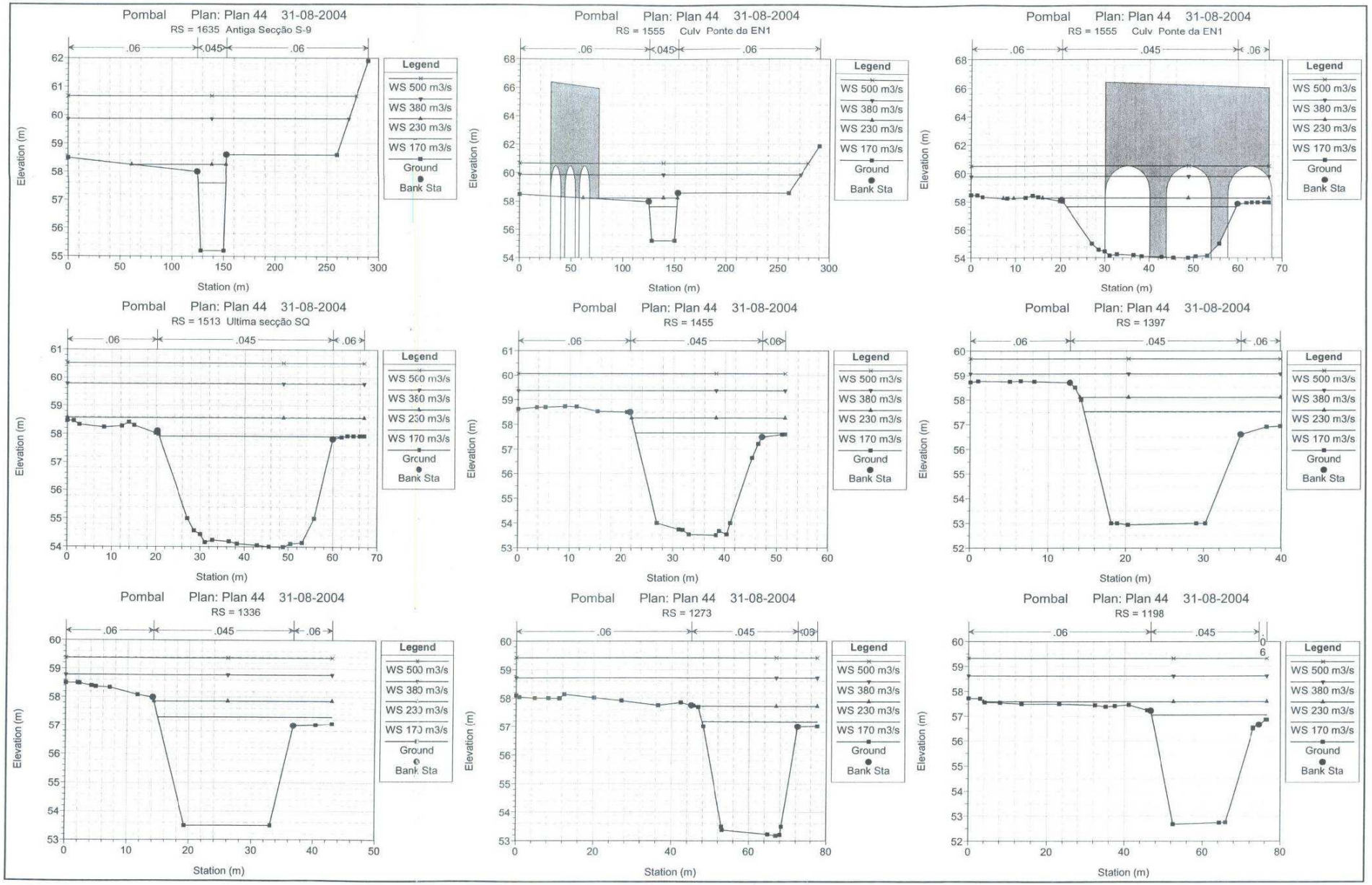
F = Frequência da direcção (%)
V = Velocidade média para cada direcção (Km/hora)

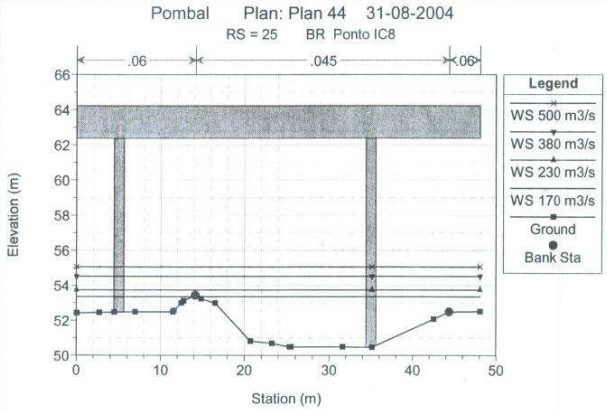
HEC-RAS

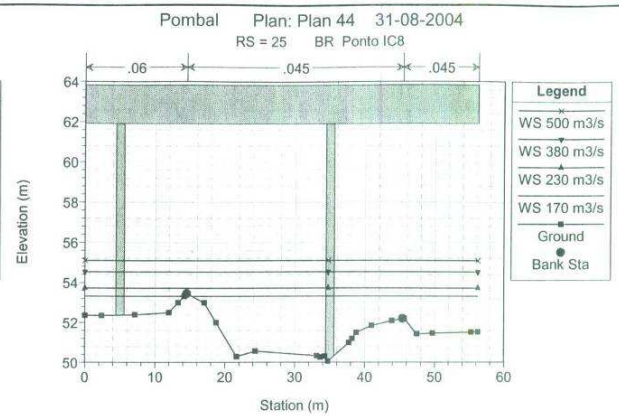

Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
66
64
62
60
58
56
54
52
50
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
Main Channel Distance (m)

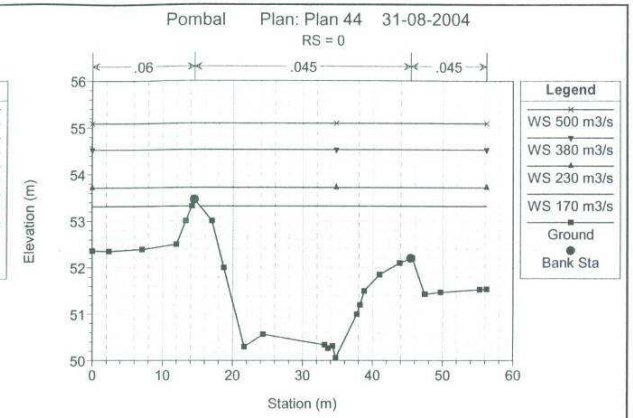

Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
RS = 568
RS = 504
RS = 444
RS = 382
RS = 322
RS = 250
RS = 176
RS = 111
RS = 62
.06
.045
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
RS = 1127
RS = 1024
RS = 977 BR Ponte Junto ETAR
RS = 977 BR Ponte Junto ETAR
RS = 927
RS = 851
RS = 782
RS = 714
RS = 645
.06
.045
.06
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
RS = 1635 Antiga Secção S-9
RS = 1555 Culv Ponte da EN1
RS = 1555 Culv Ponte da EN1
RS = 1513 Ultima secção SQ
RS = 1455
RS = 1397
RS = 1336
RS = 1273
RS = 1198
.06
.045
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
RS = 25 BR Ponto IC8
.06
.045
.06
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
RS = 25 BR Ponto IC8
.06
.045
.045
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Pombal Plan: Plan 44 31-08-2004
RS = 0
.06
.045
.045
Legend
WS 500 m3/s
WS 380 m3/s
WS 230 m3/s
WS 170 m3/s
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)