



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Departamento de Ciências da Terra

**CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS A PARTIR DO MÉTODO DE RECONSTITUIÇÃO
HIDROGEOMORFOLÓGICA E DO MÉTODO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO.**

ESTUDO COMPARATIVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARUNCA.

Pedro Manuel Pinto dos Santos

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre em Geociências, área de Ambiente e Ordenamento do Território

Orientador científico

Ana Isabel Albuquerque Soares Saraiva de Andrade, Professora Auxiliar, FCTUC

Co-orientador científico

Alexandre Manuel de Oliveira Soares Tavares, Professor Auxiliar, FCTUC

Coimbra, Julho de 2009

Agradecimentos

Aos orientadores, Professora Ana Isabel Andrade e Professor Alexandre Tavares, pela sábia orientação científica, incentivo e amizade.

À Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, na pessoa da Eng^a Cristina Seabra, ao Município de Soure, na pessoa do Arq.^{to} Rui Fernandes e ao Município de Pombal, na pessoa do Dr. Armando Ferreira, pelo apoio e cedência de dados.

À Corporação de Bombeiros Voluntários de Soure e à Corporação de Bombeiros Voluntários de Pombal pela colaboração no esclarecimento de dúvidas e disponibilização de informação estatística relativa à problemática das cheias e inundações na área em estudo.

A todas as pessoas que, residindo ou trabalhando na área da bacia hidrográfica do rio Arunca, me prestaram a imprescindível ajuda no trabalho de campo, com um agradecimento particular ao Sr. Manuel Franja, de Lagares, que me desatolou o carro com a ajuda do seu tractor. Apenas um dos muitos testemunhos de gratuidade e simpatia que tive o privilégio de vivenciar.

Aos pais, irmãos, cunhada e todos os amig@s agradeço todo o apoio, carinho e paciência.

Resumo

O assunto central da presente tese é o estudo comparativo entre duas metodologias utilizadas na definição de áreas inundáveis: o método de reconstituição hidrogeomorfológica e o método hidrológico-hidráulico. Utiliza-se como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Arunca, afluente do rio Mondego, Região Centro de Portugal, para a qual se obtém a cartografia das áreas inundáveis correspondentes à cheia actual e cheia histórica – através do método de reconstituição hidrogeomorfológica – e à cheia centenária – através do método hidrológico-hidráulico, com recurso ao programa HEC-RAS.

A representação cartográfica de áreas inundáveis obtida para esta bacia hidrográfica, para além de permitir a comparação entre os dois métodos, constitui por si só um resultado de elevado interesse ao nível no Ordenamento do Território.

Este estudo iniciou-se com a caracterização física e humana da área da bacia, não apenas como uma fonte de dados para a aplicação dos dois métodos, mas também como contributo para o conhecimento desta área geográfica ainda pouco estudada ao nível da unidade hidrográfica (bacia e sub-bacias).

O método de reconstituição hidrogeomorfológica baseia-se no estudo de evidências passadas que testemunham a ocorrência de cheias/inundações. Foram recolhidas evidências de origem geomorfológica, sedimentológica e biológica, bem como registos epigráficos e orais (por aplicação de questionários). O método hidrológico-hidráulico baseia-se na execução de modelações hidráulicas de circulação de caudais em lâmina livre, para as quais se necessita de dois tipos principais de dados: dados hidrológicos de escoamento e dados geométricos relativos ao troço fluvial a modelar.

Relativamente a cada método, refere-se o material e dados necessários e o processo para a sua aplicação.

A cartografia de áreas inundáveis obtida pela aplicação de cada um dos métodos é comparada, sendo propostas explicações para as semelhanças e diferenças verificadas. Estas explicações baseiam-se na forma como os dados de entrada (v.g., a morfologia e a ocupação do solo no plano aluvial) influenciam os resultados obtidos. Em particular, identifica-se como origem para as maiores diferenças verificadas na cartografia de áreas inundáveis, o facto de os resultados obtidos pelo método hidrológico-hidráulico serem particularmente sensíveis e reactivos à artificialização e modificação do leito maior dos cursos de água, o mesmo não se verificando no método de reconstituição hidrogeomorfológica.

Como nota final é sublinhada a forte relação de complementaridade entre os dois métodos, no sentido em que as suas diferenças metodológicas permitem uma diferente e complementar compreensão dos processos hidrológicos e hidráulicos que ocorrem numa situação de cheia/inundação.

Palavras-chave: áreas inundáveis, cheias/inundações, rio Arunca, método de reconstituição hidrogeomorfológica, método hidrológico-hidráulico.

Abstract

The central issue of the current thesis is the comparative study of two methodologies used in flood hazard delineation: the hydrogeomorphologic reconstitution method and the hydrologic-hydraulic method. The Arunca's river basin, a Mondego's river tributary, in Central Portugal is used as study area. For this basin the flood-prone area mapping equivalent to the historic and present flood, is obtained via the hydrogeomorphologic reconstitution method; and to the 100-year flood, via the hydrologic-hydraulic method, using the HEC-RAS software.

The interest and usefulness of the obtained cartographic delineation of flood-prone areas for this watershed is not confined to the main goal of comparing both methods, given its high relevance and applicability to land use planning.

This study is initiated with the physical and human basin's characterization, not only as a data source useful for the application of the two previously mentioned methods, but also as a relevant contribution to the knowledge of this basin at its natural hydrographic division (basin and sub-basins).

The hydrogeomorphologic reconstitution method is based on the study of evidences that document past flood/inundation events. For the application of this method, geomorphologic, sedimentologic and biologic evidences were collected, as well as epigraphic and oral records. On the other hand the hydrologic-hydraulic method is based on the application of hydraulic models for steady and unidirectional river flows. For this modeling, two main types of fluvial section data are used as inputs: flow and geometric data.

For each method the required material and input data are identified, and their application process is described.

The flood-prone area delineation obtained by each method is compared, and explanations for both differences and similarities are proposed. These explanations are based on the different types and/or usage of input data (v.g., floodplain's morphology and land use) by each method and their impact on the achieved results.

In particular, the fact that the hydrologic-hydraulic method results are more sensitive and reactive to the floodplain anthropic-induced transformations is pointed out as the cause for the major differences observed in the flood-prone area mappings obtained by this method and the hydrogeomorphologic reconstitution. The same sensitiveness and responsiveness are not present in the later method.

As a final note, it is stressed the strong complementary relation between these two methods, given that their methodological approaches allow a complementary and different understanding of hydrologic and hydraulic processes that occur in flood/inundation events.

Keywords: flood-prone areas, flood/inundation, Arunca river, hydrogeomorphologic reconstitution method, hydrologic-hydraulic method.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	1
1.2. ÁREA DE ESTUDO	5
1.3. OBJECTIVOS.....	6
2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARUNCA	7
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	7
2.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA	8
2.2.1. <i>Hipsometria</i>	8
2.2.2. <i>Declives</i>	10
2.2.3. <i>Exposições</i>	12
2.2.4. <i>Unidades morfo-estruturais</i>	13
2.2.4.1. Serras e planaltos calcários	13
2.2.4.2. Colinas gresosas.....	15
2.2.4.3. Diapiro de Soure	15
2.2.4.4. Planície Aluvial	15
2.3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E ESTRUTURAL	16
2.3.1. <i>Enquadramento geológico</i>	16
2.3.2. <i>Litologia</i>	16
2.3.3. <i>Tectónica</i>	23
2.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	24
2.4.1. <i>Enquadramento climático</i>	24
2.4.2. <i>Dados meteorológicos disponíveis</i>	25
2.4.3. <i>Precipitação</i>	27
2.4.3.1. Precipitação anual e mensal média	27
2.4.3.2. Precipitação diária máxima anual	29
2.4.4. <i>Temperatura</i>	31
2.4.5. <i>Balanço hídrico</i>	33
2.5. CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA.....	35
2.5.1. <i>Parâmetros morfométricos e de extensão</i>	35
2.5.1.1. Parâmetros de forma	35
2.5.1.2. Parâmetros descritivos do relevo	36

2.5.2.	<i>Parâmetros de caracterização da rede de drenagem</i>	36
2.5.3.	<i>Principais cursos de água</i>	41
2.5.4.	<i>Regime de escoamento</i>	43
2.6.	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	45
2.7.	USO DO SOLO	48
2.7.1.	<i>Sector a jusante de Soure</i>	51
2.7.2.	<i>Sector entre Soure e Pombal</i>	51
2.7.3.	<i>Sector a montante de Pombal</i>	51
2.8.	OCUPAÇÃO HUMANA	52
2.8.1.	<i>Demografia</i>	52
2.8.2.	<i>Actividades económicas</i>	53
3.	METODOLOGIA APLICADA	57
3.1.	MÉTODO DE RECONSTITUIÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA.....	58
3.1.1.	<i>Levantamentos de reconstituição paleo-hidrogeomorfológica</i>	60
3.1.2.	<i>Inquirição à população</i>	60
3.2.	MÉTODO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO.....	63
3.2.1.	<i>Preparação dos dados</i>	65
3.2.1.1.	<i>Cálculo do caudal de ponta de cheia</i>	65
3.2.1.2.	<i>Definição das características geométricas e hidráulicas do canal a modelar</i>	67
3.2.2.	<i>Modelação hidráulica</i>	70
3.2.2.1.	<i>Ajuste e completagem dos dados geométricos</i>	70
3.2.2.2.	<i>Definição dos dados de escoamento</i>	70
3.2.2.3.	<i>Definição do plano geral da modelação hidráulica</i>	71
3.2.2.4.	<i>Execução e validação da modelação hidráulica</i>	71
3.2.3.	<i>Análise e visualização dos resultados</i>	72
4.	RESULTADOS	73
4.1.	MÉTODO DE RECONSTITUIÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA.....	73
4.1.1.	<i>Análise dos resultados dos questionários</i>	73
4.1.1.1.	<i>Enquadramento da linha de água</i>	73
4.1.1.2.	<i>Dinâmica hídrica</i>	74
4.1.1.3.	<i>Características epigráficas das cheias/inundações</i>	75
4.1.1.4.	<i>Causas directas e indirectas atribuídas pela população às cheias e inundações</i>	77
4.1.1.5.	<i>Evidências locais para as dificuldades de escoamento</i>	78
4.1.1.6.	<i>Elementos expostos a cheias/inundações ou a deficiente drenagem superficial</i>	79
4.1.2.	<i>Cartografia de áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento</i>	80

4.1.2.1.	Sector a montante de Pombal	81
4.1.2.2.	Sector entre Soure e Pombal	84
4.1.2.3.	Sector a jusante de Soure	88
4.2.	MÉTODO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO	91
4.2.1.	Secção A (<i>Ponte de Vermoil/Pinhete</i>)	92
4.2.1.1.	Dados de escoamento	92
4.2.1.2.	Dados geométricos	94
4.2.1.3.	Resultados.....	95
4.2.2.	Secção B (<i>Pombal</i>)	96
4.2.2.1.	Dados de escoamento	96
4.2.2.2.	Dados geométricos	99
4.2.2.3.	Resultados.....	100
4.2.3.	Secção C (<i>Soure</i>).....	101
4.2.3.1.	Dados de escoamento	101
4.2.3.2.	Dados geométricos	104
4.2.3.3.	Resultados.....	105
4.2.4.	Secção D (<i>Ponte Mocate /Vila Nova de Anços</i>)	107
4.2.4.1.	Dados de escoamento	107
4.2.4.2.	Dados geométricos	111
4.2.4.3.	Resultados.....	112
5.	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	115
5.1.	SECÇÃO A (PONTE DE VERMOIL/PINHETE).....	115
5.2.	SECÇÃO B (POMBAL)	116
5.3.	SECÇÃO C (SOURE).....	119
5.4.	SECÇÃO D (PONTE MOCATE/VILA NOVA DE ANÇOS).....	122
6.	CONCLUSÕES	125
6.1.	DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARUNCA	125
6.2.	DOS MÉTODOS DE DEFINIÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS APLICADOS	126
6.3.	DA CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS	127
6.4.	DOS TRABALHOS FUTUROS NESTA ÁREA DO CONHECIMENTO	129
7.	BIBLIOGRAFIA	131
8.	ANEXOS.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1-1 - Frequência relativa dos vários tipos de desastres naturais no mundo no período 1991-2005.	3
Figura 2.1-1 - Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do rio Arunca.	7
Figura 2.2-1 - Hipsometria na área da bacia hidrográfica do rio Arunca.	9
Figura 2.2-2 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Arunca.	10
Figura 2.2-3 - Mapa de declives da bacia hidrográfica do rio Arunca.	11
Figura 2.2-4 - Exposições na bacia hidrográfica do rio Arunca.	12
Figura 2.2-5 - Principais unidades morfo-estruturais na bacia hidrográfica do rio Arunca.	14
Figura 2.3-1 - Mapa litológico na área da bacia hidrográfica do rio Arunca.	17
Figura 2.3-2 - Enquadramento regional das principais famílias de fracturas na área da BHA.	23
Figura 2.4-1 - Localização das estações seleccionadas para a caracterização climática da BHA.	25
Figura 2.4-2 - Precipitação anual média na bacia hidrográfica do rio Arunca.	28
Figura 2.4-3 - Precipitação mensal média nas quatro estações udográficas localizadas na área da BHA.	28
Figura 2.4-4 - Temperatura média anual no período 1931-60 (informação zonal) e temperatura média anual obtida por análise das estações com dados mais recentes e disponíveis (informação pontual).	32
Figura 2.4-5 - Balanço hídrico ao nível do solo na BHA.	34
Figura 2.5-1 - Densidade de drenagem na BHA.	37
Figura 2.5-2 - Padrões de drenagem típicos da BHA.	39
Figura 2.5-3 - Hierarquia fluvial segundo o método de Horton na BHA.	40
Figura 2.5-4 - Perfil longitudinal dos afluentes da margem direita (A) e da margem esquerda (B) do rio Arunca.	42
Figura 2.5-5 - Escoamento médio anual (dam ³) na estação hidrométrica de Ponte Mocate no período analisado. ...	43
Figura 2.5-6 - Escoamento médio mensal (dam ³) na estação hidrométrica de Ponte Mocate no período analisado.	44
Figura 2.6-1 - Sistemas aquíferos identificados na BHA.	48
Figura 2.7-1 - Uso do solo na BHA.	50
Figura 2.8-1 - População e densidade populacional na BHA por freguesia em 2001.	53
Figura 3.1-1 - Localização dos pontos de inquirição realizados na BHA.	62
Figura 3.1-2 – Número de questionários realizados por linha de água associada.	62
Figura 3.1-3 - Número de questionários realizados por freguesia e por concelho.	63
Figura 3.2-1 - Metodologia de definição de áreas inundáveis pelo método hidrológico-hidráulico.	64
Figura 4.1-1 - Enquadramento dos pontos de inquirição objecto de questionário.	73
Figura 4.1-2 - Realidade, potencialidade e ausência de problemas de escoamento superficial nos pontos de inquirição.	74

Figura 4.1-3 - Dinâmica hídrica das áreas com registo de cheias e inundações.	74
Figura 4.1-4 - Altura máxima (A) e média (B) da coluna de água atingida em situação de cheia/inundação.	75
Figura 4.1-5 - Extensão da área imersa.	76
Figura 4.1-6 - Tempo médio de permanência da área em imersão.	76
Figura 4.1-7 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento no sector a montante de Pombal.	82
Figura 4.1-8 - Exemplo de questionários realizados a montante de Pombal.	83
Figura 4.1-9 - PCE em Meirinhas de Baixo no rio Cabrunca.	84
Figura 4.1-10 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento no sector entre Soure e Pombal.	85
Figura 4.1-11 - Exemplo de questionários realizados no sector entre Soure e Pombal.	86
Figura 4.1-12 - Registos epigráficos encontrados em Sobral de Baixo (A) e Soure (B e C).	87
Figura 4.1-13 - PCE no curso médio do rio Arunca, a jusante de Pombal.	87
Figura 4.1-14 - PCE no rio Arunca na cidade de Pombal.	88
Figura 4.1-15 - PCE em Pombal associado à ribeira de Outeiro de Galegas.	88
Figura 4.1-16 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento no sector a jusante de Soure.	89
Figura 4.1-17 - Exemplo de questionários realizados a jusante de Soure.	90
Figura 4.1-18 - Evidências de transbordo no PCE situado na Ponte/açude de Vila Nova de Anços.	90
Figura 4.1-19 - PCE localizado em pequeno afluente da ribeira da Milhariça.	91
Figura 4.2-1 - Localização das secções fluviais alvo da aplicação do método hidrológico-hidráulico.	92
Figura 4.2-2 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção A.	93
Figura 4.2-3 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção A.	95
Figura 4.2-4 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção B.	97
Figura 4.2-5 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção B.	100
Figura 4.2-6 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção C.	102
Figura 4.2-7 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção C.	106
Figura 4.2-8 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção D.	108
Figura 4.2-9 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção D.	112
Figura 5.1-1 - Comparação da área inundável na Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete).	115
Figura 5.2-1 - Comparação da área inundável na Secção B (Pombal).	117
Figura 5.2-2 - Correlação entre áreas inundáveis por talhão na Secção B (Pombal).	119
Figura 5.3-1 - Comparação da área inundável na Secção C (Soure).	120
Figura 5.3-2 - Correlação entre áreas inundáveis por talhão na Secção C (Soure).	121
Figura 5.4-1 - Comparação da área inundável na Secção D (Ponte Mocate/V.N. Anços).	122
Figura 5.4-2 - Correlação entre áreas inundáveis por talhão na Secção D (Ponte Mocate/V.N. Anços).	124

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1-1 – Desastres naturais com maior número de vítimas mortais e maior número de pessoas afectadas em Portugal.....	3
Tabela 1.1-2 - Registo de desastres naturais na base de dados do EM-DAT para Portugal.....	4
Tabela 2.4-1 - Estações climatológicas e udográficas utilizadas.....	26
Tabela 2.4-2 - Dados estatísticos da precipitação diária máxima anual das estações situadas na área da BHA.....	29
Tabela 2.4-3 - Precipitação diária máxima anual esperada (<i>I</i>), em mm, para vários períodos de retorno.....	30
Tabela 2.4-4 - Características das séries cronológicas utilizadas no estudo do regime térmico.....	31
Tabela 2.4-5 - Temperatura média mensal e anual nas estações analisadas e na BHA.....	31
Tabela 2.5-1 - Quadro-resumo dos parâmetros fisiométricos e da rede de drenagem da BHA.....	41
Tabela 2.5-2 - Principais cursos de água da BHA.....	41
Tabela 2.5-3 - Identificação da estação hidrométrica de Ponte Mocate.....	43
Tabela 2.5-4 - Caudais máximos anuais instantâneos na estação de Ponte Mocate.....	44
Tabela 2.5-5 - Caudais de ponta de cheia apresentados no PBH Mondego.....	45
Tabela 2.6-1 - Características dos sistemas aquíferos na área da BHA.....	46
Tabela 2.7-1 - Legenda da cartografia <i>CLC2000</i> e a sua reclassificação.....	49
Tabela 2.8-1 - Evolução demográfica nos concelhos de Pombal e Soure no período 1950-1991.....	52
Tabela 2.8-2 - Consumo de electricidade por tipo de consumo em 2005 (em milhares de kWh).....	55
Tabela 2.8-3 - Outros indicadores de actividade económica nos concelhos de Pombal e Soure em 1999.....	56
Tabela 3.2-1 - Parâmetros das curvas IDF para Pombal.....	66
Tabela 3.2-2 - Fórmulas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração.....	67
Tabela 4.1-1 - Período de retorno estimado pelos inquiridos.....	77
Tabela 4.1-2 - Causas directas na ocorrência de cheias e inundações (resposta múltipla).....	78
Tabela 4.1-3 - Causas indirectas na ocorrência de cheias e inundações.....	78
Tabela 4.1-4 - Evidências locais para as dificuldades de escoamento.....	79
Tabela 4.1-5 - Elementos expostos.....	80
Tabela 4.1-6 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento na BHA.....	81
Tabela 4.2-1 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção A.....	93
Tabela 4.2-2 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção A.....	94
Tabela 4.2-3 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção A.....	94
Tabela 4.2-4 - Dados geométricos relativos ao troço da Secção A.....	95
Tabela 4.2-5 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção A.....	96
Tabela 4.2-6 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção B.....	97

Tabela 4.2-7 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção B.....	98
Tabela 4.2-8 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção B.	98
Tabela 4.2-9 - Dados geométricos relativos ao troço da Secção B.	99
Tabela 4.2-10 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção B.....	101
Tabela 4.2-11 - Altura da cheia nas pontes existentes na Secção B.	101
Tabela 4.2-12 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção C.....	102
Tabela 4.2-13 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção C.	103
Tabela 4.2-14 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção C.	103
Tabela 4.2-15 - Dados geométricos relativos aos troços da Secção C.....	105
Tabela 4.2-16 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção C.....	106
Tabela 4.2-17 - Altura da cheia nas pontes existentes na Secção C.....	107
Tabela 4.2-18 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção D.....	108
Tabela 4.2-19 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção D.	109
Tabela 4.2-20 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção D.	109
Tabela 4.2-21 - Dados fisiométricos e de escoamento da bacia da ribeira da Milhariça.	110
Tabela 4.2-22 - Dados geométricos relativos ao troço da Secção D.	111
Tabela 4.2-23 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção D.....	113
Tabela 4.2-24 - Altura da cheia nas pontes existentes na Secção D.	113
Tabela 5.1-1 - Comparação da área inundável na Secção A.....	116
Tabela 5.2-1 - Comparação da área inundável total e por talhão de 200 metros na Secção B (Pombal).....	118
Tabela 5.3-1 - Comparação da área inundável total e por talhão de 200 metros na Secção C (Soure).....	121
Tabela 5.4-1 - Comparação da área inundável total e por talhão de 200 metros na Secção D (Ponte Mocate/V.N. Anços).	123

“Mais para baixo – lá onde chegam as águas do Mar a dar-lhe as boas-vindas – o Mondego encastoa no leito uma ilhota e recebe, no braço Sul, o Arunca, trôpego da caminhada no plaino, que lhe vem pagar tributo.”

O Esforço do Homem na Bacia do Mondego, A. F. Martins, 1940, p. 82.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho insere-se no tema científico de análise e cartografia de áreas sujeitas a inundações, para as quais se utilizam duas metodologias, tendo por área de estudo a bacia hidrográfica do rio Arunca.

Uma área inundável pode ter origem em dois tipos distintos de processos: cheias e inundações. Segundo a *Encyclopedia of Geomorphology* (ed. GOUDIE, 2004) “a flood [cheia/inundação] is a flow of water greater than the average flow of a river” ou por outras palavras, tal como acrescenta o autor, ocorre uma cheia quando o escoamento fluvial extravasa os bancos ou diques marginais de um canal e se expande pela planície aluvial¹.

De acordo com a Directiva Comunitária relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações (UE, 2007), inundação é “a cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água”. Nesta definição cabem portanto as áreas inundáveis originadas quer pelos caudais de cheia, quer pelo transbordo do leito normal com origem noutra tipo de processos.

Segundo PENNING-ROWSELL & FORDHAM (1994) as inundações na Europa enquadram-se na seguinte tipologia de origem:

- Inundações, em sentido lato, devidas a chuvas de Inverno, prolongadas no tempo, originadas por depressões ocidentais com frentes quentes bem desenvolvidas. São também designadas de cheias lentas²;
- Inundações, em sentido lato, devidas ao degelo rápido que ocorre na Primavera, agravadas com a coincidência com episódios de chuva;
- Inundações devido a chuvas com génese em tempestades convectivas. Ocorrem normalmente no Verão, sobre cidades onde o efeito de “ilha de calor” é significativo ou onde existe aquecimento das massas de ar pela base. São mais frequentes no sul da Europa, terminando vagas de calor. Originam frequentemente cheias rápidas ou repentinas (*flash floods*).
- Inundações devidas a mau funcionamento ou subdimensionamento das redes de drenagem pluvial e de saneamento. Afectam principalmente as áreas urbanas e as áreas onde a rede hidrográfica está artificializada, por encanamento e/ou passagem dos cursos de água a percurso subterrâneo, facto pelo qual são designadas de cheias/inundações urbanas;
- Inundações devidas à subida do nível freático³;

¹ Entende-se por planície aluvial “a superfície plana nas margens de um rio, especialmente no seu curso inferior sobre a qual se depositam aluviões na altura das cheias” (*in* Enciclopédia Geográfica, 1988).

² As cheias/inundações que ocorrem no rio Tejo e no rio Mondego têm tipicamente esta origem. Os autores citam como exemplo as cheias em Inglaterra em 1994, cujo mês de Dezembro de 1993 registou uma precipitação mensal quatro vezes superior ao valor médio deste mês.

- Inundações em áreas de baixa infiltração (solo argiloso e/ou impermeabilizado, causando dificuldades de escoamento e retenção da água e provocando situações de imersão que podem durar semanas a meses;
- Inundações devidas à maré e a episódios de *storm-surge*, também designadas de inundações costeiras, estão associadas a situações de baixa pressão atmosférica, ventos oriundos do mar, marés vivas ou subsidência do solo⁴;
- Inundações devidas à ruptura de barragens.

As cheias e inundações acarretam um vasto rol de consequências negativas - perda de vidas; danos em bens, infra-estruturas e propriedades; desalojamento de pessoas; danos ambientais, doenças associadas à diminuição da qualidade da água ou distúrbios psicológicos. Os benefícios das cheias também existem e consistem na recarga dos aquíferos, no aumento da fertilidade dos solos e em benefícios para os ecossistemas naturais (AEA, 2005).

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA) - é expectável que as alterações climáticas venham a tornar este processo natural ainda mais frequente na Europa, em particular, a ocorrência de cheias rápidas ou repentinas. As alterações climáticas de longo prazo serão responsáveis por verões mais húmidos em toda a Europa - talvez com excepção da Península Ibérica que, entre os anos de 1900 e 2000, registou um decréscimo de cerca de 20% na precipitação anual total. Quanto aos eventos de precipitação intensa de curta duração, prevê-se generalizadamente um aumento da sua frequência (AEA, 2005).

Para além das alterações climáticas, outros factores de origem humana e natural comportam alterações no escoamento superficial, tais como:

- a desflorestação, que aumenta e acelera o escoamento superficial;
- a canalização dos rios, responsável por problemas de escoamento a jusante;
- a impermeabilização dos solos, que provoca menor infiltração e maior quantidade e velocidade de escoamento;
- o crescimento urbano em áreas da planície aluvial, que cria obstáculos ao escoamento superficial e acentua a impermeabilização do solo.

A Figura 1.1-1 ilustra que, de acordo com a *Emergency Events Database* (EM-DAT)⁵, as cheias são, de entre os desastres naturais, o processo mais frequente a nível mundial com 32% das ocorrências no

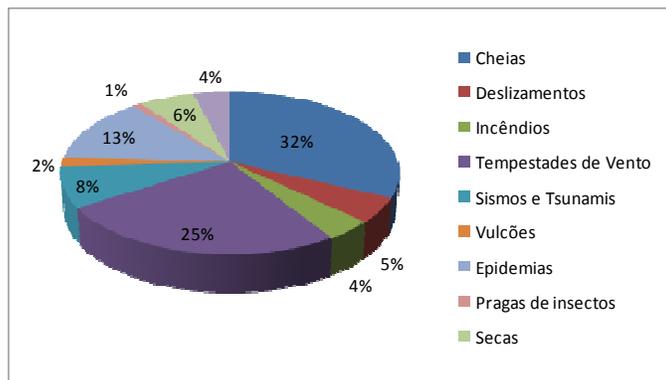
³ Podem ocorrer por exemplo em área urbanas abandonadas onde o nível freático sobe devido à cessação da captação de água.

⁴ São exemplos graves deste tipo de inundações as ocorridas na Holanda e no Reino Unido em 1953.

⁵ A EM-DAT é mantida e actualizada pelo *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) da Universidade Católica de Louvain. Para que a ocorrência surja na base de dados, pelo menos um dos critérios tem de se verificar: número de vítimas mortais >10; número de pessoas afectadas >100; existência de um pedido de ajuda internacional; existência de declaração de estado de emergência.

período 1991-2005 (CRED, 2008). A tendência mundial quanto à ocorrência dos desastres naturais de origem hidrológica e meteorológica é de um aumento significativo, em particular para a ocorrência de cheias/inundações, tempestades e secas.

Figura 1.1-1 - Frequência relativa dos vários tipos de desastres naturais no mundo no período 1991-2005.



Fonte: adaptado de CRED (2008).

Na Europa, “as cheias extremas são o tipo de catástrofe natural mais comum” (AEA, 2005). Entre 1998 e 2002 a Europa sofreu cerca de 100 cheias/inundações, que causaram 700 vítimas mortais, o desalojamento de cerca de 500 mil pessoas e 25 mil milhões de euros em prejuízos económicos cobertos por seguros, afectando cerca de 1,5% da população europeia.

Tabela 1.1-1 – Desastres naturais com maior número de vítimas mortais e maior número de pessoas afectadas em Portugal.

N.º vítimas mortais	Tipo de desastre natural	Data	N.º pessoas afectadas	Tipo de desastre natural	Data
2696	Temp. Extremas	Ago/2003	150000	Incêndios	Jan/2003
462	Cheias	Nov/1967	25000	Cheias	Fev/1979
41	Temp. Extremas	Jul/2006	20220	Cheias	Jan/1979
30	Cheias	Dez/1981	2000	Cheias	Nov/1983
29	Tempestades	Out/1997	2000	Cheias	Dez/1996
19	Cheias	Jan/1979	1100	Cheias	Nov/1967
19	Cheias	Nov/1983	1050	Cheias	Jan/1996
15	Incêndios	Jun/1986	900	Cheias	Dez/1981
15	Incêndios	Mai/2005	240	Cheias	Out/2006
14	Incêndios	Set/1985	200	Tempestades	Out/1997

Fonte: Adaptado de CRED (2008).

Em Portugal, os registos de dados na EM-DAT, ordenados por número de vítimas mortais e por número de pessoas afectadas constam da Tabela 1.1-1. As temperaturas extremas são o desastre natural

responsável pelo número máximo de vítimas mortais já registado, logo seguido pels cheias⁶. Conclui-se também que, apesar de as cheias não serem o desastre natural que causa mais vítimas e afecta o maior número de pessoas, é aquele que surge mais frequentemente (8 em 10 eventos) de entre os desastres naturais que causaram maior número de pessoas afectadas.

Pode-se observar na Tabela 1.1-2 o registo cronológico das catástrofes naturais ocorridas em Portugal, presentes na base de dados EM-DAT, do qual se retiraram aqueles que apresentavam ausência de vítimas mortais, pessoas afectadas e danos materiais contabilizados.

Tabela 1.1-2 - Registo de desastres naturais na base de dados do EM-DAT para Portugal.

Ano	Tipo	Local/Região	N.º vítimas	N.º afectados	Danos (milhares US\$)
1967	Cheias	Região de Lisboa	462	1100	3000
1973	Tempestades	Costa Atlântica	11	0	0
1979	Cheias	Ilha da Madeira	19	20220	30000
1979	Cheias	Norte	4	25000	2100
1981	Cheias	Lisboa	30	900	0
1983	Cheias	Lisboa e arredores	19	2000	95000
1983	Secas	Região de Beja	0	0	95000
1985	Incêndios	Zona de Lamego	14	0	95000
1986	Incêndios	Região de Coimbra	15	50	0
1996	Cheias	Norte e Centro	10	1050	13000
1996	Cheias	Norte	0	2000	0
1997	Cheias	Sul	11	200	0
2000	Tempestades	-	4	70	0
2001	Cheias	Mesão Frio e Seia	6	200	0
2002	Cheias	Norte	1	60	0
2003	Cheias	Águeda e Bairrada	0	36	0
2003	Incêndios	Todo o País	14	150000	1730000
2003	Temp. Extremas	-	2696	0	0
2004	Incêndios	Todo o País	2	0	0
2005	Incêndios	Porto e Castelo Branco	15	136	1650000
2006	Temp. Extremas	-	41	0	0
2006	Cheias	Algarve	0	240	0

Fonte: adaptado de CRED (2008).

A tabela confirma a elevada frequência da ocorrência de cheias no contexto nacional, bem como a dificuldade em contabilizar os danos a elas associados.

⁶ Ressalve-se que, devido à sua actualidade, a base de dados não inclui as recentes cheias e inundações ocorridas no ano hidrológico de 2007/08.

Com efeito, o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT, 2007), identifica entre os maiores problemas para o Ordenamento do Território, aqueles que se relacionam com os recursos naturais e a gestão dos riscos, realçando a “insuficiente consideração dos riscos nas acções de ocupação e transformação do território, com particular ênfase para os sismos, os incêndios florestais, as cheias e inundações e a erosão das zonas costeiras”. Revelando consciência deste problema, o PNPOT define como objectivo estratégico a avaliação e prevenção dos factores e das situações de risco, reconhecendo a importância do envolvimento da comunidade científica no acto de melhor “compreender e prever os factores e circunstâncias determinantes das ameaças e dos riscos”. Quanto a este ponto, identificam-se como medidas prioritárias i) a definição de áreas de perigosidade, usos compatíveis e medidas de prevenção e mitigação dos riscos e ii) a elaboração de cartas de risco (PNPOT, 2007).

1.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho consiste na bacia hidrográfica do rio Arunca pertencente à bacia hidrográfica do rio Mondego. Ao contrário de outros importantes afluentes do Rio Mondego – rios Alva e Ceira, como “rios de montanha”, e o rio Dão como “rio de planalto” - o rio Arunca é um “rio de planície”, “de perfil quasi regularizado e fraco poder erosivo” (MARTINS, 1940). O rio Arunca é afectado por inundações que decorrem de cheias lentas, cheias repentinas e cheias urbanas.

Os dados históricos referentes a cheias e inundações ocorridas na bacia do rio Arunca são escassos. SANCHES (1996) faz uma detalhada descrição histórica das intervenções de que o rio Mondego e alguns dos seus afluentes têm sido alvo, na tentativa do Homem em regularizar os seus débitos ou mitigar os efeitos do seu transbordo, desde as primeiras Providências Régias do séc. XV até à actualidade. Aí se refere a gravidade do risco de cheia existente particularmente no Baixo Mondego, a jusante de Coimbra. Naturalmente que, sendo o rio Arunca o principal afluente do rio Mondego no seu curso inferior, as cheias que afectam este rio acabam por afectar também o sector da planície aluvial do rio Arunca. A última grande cheia deste tipo a afectar o rio Arunca ocorreu no princípio de 2001 e encontra-se bem documentada em CUNHA (2002), evento em que a cheia progrediu de jusante para montante⁷.

Não obstante, o rio Arunca tem uma dinâmica hidrológica própria e ocasiona por si só episódios de cheias/inundações de consequências significativas. Um dos registos, ou provavelmente o registo histórico mais antigo de vítimas mortais, causadas pelas cheias na bacia do rio Arunca, data do séc. XVIII e vem descrito no livro de óbitos da freguesia de Soure⁸, (SOARES, 1971).

Durante as campanhas de campo conducentes à realização do presente trabalho, pôde o autor presenciar a ocorrência de várias cheias e inundações no período entre Outubro e Dezembro de 2006,

⁷ Curiosamente, esta cheia não surge na base de dados EM-DAT, apesar de o número de pessoas afectadas ter sido certamente superior a 100.

⁸ O redactor do livro de óbitos faz a seguinte descrição desta ocorrência: “vindo à noite a passar um ribeiro o levou a cheia, gritou mas não lhe acudiram”, de onde se pode depreender, pelo facto de ter ocorrido num “ribeiro” e não num rio, que possivelmente se terá tratado de uma cheia rápida a ocorrer num curso de água que não o rio Arunca, mas pertencente à sua bacia.

tratando-se de ocorrências com origem hidro-meteorológica exclusiva da bacia do rio Arunca. Segundo os habitantes locais, o transbordo do rio – ou das valas de irrigação a ele associadas - na planície aluvial é um processo com uma recorrência anual ou quase anual.

1.3. OBJECTIVOS

O objectivo principal do presente trabalho consiste em fazer o estudo comparativo entre duas metodologias de definição de áreas inundáveis – seus métodos e técnicas, lacunas, méritos e resultados – na bacia hidrográfica do rio Arunca. Para além do interesse inerente à obtenção de cartografia de áreas inundáveis, apresenta-se como estímulo maior, a aplicação de ambas as metodologias a uma bacia em concreto, analisando as diferenças e semelhanças resultantes e procurando identificar os factores que as explicam.

As metodologias adoptadas consistem na reconstituição hidrogeomorfológica e na modelação hidrológico-hidráulica com recurso a *software* amplamente divulgado e utilizado internacionalmente. Em vários trabalhos publicados é reconhecido que os melhores resultados de cartografia de áreas inundáveis se obtêm pela combinação e integração dos métodos geomorfológico e hidrológico-hidráulico, referindo contudo que é escassa a literatura onde se procede à comparação de ambos (LASTRA *et al.*, 2008).

Não se trata no entanto, de definir áreas de risco de cheia mas antes, áreas de perigosidade de ocorrência de cheias. Na perspectiva do Ordenamento do Território esta é uma abordagem igualmente interessante porquanto a dinâmica da transformação de usos do solo é hoje muito forte, originando a que áreas que actualmente não apresentam risco possam num futuro próximo - ou à escala temporal de vigência de um Instrumento de Gestão Territorial - apresentar.

Outra questão a que se tenta responder nesta dissertação é a da importância atribuída por cada metodologia aos dados de entrada em que se apoia, especialmente quanto à informação morfológica (que ambas utilizam) – de que forma cada metodologia utiliza os dados morfológicos na definição de áreas inundáveis?

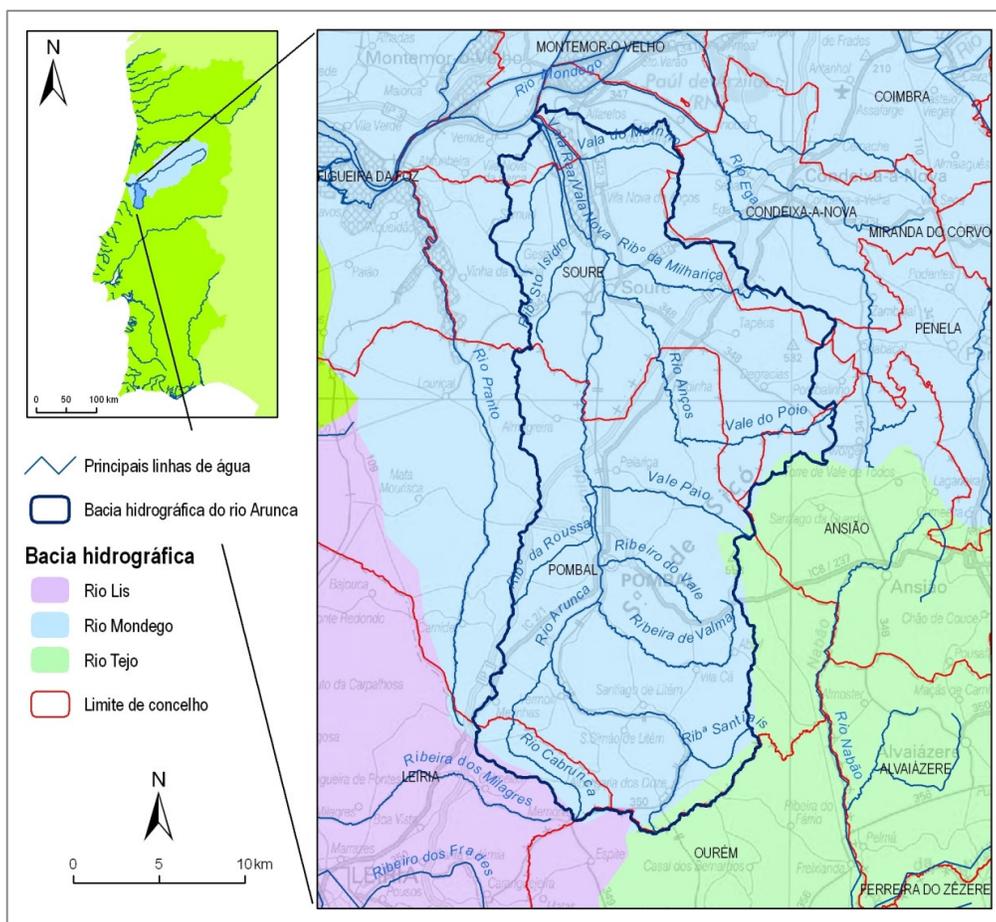
Finalmente, tentar-se-á perceber até que ponto a intervenção antrópica sobre as condições hidráulicas e hidrológicas de escoamento pode condicionar/alterar as áreas expostas à ocorrência de cheias e inundações e de que modo essa interferência se reflecte na cartografia de áreas inundáveis resultante em cada uma das metodologias.

2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARUNCA

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A bacia hidrográfica do rio Arunca (BHA) é uma sub-bacia pertencente à bacia hidrográfica do rio Mondego, situada na região Centro de Portugal. O seu curso de água principal é o rio Arunca, o mais extenso afluente do rio Mondego na Orla Meso-Cenozóica Ocidental. A nascente do rio Arunca situa-se próximo de Albergaria-dos-Doze, no concelho de Pombal, e a confluência com o rio Mondego faz-se na margem esquerda deste, próximo de Montemor-o-Velho (vd. Figura 2.1-1). A BHA insere-se na unidade do Baixo Mondego, que nas palavras de CAMPAR DE ALMEIDA *et al.*, (1990) – consiste na “porção mais ocidental” da bacia do rio Mondego.

Figura 2.1-1 - Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: Adaptado de APA (2008), IGP (2005) e IGP (2008).

O conceito de Baixo Mondego não é uniformemente entendido, considerando-se neste trabalho esta unidade na sua dimensão hidrográfica, consistindo na parte da bacia hidrográfica do rio Mondego a jusante de Coimbra, que talha unidades da Orla Meso-Cenozóica ocidental, distinguindo-se assim da parte a montante, quer litológica quer morfologicamente. Na bacia do rio Arunca identificam-se três das

quatro unidades morfo-estruturais referidas por CAMPAR DE ALMEIDA *et al.* (1990) - as serras e planaltos calcários, as colinas gresosas e a planície aluvial.

A bacia é enquadrada pelos paralelos 40° 09' 14" N e 39° 46' 33" N e pelos meridianos 8° 43' 06" W e 8° 28' 18" W. A BHA abrange fundamentalmente as seguintes folhas da Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000, alinhadas de Norte para Sul: folha 240 (Montemor-o-Velho), folha 250 (Soure), folha 262 (Redinha - Pombal), folha 274 (Pombal) e folha 286 (Albergaria-dos-Doze - Pombal). A BHA estende-se ainda por outras folhas: a Oeste, folha 239 (Figueira da Foz), folha 249 (Marinha das Ondas - Figueira da Foz), folha 273 (Monte Redondo - Leiria) e folha 285 (Marrazes - Leiria) e a Este, folha 251 (Condeixa-a-Nova) e folha 263 (Espinhal - Penela), que abrangem pequenas partes da área da bacia hidrográfica.

O limite da bacia hidrográfica do rio Arunca é feito a Este pela bacia hidrográfica do rio Ega – outro afluente do rio Mondego - e pela bacia hidrográfica do rio Nabão, afluente do Rio Tejo. A Sul, a BHA contacta com a bacia hidrográfica do rio Nabão e a bacia hidrográfica da ribeira dos Milagres - um dos afluentes do rio Lis. A Oeste o limite faz-se pelo contacto com a bacia hidrográfica do rio Pranto, afluente do rio Mondego. A BHA tem uma área de 550 km² e um perímetro de 140 km, tendo a linha de água principal, um comprimento total de 55,76 km. A Figura 2.1-1 identifica ainda os principais afluentes⁹ do rio Arunca. Pela sua extensão e constância de escoamento destacam-se o rio Anços e a ribeira de Valmar na margem direita e o rio Cabrunca¹⁰, na margem esquerda.

2.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

2.2.1. Hipsometria

A Figura 2.2-1 ilustra as características hipsométricas da bacia hidrográfica do rio Arunca¹¹. O ponto mais alto da bacia situa-se no vértice geodésico (V.G.) de Sicó com 553 metros. O ponto de menor cota é de aproximadamente 3 metros e situa-se na confluência com o rio Mondego, perto de Alfarelos.

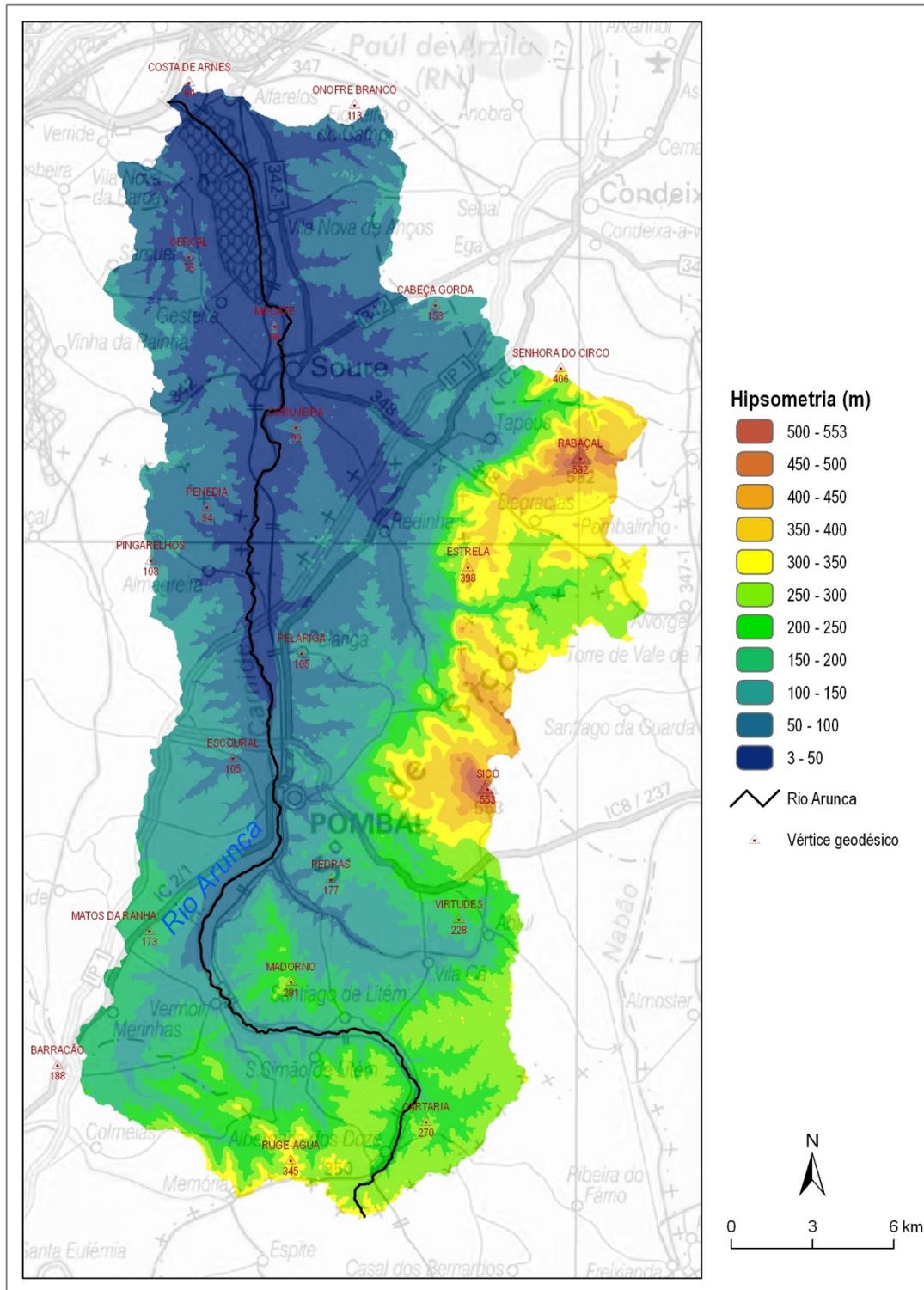
O sector oriental da BHA caracteriza-se como o mais acidentado e aquele onde se observam as classes hipsométricas superiores. Pelo contrário, a margem esquerda da bacia apresenta um relevo substancialmente mais suavizado, com altitudes que apenas ultrapassam os 150 m a Sul da cidade de Pombal.

⁹ Considerou-se como principais linhas de água aquelas cujo nível de hierarquia fluvial segundo Horton é igual ou superior a 5 (vd. capítulo 2.5.2.). Outras linhas de água revelam-se importantes no âmbito do funcionamento hidrológico e da problemática das cheias e inundações na bacia do rio Arunca, não atingindo no entanto o nível de hierarquia fluvial definido. De entre estas destacam-se as linhas de água que confluem com o rio Arunca na cidade de Pombal – o ribeiro do Vale e o ribeiro do Outeiro de Galegas, que pela sua importância foram inseridas na Figura 2.1-1 com o nome da primeira, por ser a de maior área.

¹⁰ Também denominado rio de Igreja Velha.

¹¹ Este mapa, bem como o mapa de declives (Figura 2.2-3) e o mapa de exposições (Figura 2.2-4) foram obtidos recorrendo a ferramentas SIG (programa ArcGIS 9.2, extensão *Spatial Analyst*) e à informação altimétrica da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército.

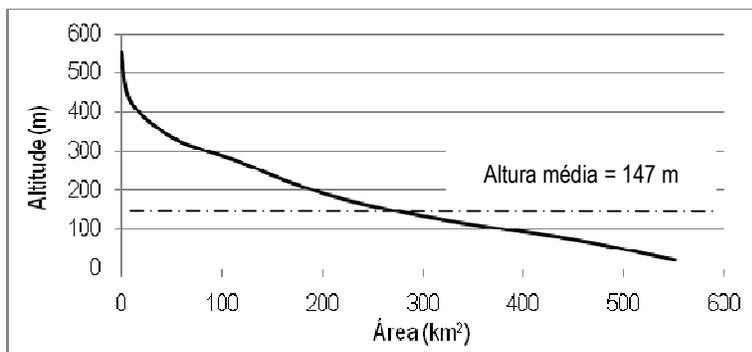
Figura 2.2-1 - Hipsometria na área da bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: Adaptado de IGEOE (várias datas) e IGP (2005).

A curva hipsométrica da bacia hidrográfica¹² (Figura 2.2-2) evidencia a existência de reduzida área com altitudes superiores a 400 metros (menos de 5% da área total).

Figura 2.2-2 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: A partir de IGEOE (várias datas).

2.2.2. Declives

O declive médio da bacia hidrográfica do rio Arunca é de 10,9%, sendo o valor máximo de 125,9%.

A observação da Figura 2.2-3 permite identificar claramente duas unidades em que a distribuição dos declives apresenta certa homogeneidade. A divisão entre estas unidades distintas é feita através de um eixo definido pelos vértices geodésicos de Barracão e de Senhora do Circo, incluindo a espectacular escarpa de falha da Senhora da Estrela. Em cada unidade, as características do declive encontram-se associadas à tectónica e às diferenças litológicas existentes.

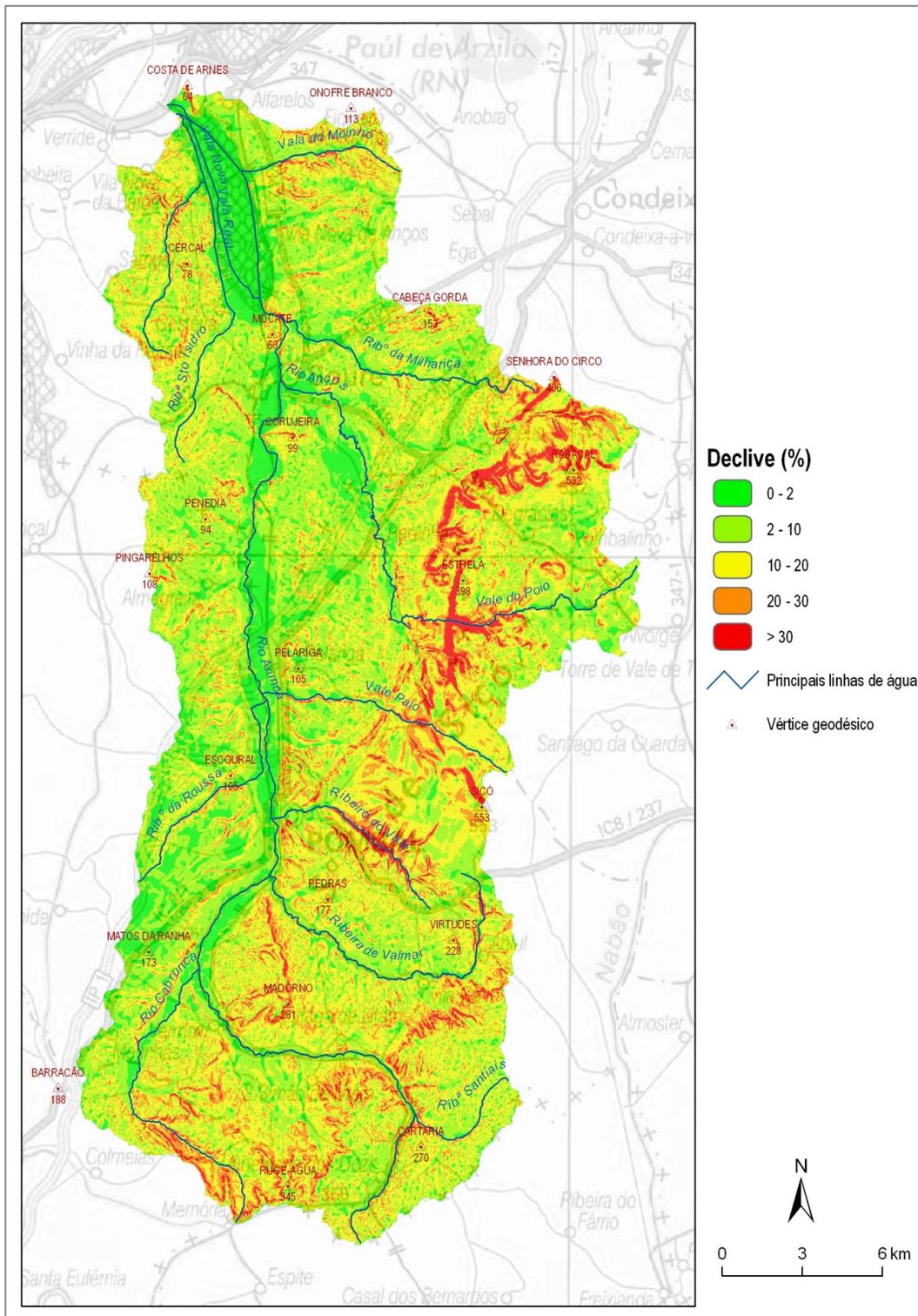
A noroeste do referido eixo predominam os declives suaves, geralmente inferiores a 10%, mesmo na maior parte das vertentes das colinas que caracterizam os terrenos pliocénicos (*cf.* sub-capítulo 2.3.), verificando-se extensas áreas de declives inferiores a 2% nos fundos dos principais vales (rio Arunca e rio Anços). Nesta unidade, apenas pontualmente se observam declives superiores a 20%.

A sudeste daquele eixo predominam declives mais fortes, acima de 30%, junto à bordadura do maciço calcário (*cf.* sub-capítulo 2.2.4.) e ao longo das vertentes das principais linhas de água (curso superior dos rios Arunca e Cabrunca, Vale do Poio e ribeiro do Vale).

Como adiante se verá, este eixo marca igualmente o contacto entre as duas das principais unidades morfo-estruturais identificadas em CAMPAR DE ALMEIDA *et al.* (1990), as colinas gresosas e as serras e planaltos calcários.

¹² Na figura o eixo das ordenadas não representa cotas absolutas, mas medianas das classes hipsométricas, motivo pelo qual no extremo do perfil não se verifica a cota mínima da bacia (3 metros) mas antes a mediana da classe inferior (23,5 metros).

Figura 2.2-3 - Mapa de declives da bacia hidrográfica do rio Arunca.

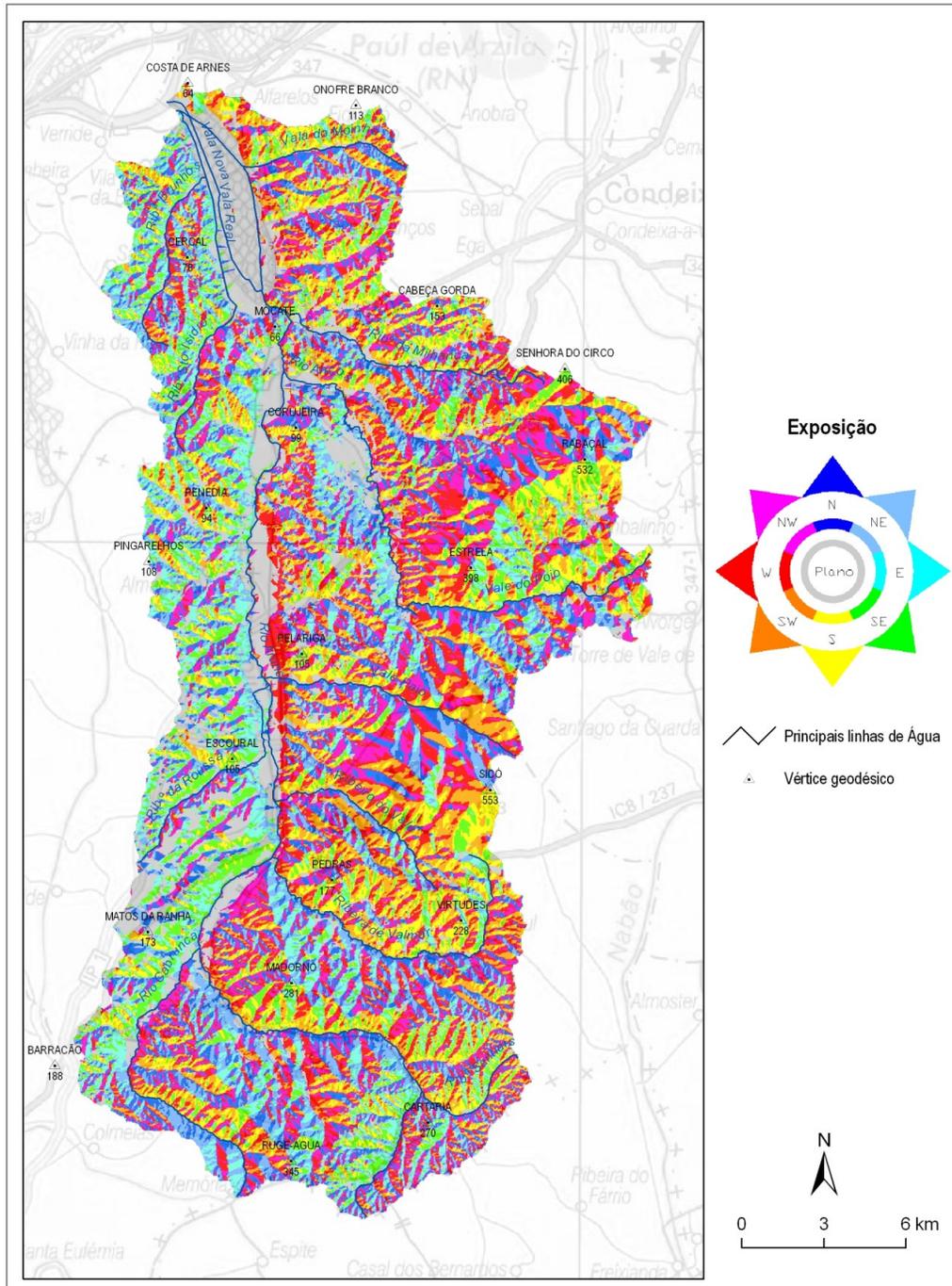


Fonte: Adaptado de IGEOE (várias datas) e IGP (2005).

2.2.3. Exposições

A Figura 2.2-4 representa a exposição das vertentes na área da BHA.

Figura 2.2-4 - Exposições na bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: Adaptado de IGEOE (várias datas) e IGP (2005).

A exposição de vertente está claramente associada à orientação da rede hidrográfica. De um modo geral, a distribuição das exposições do relevo na bacia hidrográfica do rio Arunca está relacionada fundamentalmente com a orientação da linha de água principal e, a maior escala, com a orientação das linhas de água secundárias.

A jusante de Soure, na margem esquerda da bacia do rio Arunca, a orientação preferencial dos cursos de água é SW-NE e observam-se exposições predominantes nos quadrantes Noroeste e Sudeste, resultado da diagonalidade dos vales principais relativamente à planície aluvial. Na margem direita os cursos de água estão orientados preferencialmente de E-W, pelo que são mais frequentes as exposições a Norte e a Sul.

O padrão identificado para a margem esquerda da bacia no sector anterior mantém-se no sector entre Soure e Pombal. Na margem direita, 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; a Sul deste canhão e a norte do V.G. Rabaçal predominam as exposições a Norte. Entre o rio Arunca e o rio Anços a heterogeneidade é maior devido à maior densidade da rede de drenagem e menor comando das vertentes.

A montante de Pombal, a maior sinuosidade do traçado do rio Arunca reflecte-se em maior heterogeneidade na exposição das vertentes. No entanto, a margem esquerda do rio Cabrunca mantém o padrão de exposições predominantes a NW e SE.

Foram consideradas áreas planas ou sem exposição característica as áreas com declive inferior a 2%, que se localizam fundamentalmente na planície aluvial dos rios Arunca e Anços e no topo das colinas da margem esquerda da bacia hidrográfica do rio Arunca, na área de Matos da Ranha.

2.2.4. Unidades morfo-estruturais

A BHA localiza-se inteiramente na unidade paleogeográfica da Orla Meso-Cenozóica Ocidental, estando a sua dinâmica recente intrinsecamente relacionada com a evolução quaternária.

A diferenciação entre as unidades morfo-estruturais existentes na BHA deve-se a factores relacionados com a erosão diferencial que ocorre nos vários tipos de litologia e à tectónica - falhas e dobramentos (CUNHA, 1988). A Figura 2.2-5 identifica as principais unidades morfo-estruturais existentes na área da bacia, segundo CAMPAR DE ALMEIDA *et al.* (1990): as serras e planaltos calcários, as colinas gresosas (incluindo a sub-unidade denominada "superfície plio-calabriana"), o diapiro de Soure e a planície aluvial.

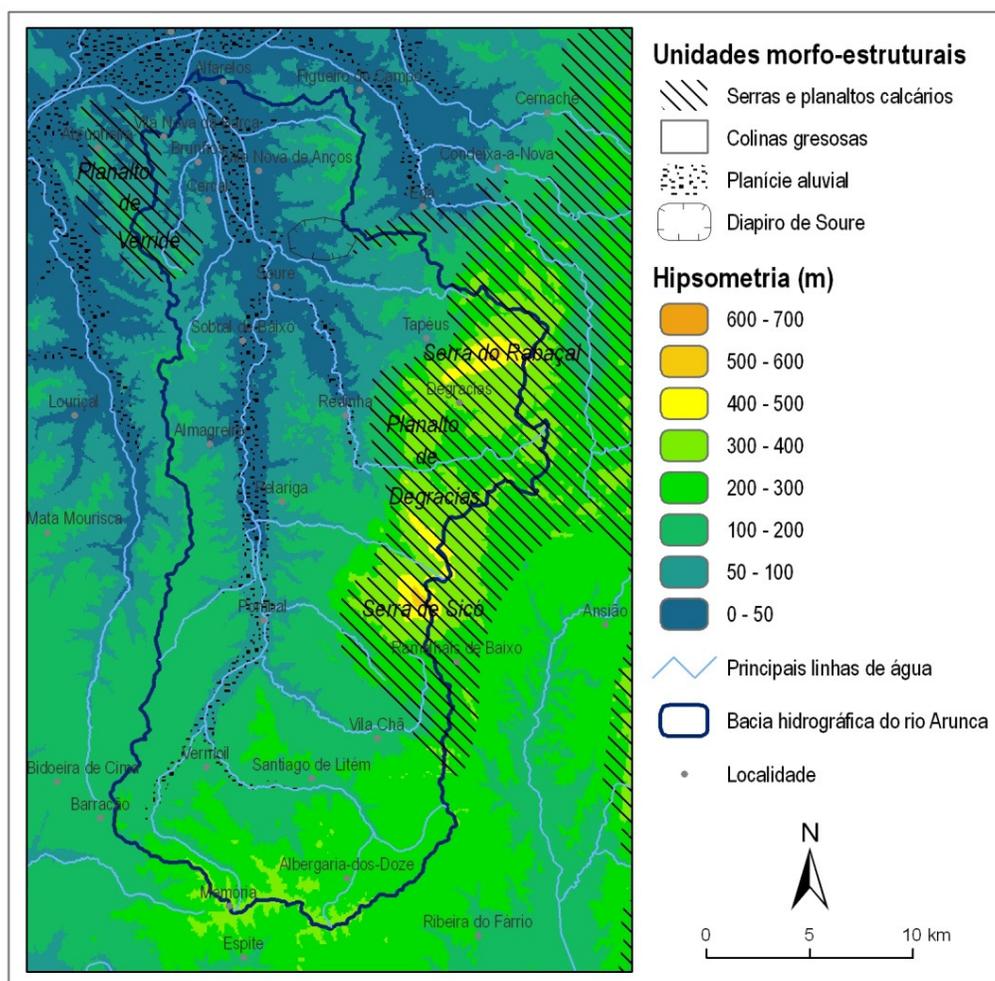
2.2.4.1. Serras e planaltos calcários

Nesta unidade salienta-se, paisagística e morfológicamente, o maciço calcário de Sicó que corresponde a um conjunto de blocos calcários soerguidos com altitudes máximas - na área da bacia do Arunca - no topo da Serra do Rabaçal (V.G. Rabaçal, 532 m) e da Serra de Sicó (V.G. Sicó, 553 m). Entre estas duas elevações salienta-se a existência de uma forma de relevo mais aplanada que corresponde ao Planalto

de Degracias. 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, dos quais ressalta a falha da Senhora da Estrela situada a este de Redinha, a sul de Tapeus (cf. Figura 2.3-1), cuja escarpa de falha tem um rejeito vertical de 200 m.

O maciço apresenta morfologia fluvio-cársica diversificada encontrando-se muito diaclasado. Observam-se ainda lapiás gigantes em Vale de Janefonso (perto de Tapeus), diversas tipologias de dolinas (dolina assimétrica da Senhora do Circo, dolinas embutidas de Sicó-Ouro, dolinas do planalto de Degracias, de Alvorge e do Jagardo) e “buracas” observáveis nos canhões dos vales das Buracas e dos Poios, por exemplo. Os depósitos detríticos associados têm idades entre o Mesozóico e o Quaternário. Muitas das formas cársicas terão sido exumadas pelos sedimentos de transporte fluvial.

Figura 2.2-5 - Principais unidades morfo-estruturais na bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: Adaptado de CAMPAR DE ALMEIDA *et al.* (1990).

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 Pombal-Ansião (IC8) observam-se pequenas costeiras na série margosa do Malm¹³.

2.2.4.2. Colinas gresosas

A oeste do Maciço Calcário de Sicó encontra-se uma vasta área de terrenos baixos, predominando as colinas com altitudes entre os 100 e os 180 m. Estas colinas talham materiais gresosos cretácicos e terciários, principalmente cenozóicos, com cimos aplanados que se elevam ligeiramente de Oeste para Este ao encontro do maciço calcário. No topo das colinas gresosas, em particular a norte de Pombal, CAMPAR DE ALMEIDA *et al.* (1990) e CUNHA (1988) individualizam uma “sub-unidade” denominada superfície plio-calabriana, composta por depósitos de acumulação, que corresponde a um nível de aplanamento geralmente abaixo dos 150 metros. A superfície de aplanamento deve em parte a sua morfologia actual à acção erosiva do mar (ocorrida no Pliocénico), e ao entalhe da rede de drenagem que se instala durante o Quaternário.

No rebordo da planície aluvial do rio Arunca, em ambas as margens, encontram-se pequenas rechãs associadas a terraços fluviais, localizadas essencialmente na sua margem esquerda. Já os afluentes do rio Arunca possuem igualmente depósitos de terraços somente nas margens direitas¹⁴.

2.2.4.3. Diapiro de Soure

O relevo na área da vila de Soure é influenciado pelas deformações tectónicas e pelos fortes contrastes litológicos, justificados pelo diapirismo. O diapiro de Soure apresenta uma forma quase circular e um diâmetro de cerca de 3 km. No seu núcleo (em altitudes entre 40 e 50 m) afloram as Margas da Dagorda. No geral, esta unidade morfológica apresenta fraca resistência à erosão. Numa sequência tipicamente diapírica, os calcários dolomíticos sobrepõem-se às margas. No centro da depressão diapírica encontram-se depósitos tidos como Pliocénicos similares aos encontrados nas colinas gresosas envolventes. Segundo CARVALHO (2002), “a estrutura diapírica aproveita por um lado a grande falha de direcção ENE-WSW que limita a Sul o anticlinal de Cabeça Gorda, e por outro, as falhas do Arunca de direcções NNW-SSE”. A leste, a depressão diapírica de Soure liga-se ao anticlinal de Cabeça Gorda, com o qual se deve relacionar a sua génese (ROCHA *et al.*, 1981).

2.2.4.4. Planície Aluvial

A planície aluvial do rio Arunca consiste numa das principais digitações do rio Mondego no seu curso inferior. Trata-se da unidade morfo-estrutural mais recente cuja forma actual resulta dos sucessivos

¹³ A série margosa do Malm corresponde litologicamente às Camadas de Alcobaça e de Vale de Lagares (ver capítulo 2.3.2.)

¹⁴ Na área de Redinha são visíveis pequenas rechãs entre a cota dos 140 e 180 metros.

episódios de entalhe fluvial - o último deles ocorrido durante a última glaciação (Würm) - e de transgressão marinha, a última delas iniciada no período pós-würmiano (CAMPAR DE ALMEIDA *et al.*, 1990).

A planície aluvial estende-se bastante para montante ao longo do rio Arunca, sendo o seu limite a área de confluência entre o rio Cabrunca e o rio Arunca, já a sul de Pombal. Para além do rio Arunca também o rio Anços apresenta vales largos e simétricos caracterizados pela presença de vertentes quebradas.

A jusante de Soure encontra-se o sector mais largo da planície (cerca de 1,8 km) e de menor cota, sempre inferior a 10 metros. Entre Soure e Pombal, a planície apresenta uma largura uniforme de aproximadamente 1 km e uma maior amplitude altimétrica, verificando-se na cidade de Pombal a cota de 60 m. No sector mais meridional a planície aluvial mantém uma largura estável de aproximadamente 800 m até à confluência com o rio Cabrunca, após a qual o estreitamento é acentuado.

2.3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E ESTRUTURAL

2.3.1. Enquadramento geológico

Podem separar-se as unidades líticas aflorantes na área em estudo em dois tipos principais: formações sedimentares detríticas essencialmente terciárias e rochas carbonatadas de idade principalmente jurássica.

A primeira ocupa quase por completo os sectores N e W da bacia hidrográfica. No sector intermédio e ocidental desta unidade lítica dominam os depósitos paleogénicos e miocénicos de origem continental, geralmente espessos, cobertos por formações pliocénicas de base marinha e parte média continental. O topo data do Pliocénico superior e é constituído por depósitos greso-argilosos e conglomeráticos. Neste sector destacam-se ainda os terrenos aluvionares dos vales do rio Arunca e do seu afluente direito, o rio Anços. Segundo CARVALHO (2002) o traçado rígido do rio Arunca deve-se a controlo estrutural, estando relacionado com estreitas faixas de abatimento.

No sector oriental e parte do sector meridional da bacia domina a segunda unidade lítica referida, representada pelo maciço calcário da Serra de Sicó, de idade jurássica, onde o relevo é mais vigoroso. O contacto do Maciço com os terrenos do Terciário faz-se por estreita orla retalhada de materiais cretácicos. Mais a montante, a sul de Vermoil, a bacia hidrográfica ocupa maioritariamente os terrenos cretácicos e jurássicos, com excepção da margem esquerda do rio Cabrunca, cujas cabeceiras são constituídas por areias, grés e argilas pliocénicas.

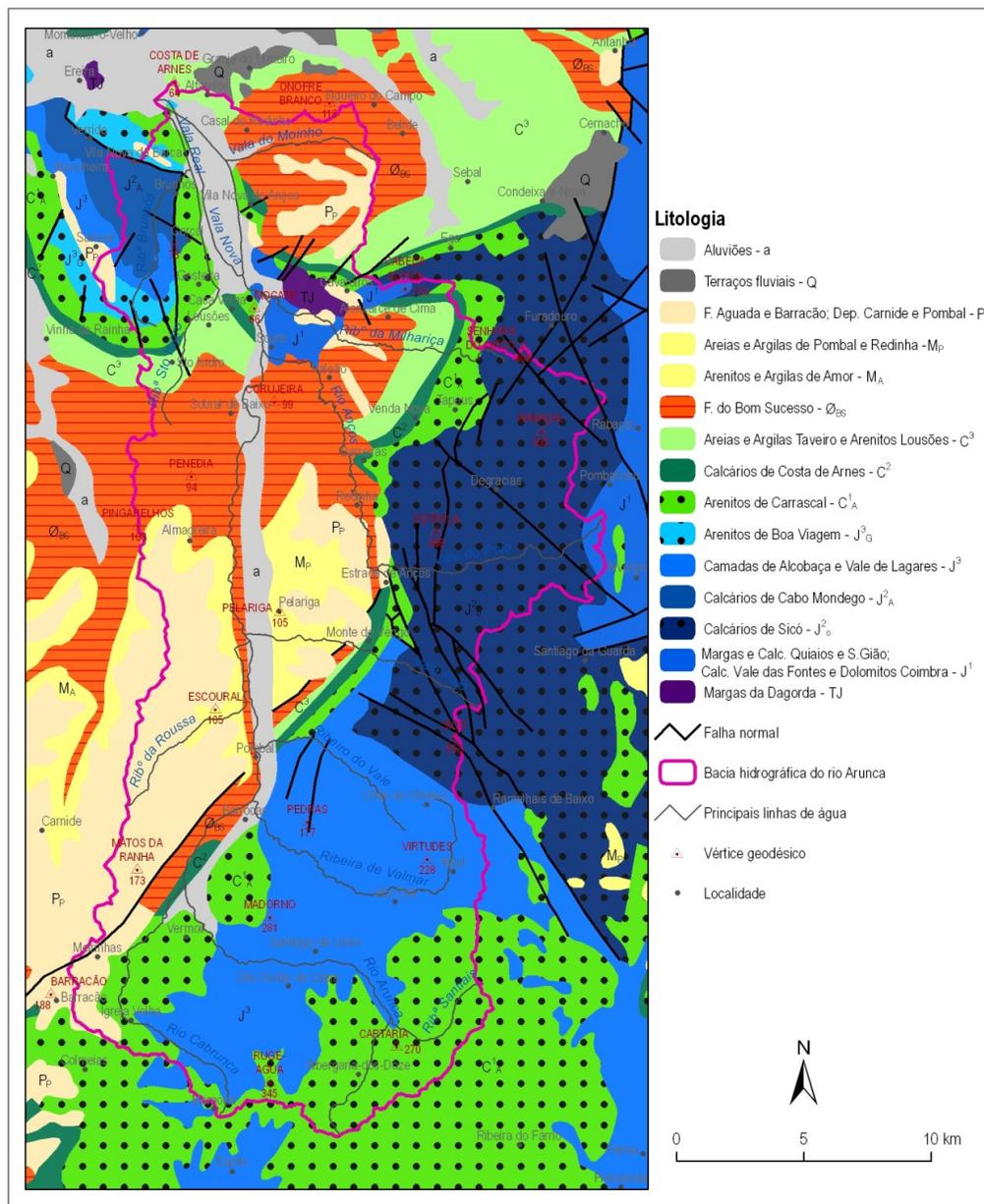
2.3.2. Litologia

A Figura 2.3-1 apresenta a litologia na bacia do rio Arunca e área envolvente, tal como cartografada na folha Norte da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (SGP, 1992).

a – Aluviões

Na bacia hidrográfica do Rio Arunca encontram-se 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.

Figura 2.3-1 - Mapa litológico na área da bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: Adaptado de SGP (1992).

Q – Terraços fluviais

Os terraços fluviais representados na Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 não incluem – por limitação imposta pela escala – os vários depósitos plistocénicos que afloram essencialmente no sector jusante da BHA na forma de terraços fluviais e tufos calcários, compostos por areias e cascalheiras. Estes apenas surgem na cartografia geológica na escala 1:50 000. A Sul, na área de Redinha e Estrada de Anços, a presença dos terraços relaciona-se com as exsurgências no bordo do maciço calcário jurássico (e.g. Fonte da Rainha). No vale do rio Anços os depósitos estendem-se até à povoação de Galeana¹⁵ 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 19-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.

P_P – Formação de Aguada e Barracão; Depósitos de Carnide e Pombal

Esta unidade lítica corresponde às areias, grés e argilas pliocénicas e ao Plio-Plistocénico indiferenciado da cartografia geológica na escala 1:50 000. A Formação de Aguada e Barracão forma genericamente uma série de planaltos entalhados pelas principais linhas de água, cujos topos inclinam suavemente de W para E.

No sector jusante da bacia identificam-se dois tipos de afloramentos:

- em Vila Nova da Barca, entre as cotas de 90 e 140 metros, constituídos por areias finas amareladas e areias argilosas finas.
- na margem direita do rio Arunca onde marcam a linha de cabeceira que separa as bacias dos rios Arunca e Ega, na área de Soure e Paleão e a Nordeste de Estrada de Anços, onde o Pliocénico é constituído por arenitos argilosos grosseiros.

No diapiro de Soure o Pliocénico surge entre os 30 e 70 m e consiste em formações arenosas continentais, com intercalações de lignito.

Os depósitos plio-pleistocénicos 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. Na área de Barracão afloram materiais pliocénicos de fácies continental, constituindo uma série de colinas, com altitude de cerca de 200 m, formado por arenitos argilosos, areias e cascalheiras.

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.

¹⁵ Localidade situada 1 km a Norte da Redinha.

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).

M_A – Arenitos e Argilas de Amor

Esta formação miocénica aflora em estreita faixa entre os materiais pliocénicos que lhe são subjacentes e a Formação do Bom Sucesso, do Terciário inferior, que a cobre. Litologicamente, encontram-se argilas margas e arenitos argilosos, mas também rochas areníticas e conglomeráticas e cascalheiras espessas.

Ø_{BS} – Formação do Bom Sucesso

Esta formação corresponde à Formação argilo-gresosa e conglomerática da Senhora do Bom Sucesso representada na cartografia geológica à escala 1:50 000.

A Formação do Bom Sucesso domina vasta área da bacia hidrográfica do rio Arunca e surge em dois grupos de afloramentos divididos pela estrutura diapírica de Soure. “A norte do diapiro o complexo constitui alguns relevos bem marcados na topografia local” (ROCHA *et al.*, 1981), como por exemplo a este do Casal do Redinho. A sul do diapiro, a formação é constituída por areias conglomeráticas mais ou menos argilosas, desenhando uma mancha extensa recortada pelos vales das ribeiras de Milhariça e da Venda Nova.

CRETÁCICO

C³ – Areias e Argilas de Taveiro e Arenitos de Lousões

Os Arenitos de Lousões afloram, na área da BHA, principalmente a oeste de Soure. Assentam sobre o Turoniano em concordância, tratando-se de uma série arenítica, por vezes de arenitos argilosos, de grão médio a fino. Acima desta série assentam em discordância os Arenitos e Argilas de Taveiro. Esta formação é observada numa estreita faixa entre Vinha da Rainha – a partir de onde se estende para Este entrando na área da bacia do Arunca –, Sto. Isidro e Lousões. É igualmente observável no sinclinal de Alencarce de Cima-Relvas, a sul do diapiro de Soure.

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.

C² – Calcários de Costa de Arnes

Esta unidade lítica do Cenomaniano corresponde aos Calcários Apinhoados de Costa de Arnes da cartografia geológica na escala 1:50 000, folha 19-C, Figueira da Foz (SGP, 1976 e ROCHA *et al.*, 1981).

Os afloramentos deste complexo – constituídos principalmente por calcários margosos e calcários oolíticos - são menos extensos que os do Cretácico inferior (C^{1A}), sendo a sua distribuição na área da bacia feita, de um modo geral, em faixas mais estreitas adjacentes a esses materiais.

Em Costa de Arnes a unidade constitui uma costeira onde os calcários afloram e estão cobertos pelas areias e argilas de Taveiro. No anticlinal de Cabeça Gorda, a este de Soure, o afloramento faz-se em estreitas faixas de menos de 100 m de largura localizadas nos flancos Norte e Sul do anticlinal. No flanco Sul, linha divisória da bacia, inflecte para SSW até Venda Nova. A oeste de Soure, um outro afloramento ondula por Casa Velha até Santo Isidro onde continua para fora da área da bacia.

Mais para montante, os afloramentos calcários surgem em afloramentos estreitos e alongados, com alinhamento NNE-SSW, entre Anços e Pombal e na área de Barreiras e Redinha.

C¹_A – Arenitos de Carrascal

Esta formação corresponde à formação com o mesmo nome representada na Carta Geológica na escala 1:50 000, folhas 19-C e 23-A (SGP, 1976 e SGP, 1974, respectivamente).

O limite inferior desta formação assenta em discordância sobre as formações do Jurássico e é constituída essencialmente por arenitos mais ou menos argilosos, finos a grosseiros e por argilas em geral arenosas. Para jusante, os Arenitos de Carrascal afloram em faixa de largura entre 500 m e 1500 m, envolvendo as estruturas anticlinais jurássicas. Na região de Soure distinguem-se os “Afloramentos de Soure” e os “Afloramentos de Cabeça Gorda”. Os primeiros afloram entre Casa Velha e a vertente ocidental do Cabeço da Mocata. No segundo conjunto, os Arenitos do Carrascal afloram na área de Tapeus, assentando em discordância sobre as formações jurássicas.

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 em Degracias e Sabugueiro e ainda a sul e este de Abiul.

No sector montante de Pombal os Arenitos de Carrascal cobrem o Jurássico superior com um complexo arenítico espesso, aflorando em mancha em duas áreas principais: a primeira estendendo-se por Santiago de Litém e Albergaria-dos-Doze e a segunda estendendo-se na região de Igreja Velha, em ambas as vertentes da bacia do rio Cabrunca.

JURÁSSICO

J³_G – Arenitos de Boa Viagem

Esta formação do Jurássico inferior (Kimmeridgiano-Portlandiano) corresponde à formação com o mesmo nome representada na Carta Geológica na escala 1:50 000, folha 19-C (SGP, 1976).

Os Arenitos de Boa Viagem afloram numa pequena faixa na cabeceira 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.

J³ – 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. Aqui, o Malm surge representado pelo “Complexo de Vale de Lagares”. Este complexo aflora entre Vermoil, Santiago de Litém, Albergaria-dos-Doze, Espite e Matas e 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. As camadas calcárias são praticamente horizontais e afloram ao longo do vale do rio Cabrunca.

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.

J²_A - Calcários de Cabo Mondego

Os Calcários de Cabo Mondego correspondem na cartografia geológica à escala 1:50 000 aos calcários, margas e calcários margosos do Batoniano e Bajociano - visíveis no sector Norte dos Calcários de Cabo Mondego - e aos calcários e margas do Caloviano observáveis no sector Sul.

Os materiais desta formação afloram no sector jusante e ocidental da bacia, a oeste e sul de Brunhós até ao paralelo de Gesteira. A série contacta por falha, a norte e a este, com os Arenitos de Boa Viagem e os Arenitos de Carrascal.

J²_O – Calcários de Sicó

Os Calcários de Sicó correspondem na cartografia à escala 1:50 000 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. O Bajociano é observável ainda nos flancos do branquianticlinal¹⁶ de Degracias.

¹⁶ Anticlinal em forma de domo ovalado, em que as camadas/estratos apresentam inclinação radial periclinal a partir da zona central do domo (in *Diccionário Geológico* disponível online em www.estrucplan.com.ar, consultado em 14/10/2008).

J¹ – Margas e Calcários de Quiaios e S. Gião, Calcários de Vale das Fontes e Dolomitos de Coimbra

Estas formações presentes na Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (SGP, 1992) correspondem aos calcários dolomíticos do Sinemuriano, às margas e calcários margosos do Carixiano-Domeriano inferior e aos calcários margosos e margas do Toarciano, tal como representados nas respectivas folhas na escala 1: 50 000.

O Sinemuriano é visível a norte e este da vila de Soure consistindo em calcários dolomíticos cristalinos e em calcários margosos compactos.

Os afloramentos do Carixiano – Domeriano (Liásico médio) consistem, na região de Verride, em calcários margosos compactos dispostos em bancadas espessas. Em Soure, estes materiais afloram na região do vértice geodésico de Mocate, e a norte de Alencarce de Cima, apresentando alternância de margas e calcários margosos tenros.

O Toarciano (Liásico superior) apresenta-se muito fracturado e consiste em pequenos afloramentos de terrenos margosos especialmente na base e no topo. É visível igualmente no diapiro de Soure de ambos os lados da falha Soure-Couce que atravessa o diapiro de WSW para ENE.

TJ – Margas da Dagorda

Esta unidade corresponde às Margas da Dagorda identificadas na Carta Geológica na escala 1: 50 000.

As Margas da Dagorda, datadas do Hetangiano (Triásico inferior) constituem os materiais aflorantes mais antigos na área da bacia do rio Arunca aflorando no núcleo do anticlinal de Soure. A litologia consiste numa série espessa de argilas cinzentas e acastanhadas. Associados à margas encontram-se níveis de calcários dolomíticos e algumas rochas eruptivas.

ROCHAS ERUPTIVAS

No sector mais jusante da bacia, a presença de rochas eruptivas está intimamente relacionada com a estrutura diapírica de Soure. É o caso dos doleritos (δ) que afloram entre Alencarce e Cavaleiros, recortando os calcários dolomíticos do Sinemuriano.

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, terminando o afloramento fora dos limites da BHA, a sul de Leiria. Este filão está datado do Cretácico inferior e apresenta uma espessura de 3 a 4 m. A rocha é muito rica em olivina, compacta e de grão fino (MANUPPELLA *et al.*, 1978).

2.3.3. Tectónica

Na área da BHA verifica-se essencialmente uma tectónica de fracturação, relacionada com a movimentação alpina (CUNHA, 1988). O desenvolvimento vigoroso do relevo no maciço calcário deve-se igualmente a dobramentos com resposta morfológica nítida, como sejam o anticlinal de Cabeça Gorda (a este do diapiro de Soure) e o anticlinal da Serra do Rabaçal (sector setentrional do maciço).

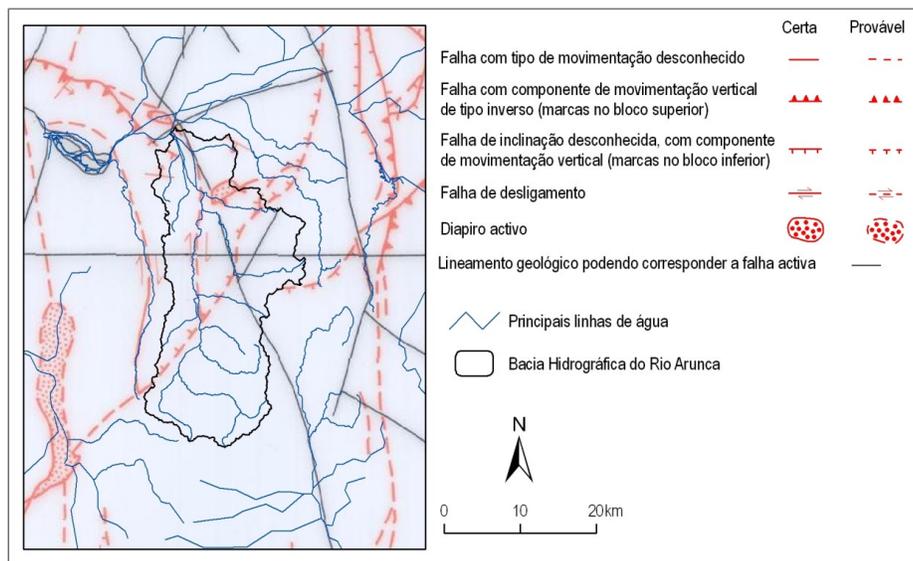
As principais direcções de fracturação observáveis na área em estudo são N-S, ENE-WSW, NNE-SSW e NW-SE.

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 na BHA. Estas falhas marcam igualmente o contacto entre a bacia terciária e o bordo do maciço calcário de Sicó (Figuras 2.3-2 e 2.3-1). 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 (Figura 2.3-2). O limite do planalto de Degracias faz-se a Este por este tipo de falhas em escadaria.

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. Fora do maciço calcário também se verificam falhas de orientação NW-SE como a falha de Brunhós-Presalves.

Figura 2.3-2 - Enquadramento regional das principais famílias de fracturas na área da BHA.



Fonte: Adaptado de SGP (1988).

O maciço calcário de Sicó é caracterizado por elevada complexidade tectónica de que são testemunhas a forte fracturação e compartimentação, observáveis na Figura 2.3-1. 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 Soure¹⁷ (MANUPPELLA *et al.*, 1978). O maciço calcário encontra-se recortado por falhas com orientação N-S nas áreas de Redinha e Monte do Verigo, rodando mais a Sul para NW-SE, orientação esta observada igualmente na área de Degracias e entre Monte Vérigo e Abiul (ver Figura 2.3-1).

Entre o sector terminal do rio Arunca e Montemor-o-Velho, CARVALHO (2002) faz referência a uma grande falha de orientação NNW-SSE que não está marcada, no entanto na Carta Geológica, quer à escala 1:500 000 (SGP, 1992) quer à escala 1:50 000 (SGP, 1976).

O traçado quase rectilíneo dos rios Anços e Arunca (principalmente a jusante de Pombal) denota claramente uma adaptação da rede de drenagem à tectónica. No caso do rio Anços, este traçado estará relacionado com as falhas sub-meridianas que limitam a ocidente as serras calcárias, enquanto no rio Arunca a rectilinearidade poderá dever-se à existência de pequenos graben, pelo menos em alguns sectores do vale (CUNHA, 1988).

Finalmente, uma referência às estruturas diapíricas, que são áreas por natureza muito fracturadas. A única estrutura diapírica existente na BHA é o diapiro de Soure que apresenta falhas e fracturas pós-pleiocénicas de orientação NE-SW, a afectar depósitos pliocénicos que cobrem as Margas da Dagorda. Relacionado com o diapiro de Soure encontra-se a este, o anticlinal de Cabeça Gorda com orientação NE-SW. Os seus flancos são muito inclinados e no núcleo, a densa fracturação origina estruturas em “teclas de piano”.

2.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

2.4.1. Enquadramento climático

O clima da bacia hidrográfica do rio Arunca é marcado pela influência mediterrânea e atlântica, podendo ser considerado como um clima mediterrâneo com influência oceânica, com Verões quentes e Invernos de temperaturas amenas. O clima mediterrâneo apresenta a singularidade de ser o único tipo climático onde ocorrem simultaneamente no tempo – na estação estival - os valores de temperatura e insolação mais elevados e os valores de precipitação mais reduzidos (DAVEAU, 1995). A influência atlântica manifesta-se mais marcadamente no Inverno, nas superfícies frontais oriundas de Oeste, responsáveis pela maior parte da precipitação que ocorre na área da bacia. A influência orográfica é um factor chave na génese e distribuição das precipitações.

¹⁷ Neste sector encontra-se a falha da Serra do Circo que corta o anticlinal da serra do Rabaçal na direcção NE-SW.

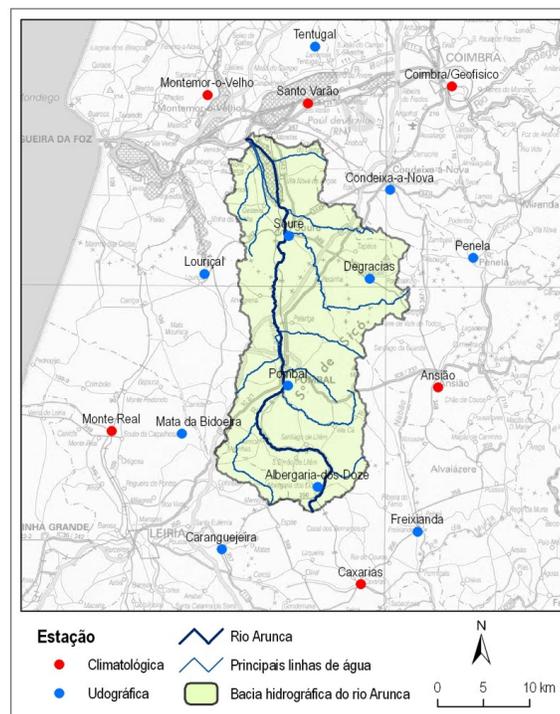
De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger actualizada com os dados de precipitação e temperatura no período 1951-2000 (KOTTEK *et al.*, 2006), a BHA apresenta um clima temperado mesotérmico, com verões quentes e secos (tipo Csb). Neste tipo climático, a temperatura média do mês mais frio situa-se entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo a temperatura média do mês mais quente inferior a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pelo menos em 4 meses ao longo do ano a temperatura média mensal é superior a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Neste tipo climático existe sempre uma estação seca, sendo a precipitação no mês mais seco inferior a 30 mm. Quanto à estação chuvosa, pelo menos 70% da precipitação média anual ocorre em apenas seis meses (STRAHLER & STRAHLER, 2000).

2.4.2. Dados meteorológicos disponíveis

De forma a melhor caracterizar o clima na área da BHA recolheram-se dados climáticos de algumas estações udográficas e climatológicas do Instituto da Água (INAG) situadas na área da bacia ou na sua envolvente e ainda dados da estação climatológica do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC) e da estação climatológica de Montemor-o-Velho (Instituto de Meteorologia - IM) (Tabela 2.4-1 e Figura 2.4-1). A existência de longos períodos de lacunas e/ou a insuficiência das séries de dados levaram a que muitos dos postos actualmente em funcionamento não pudessem ser considerados no seguimento do trabalho.

Os elementos do clima analisados a partir dos dados das estações seleccionadas foram a precipitação e a temperatura.

Figura 2.4-1 - Localização das estações seleccionadas para a caracterização climática da BHA.



Fonte: Adaptado de IGP (2005) e a partir de SNIRH (2008).

Para a análise da precipitação mensal e anual utilizaram-se os dados de quase todas as estações, obtendo-se séries completas de dados mensais para o período 1978/79 – 2005/2006 em seis estações (assinaladas a negrito na Tabela 2.4-1), quatro das quais localizadas na BHA. Exceptuando a estação de Albergaria-dos-Doze, que apresentava lacunas em vários anos hidrológicos consecutivos, as restantes estações apresentavam somente lacunas pontuais. As lacunas da estação de Albergaria-dos-Doze foram preenchidas após verificação de que a correlação com as séries de dados de ambos os postos mais próximos - Caxarias e Freixianda - era muito forte. As lacunas pontuais existentes nas restantes cinco estações foram preenchidas recorrendo aos dados de estações próximas, com as quais se verificavam valores de correlação elevados¹⁸.

Tabela 2.4-1 - Estações climatológicas e udográficas utilizadas.

Nome (Código)	Tipo	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Índice Qualidade do INAG ^{a)}
Albergaria-dos-Doze (15F/01)	Udográfica	39° 48' 12" N	8° 35' 06" W	249	*
Ansião (14G/01)	Climatológica	39° 54' 33" N	8° 26' 08" W	217	*
Caranguejeira (15E/03)	Udográfica	39° 44' 18" N	8° 42' 32" W	103	*
Caxarias (15F/02)	Climatológica	39° 42' 15" N	8° 31' 56" W	132	*
Coimbra/Geofísico	Climatológica	40° 12' 25" N	8° 25' 30" W	140	-
Condeixa-a-Nova (13G/02)	Udográfica	40° 05' 52" N	8° 29' 49" W	90	*
Degracias (13F/02)	Udográfica	40° 00' 40" N	8° 31' 13" W	326	*
Freixianda (15G/03)	Udográfica	39° 45' 25" N	8° 27' 37" W	116	13
Louriçal (13E/02)	Udográfica	40° 00' 47" N	8° 44' 00" W	37	*
Mata da Bidoeira (14E/02)	Udográfica	39° 51' 13" N	8° 45' 37" W	95	*
Montemor-o-Velho	Climatológica	40° 11' 29" N	8° 43' 51" W	15	-
Monte Real (14D/03)	Climatológica	39° 51' 19" N	8° 50' 59" W	9	15
Penela (13G/01)	Udográfica	40° 01' 49" N	8° 23' 27" W	253	15
Pombal (14F/01)	Udográfica	39° 54' 14" N	8° 37' 25" W	95	15
Santo Varão (12F/02)	Climatológica	40° 11' 08" N	8° 36' 01" W	15	15
Soure (13F/01)	Udográfica	40° 03' 12" N	8° 37' 25" W	18	14
Tentúgal (12F/01)	Udográfica	40° 14' 25" N	8° 35' 37" W	72	15

^{a)} Qualidade da série de dados expressa pela seguinte grelha de pontuação: 5 a 8 - má qualidade; 9 a 12 - qualidade média ou razoável; superior a 12 - grande fiabilidade. (*) Sem informação.

Fonte: SNIRH (2008).

Para a análise da precipitação máxima diária anual recorreu-se aos dados disponíveis desde o início de funcionamento das quatro estações situadas na BHA, de modo a obter-se o maior número de registos (vd. Tabela 2.4-2).

¹⁸ Obtiveram-se sempre valores de correlação superiores a 0,90.

As séries de dados de temperatura disponíveis são igualmente escassas e com largos períodos de lacunas, não existindo nenhuma estação localizada na área da BHA. Foram utilizados os dados das estações climatológicas presentes na Tabela 2.4-1, com exceção de Caxarias que apresentava uma série de apenas 5 anos completos. Dada a menor relevância deste elemento climático no estudo de cheias (comparativamente à variável precipitação) e a menor variação interanual das séries de temperatura mensal, optou-se por simplificar o tratamento estatístico¹⁹, de modo a permitir apenas a caracterização climática da área.

2.4.3. Precipitação

2.4.3.1. Precipitação anual e mensal média

O mapa da Figura 2.4-2 apresenta a distribuição da precipitação anual média na área da bacia hidrográfica do rio Arunca no período 1978/79 – 2005/06. O desenho das isoietas seguiu o método de interpolação linear matemática, tendo em conta as características orográficas da área em estudo e sua envolvente²⁰.

Através do mapa desta figura calculou-se a precipitação média anual ponderada sobre a bacia hidrográfica do rio Arunca em 964,6 mm.

Nos sectores mais elevados do maciço calcário registam-se valores médios de precipitação anual, no período 1978/79 – 2005/06, superiores a 1200 mm. A estação que regista o valor de precipitação anual média mais elevado é Degracias (1235,4 mm). Para sotavento deste relevo denota-se o efeito de abrigo orográfico por ele provocado, nos menores valores de precipitação anual média observados nas estações de Ansião (992,3 mm) e Penela (920,7 mm).

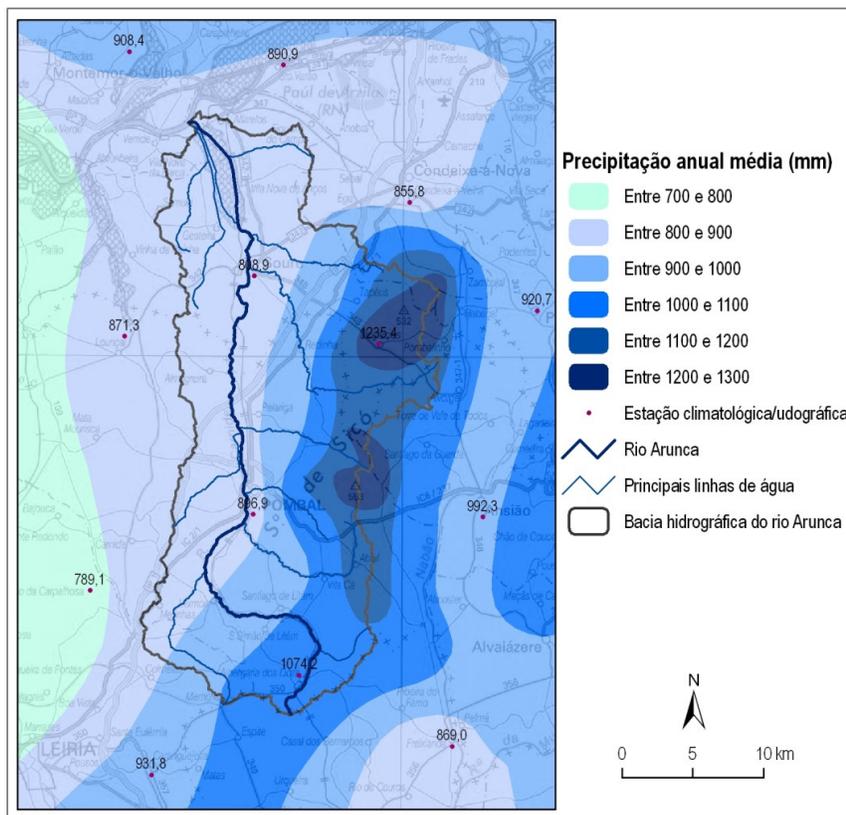
Os valores anuais médios mais reduzidos ocorrem no sector setentrional e ocidental da bacia, correspondendo às áreas de menor altitude – grosso modo, as colinas gresosas – verificando-se valores entre 800 e 900 mm.

A precipitação média mensal na bacia apresenta uma clara variação sazonal entre os meses mais chuvosos – de Outubro a Janeiro - e os meses menos chuvosos – Junho e Agosto (Figura 2.4-3).

¹⁹ Recorreu-se aos dados de temperatura mensal média, independentemente da série temporal de cada estação, para calcular a temperatura média mensal, após preenchimento de algumas lacunas pontuais. O valor médio anual obtido em cada uma das cinco estações climatológicas utilizadas foi comparado posteriormente com o mapa das isotérmicas da normal climatológica de 1931-60 do Atlas do Ambiente (APA, 2008) para aferir a coerência dos valores obtidos, não obstante o desfaseamento temporal.

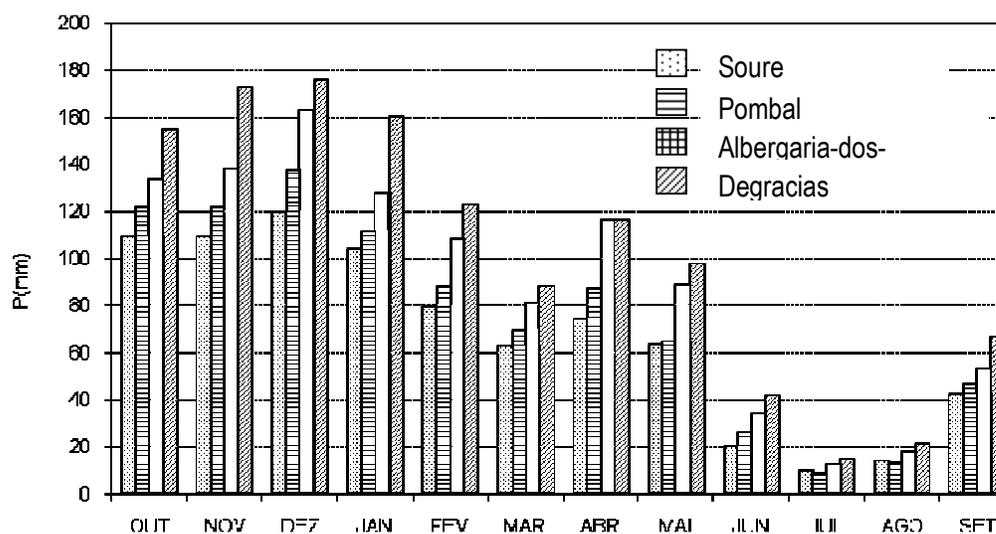
²⁰ O traçado das isoietas socorreu-se ainda do mapa da precipitação anual média do Atlas do Ambiente (APA, 2008), que recorre à Normal Climatológica 1931-60, com o intuito de verificar como naquela fonte se levou em conta a orografia na disposição das isoietas.

Figura 2.4-2 - Precipitação anual média na bacia hidrográfica do rio Arunca.



Fonte: Adaptado de IGP (2005) e a partir de SNIRH (2008).

Figura 2.4-3 - Precipitação mensal média nas quatro estações udográficas localizadas na área da BHA.



O gráfico destaca ainda dois factos interessantes: a existência de dois picos (um no mês de Dezembro e outro no mês de Abril) e o brusco aumento da média dos totais mensais de precipitação que ocorre na passagem do Verão para o Outono, entre os meses de Setembro e Outubro.

A altitude e a orografia são os factores climáticos que mais explicam a distribuição da precipitação na BHA, verificando-se um aumento gradual dos valores mensais médios de precipitação anual e mensal de jusante para montante, e de poente para nascente. Este gradiente é menos evidente nos meses de estiagem. A maior altitude e a posição geográfica da estação udográfica de Degracias conferem-lhe uma precipitação mensal média sempre superior aos restantes locais.

2.4.3.2. Precipitação diária máxima anual

Pela importância desta variável no estudo de cheias e inundações e pelo facto de as precipitações intensas ocorrerem muitas vezes concentradas e localizadas em pequenas áreas, consideraram-se na sua caracterização todos os anos para os quais existem dados em cada um dos quatro postos udométricos situados na área da bacia, independentemente da coincidência ou não das respectivas séries cronológicas.

A Tabela 2.4-2 apresenta algumas medidas de tendência central e de dispersão das quatro séries de dados de precipitação diária máxima anual.

Tabela 2.4-2 - Dados estatísticos da precipitação diária máxima anual das estações situadas na área da BHA.

Dados estatísticos	Estação Udográfica			
	Soure	Degracias	Pombal	Albergaria-dos-Doze
N.º Observações (anos)	69	28	64	17
Valor mínimo (mm)	26,0	37,9	25,0	36,2
1º Quartil (mm)	38,3	42,5	38,8	45,8
Mediana (mm)	45,2	52,3	50,0	49,9
3º Quartil (mm)	56,0	63,8	60,7	67,5
Valor máximo (mm)	120,0	135,2	104,8	216,8
Média (mm)	47,4	57,8	51,2	65,0
Desvio-padrão (mm)	15,2	21,9	16,2	41,7

O valor máximo precipitado em 24 horas registou-se em Albergaria-dos-Doze no dia 30 de Abril de 1988 (216,8 mm). Trata-se de um valor excepcional que ocorre infelizmente na estação udográfica com o menor número de observações, facto que impossibilita uma estimação precisa do seu período de retorno.

O valor máximo registado em Pombal (104,8 mm) ocorreu recentemente, a 25 de Outubro de 2006²¹.

²¹ De acordo com INAG (2007), entre as 00:30 e as 01:00 do dia 25, precipitaram em Pombal cerca de 40 mm enquanto em Soure esse valor foi de 17,5 mm. Segundo a mesma fonte, a diferença entre os valores destas duas estações manteve-se para as durações de 6 horas (86,6 mm em Pombal e 42,4 mm em Soure) e 24 horas, mostrando por um lado, a importância do factor orográfico - aqui representado pelo maciço calcário da serra de Sicó - e por outro, o carácter extremamente localizado

2.4.3.2.1. Cálculo da precipitação diária máxima anual para vários períodos de retorno

Como forma de melhor conhecer a distribuição temporal dos valores da precipitação diária máxima anual, realizou-se o seu ajustamento à função de distribuição de Gumbel. A função de distribuição de Gumbel²² é reconhecida por vários autores como a função de distribuição que melhor se ajusta à distribuição dos valores das precipitações extremas (BRANDÃO *et al.*, 2001).

Os valores de precipitação presentes na Tabela 2.4-3 correspondem aos valores máximos esperados, de acordo com a série de dados considerada. Uma vez que o número de observações é frequentemente inferior ao número de anos de alguns períodos de retorno considerados, os resultados devem ser analisados com a devida cautela.

Tabela 2.4-3 - Precipitação diária máxima anual esperada (*I*), em mm, para vários períodos de retorno.

Postos Udométricos	Período de Retorno (T)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	500
Soure	44,9	58,4	67,3	72,3	75,8	78,6	86,9	95,2	114,3
Degracias	54,2	73,5	86,4	93,6	98,7	102,6	114,6	126,5	154,1
Pombal	48,6	62,9	72,4	77,8	81,5	84,4	93,3	102,2	122,6
Albergaria-dos-Doze	58,1	95,0	119,4	133,2	142,8	150,2	173,1	195,8	248,2

Os valores médios da precipitação diária máxima anual calculados em cada posto (*cf.* Tabela 2.4-2) têm uma frequência relativamente alta dado que apresentam períodos de retorno próximos dos 2 anos. O valor médio desta variável é de, por exemplo, 57,8 mm em Degracias, sendo a precipitação diária máxima anual esperada com um período de retorno de 2 anos de 54,2 mm. Os valores máximos esperados para um período de retorno de 100 anos apresentam-se relativamente próximos de alguns valores máximos registados nas séries analisadas. Tal é o caso da estação de Pombal, cujo valor

deste tipo de fenómenos meteorológicos. O mês de Outubro de 2006 é aliás classificado em IM (2006) como um mês extremamente chuvoso sendo, em Portugal Continental, o segundo mês mais chuvoso desde 1990 e o quarto mais chuvoso desde 1931.

²² A função de distribuição de probabilidade de Gumbel é dada por: $F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\alpha)}{\beta}}}$, sendo α e β parâmetros de escala e posição respectivamente, calculados pelo método dos momentos, como a seguir se descreve:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s_x}{\pi}, \text{ sendo } s_x \text{ o desvio-padrão da série de dados e } \beta = \bar{x} - 0.5772 \alpha, \text{ sendo } \bar{x} \text{ a média da série de dados.}$$

Aplicando logaritmos à função de distribuição de probabilidade obtemos a precipitação máxima esperada para um determinado período de retorno (*I*):

$$I = \beta + [-\ln(-\ln P)]\alpha. \text{ O valor } P \text{ corresponde à probabilidade de não excedência e é dado por:}$$

$$P = 1 - \frac{1}{T} \text{ em que } T \text{ é o período de retorno em anos.}$$

máximo da série de dados é 104,8 mm, tendo-se estimado para um período de retorno de 100 anos o valor de 102,2 mm.

2.4.4. Temperatura

As séries de dados de temperatura apresentam lacunas significativas, em particular entre os anos de 1993 e 2002. Pelo facto de se terem obtido boas correlações entre as séries de temperaturas mensais médias, foi possível preencher algumas das lacunas de valores em falta e obter séries relativamente longas, como se observa na Tabela 2.4-4.

Tabela 2.4-4 - Características das séries cronológicas utilizadas no estudo do regime térmico.

Estações climatológicas	Anos com dados mensais completos	N.º de anos Completos
Ansião	1980-1982; 1984; 1987-1992; 2003-2004	12
Coimbra/Geofísico	1971-2000	30
Montemor-o-Velho	1980-1998	19
Monte Real	1980-1993; 2002; 2005	16
Santo Varão	1980-1991; 2004	13

Os dados de Coimbra/Geofísico correspondem à Normal Climatológica de 1971-2000 disponibilizada no sítio electrónico do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC, 2008). Dadas as limitações espaciais e cronológicas dos dados disponíveis e dada a sua distribuição geográfica equidistante relativamente aos limites da bacia hidrográfica optou-se por calcular a temperatura média anual e mensal na BHA (Tabela 2.4-5), calculando a média das temperaturas médias em cada uma das 5 estações.

Tabela 2.4-5 - Temperatura média mensal e anual nas estações analisadas e na BHA.

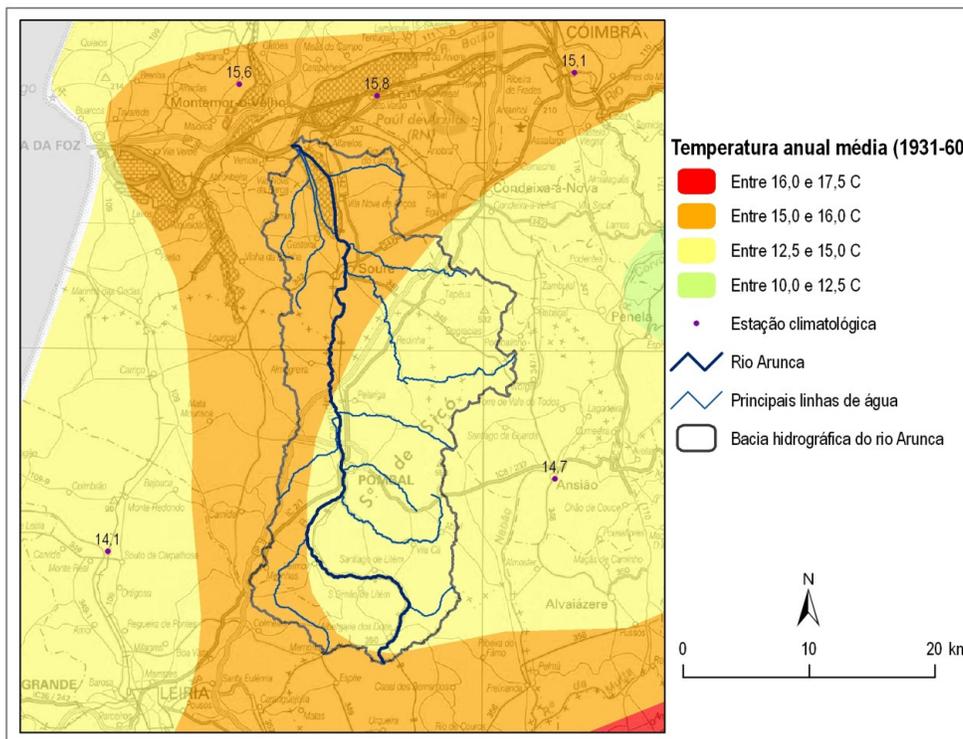
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Ansião	8,1	9,1	11,6	13,0	15,6	19,0	21,5	22,0	20,0	15,1	11,7	9,2	14,7
Coimbra/Geofísico	9,5	10,7	12,3	13,4	15,6	18,8	20,8	20,7	19,3	16,2	12,7	10,7	15,1
Montemor-o-Velho	9,8	11,1	13,1	14,2	16,5	19,3	21,1	21,2	19,8	16,8	13,4	11,1	15,6
Monte Real	9,6	10,4	12,3	13,5	15,6	18,6	20,2	20,2	19,2	16,2	13,1	10,9	14,1
Santo Varão	9,6	11,0	12,9	14,2	16,6	19,9	21,5	22,0	21,1	17,1	13,0	10,4	15,8
Média	9,3	10,5	12,4	13,7	16,0	19,1	21,0	21,2	19,9	16,3	12,8	10,5	15,2

O valor obtido pela média da temperatura média anual das cinco estações é de 15,2 °C. De acordo com o PBH Mondego (INAG, 2002a), a temperatura média mensal calculada para a área do Baixo Mondego é de 16 °C, valor que se afasta em 0,8 °C do valor médio obtido para as estações consideradas. Esta diferença não será significativa, e dever-se-á provavelmente ao facto de se terem utilizado estações e séries cronológicas não coincidentes. Por outro lado, no cálculo efectuado no presente trabalho não se pretendeu representar o Baixo Mondego mas somente a BHA.

As estações localizadas no vale do Mondego - Santo Varão, Montemor-o-Velho e Coimbra/Geofísico – registam valores de temperatura média anual superiores ao valor da estação de Ansião, situada mais a Sul e a maior altitude (Figura 2.4-4).

A Tabela 2.4-5 permite ainda observar que a estação climatológica de Ansião (217 m de altitude) é, de entre as cinco estações, aquela que apresenta valores de temperatura mais baixos em quase todo o ano, justificados pela maior altitude e afastamento em relação ao mar. No sentido oposto, a menor altitude e a proximidade ao mar explicam igualmente que a faixa setentrional e ocidental da BHA seja aquela onde as temperaturas anuais médias são mais elevadas (Montemor-o-Velho com 15,6 °C e Santo Varão com 15,8 °C tem os valores mais elevados). Pode-se concluir que quanto mais próximo do vale do Mondego, maior a temperatura média do ar, independentemente da estação do ano. Curiosamente, a estação climatológica de Monte Real (uma das estações mais próximas do mar) apresenta o valor anual médio mais baixo, o que se poderá justificar pela acção de factores topográficos locais.

Figura 2.4-4 - Temperatura média anual no período 1931-60 (informação zonal) e temperatura média anual obtida por análise das estações com dados mais recentes e disponíveis (informação pontual).



Fonte: Adaptado de IGP (2005) e a partir de SNIRH (2008).

Os dados da temperatura média anual apresentados na tabela anterior foram comparados com o mapa da distribuição da temperatura anual média disponível no Atlas do Ambiente (APA, 2008), para a normal climatológica de 1931-60, de forma a aferir de um modo expedito a validade dos resultados obtidos (v.d. Figura 2.4-4). Apesar do desfasamento temporal existente entre as duas fontes de dados, a análise da figura faz ressaltar que os valores médios pontualmente obtidos nas cinco estações – apesar da escassez e intermitência das séries de dados – se inserem nos intervalos respectivos definidos no mapa das isotérmicas da Normal Climatológica de 1931-60.

2.4.5. Balanço hídrico

Dada a dificuldade em obter dados mensais de temperatura e precipitação para um mesmo período e local (apenas Montemor-o-Velho, situada fora da bacia, apresenta ambos os dados num período relativamente longo), o balanço hídrico (Figura 2.4-5) foi realizado para as quatro estações udográficas localizadas no interior da BHA, com os dados de precipitação mensal média e temperatura mensal média calculados anteriormente (sub-capítulos 2.4.3. e 2.4.4.).

Os balanços hídricos ao nível do solo foram efectuados pela aplicação da equação do balanço apresenta em CUSTÓDIO & LAMAS (1983), tendo a evapotranspiração potencial (ETP) sido calculada pelo método empírico de Thornthwaite:

$$P = ETR + EX + \Delta R ,$$

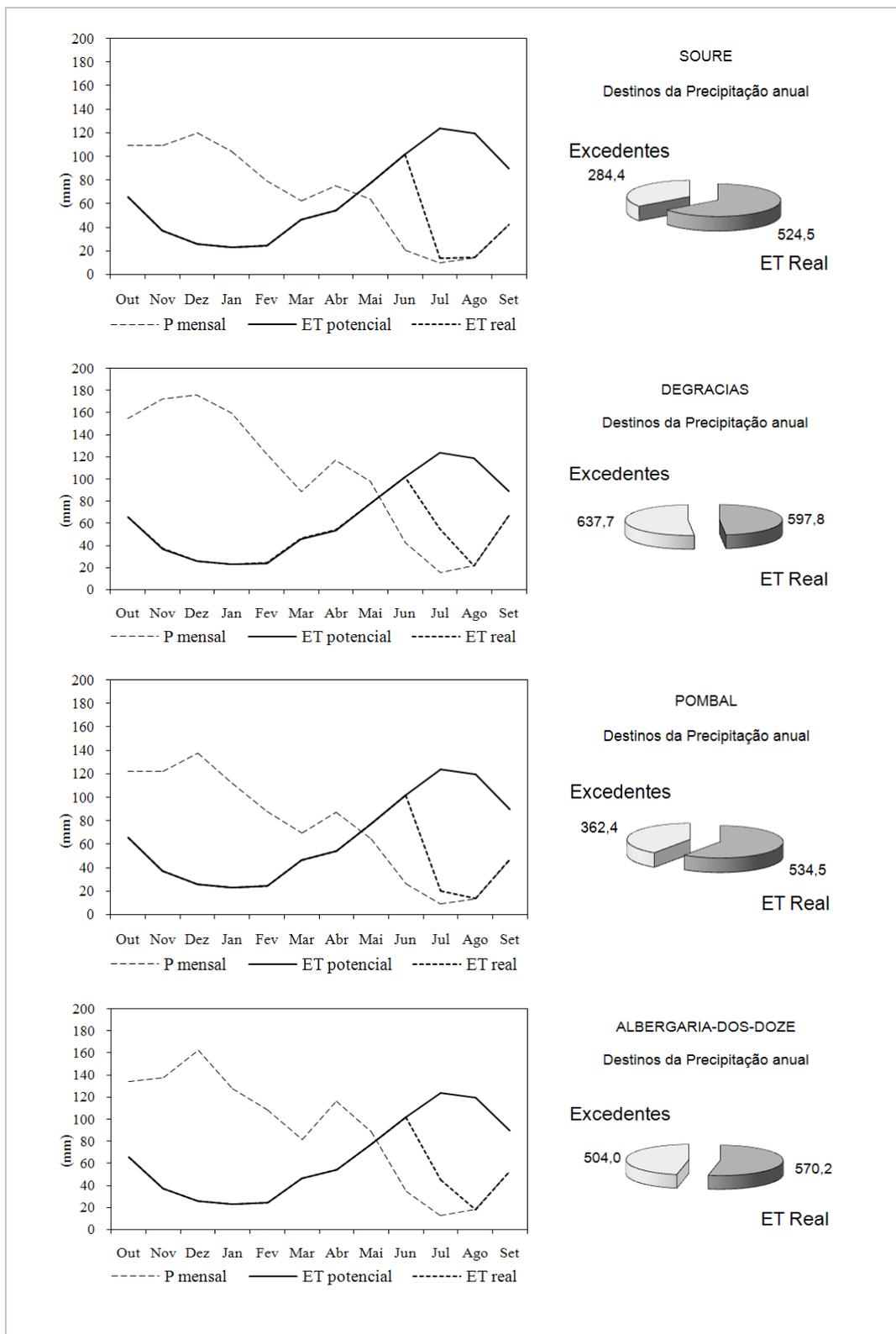
sendo P a precipitação atmosférica, ETR a evapotranspiração real, EX os excedentes hídricos (escorrência superficial e infiltração) e DR a variação na reserva de água utilizável pelas plantas (valores em mm). Considerou-se a $ETR \leq ETP$ e admitiu-se que a reserva de água utilizável pelas plantas é igual a 100 mm.

O facto de a precipitação ser mais elevada nas estações de Albergaria-dos-Doze e Degraças justifica que os valores de ETR sejam nestas estações superiores aos verificados em Pombal e Soure (534,5 mm e 524,5 mm respectivamente). Pela mesma razão, o excedente anual para infiltração profunda e escoamento superficial é superior em Albergaria-dos-Doze (504,0 mm) e Degraças (637,7 mm), sendo nesta última estação onde se verifica o valor de precipitação anual média mais elevado (1235,4 mm).

De um modo geral, os vários gráficos expressam a mediterraneidade do clima, com a coincidência no tempo da estação seca (quantitativos de precipitação mensal mais reduzidos) e da estação quente (valores de ETP mais elevados), resultando em 3 a 4 meses no ano em que a ETR não iguala a ETP por falta de disponibilidade hídrica.

No PBH Mondego foi aplicado o modelo de precipitação-escoamento de Temez para avaliar o escoamento superficial e a infiltração, a partir dos dados da precipitação e dos dados da evapotranspiração potencial (2002c); a relação entre a precipitação e o escoamento será aprofundada a outra escala nos capítulos 3 e 4, como parte do processo intermédio de estimação dos caudais de ponta de cheia.

Figura 2.4-5 - Balanço hídrico ao nível do solo na BHA.



2.5. CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA

No presente capítulo descreve-se a bacia hidrográfica do rio Arunca e os seus principais cursos de água quanto à sua morfometria, rede de drenagem e escoamento. Esta caracterização permite igualmente perspectivar quais os cursos de água com maior interesse no estudo da definição de áreas inundáveis.

2.5.1. Parâmetros morfométricos e de extensão

2.5.1.1. Parâmetros de forma

Coefficiente de Gravelius ou coeficiente de compacidade (K_c)

O Coeficiente de compacidade²³ é, de entre os parâmetros de forma, um dos mais antigos (foi criado em 1914) continuando a ser dos mais utilizados.

Se o valor se situar entre:

- 1,00 e 1,25: a forma da bacia é arredondada;
- 1,25 e 1,50: a forma da bacia é oval;
- 1,50 e 1,75: a bacia é alongada.

Deve ressaltar-se que, pelo facto de K_c não ter em conta o comprimento do curso de água principal, o valor obtido pode resultar na dissimulação do alongamento das bacias.

Quanto mais afastado de 1 for o Coeficiente de Gravelius, menor é a tendência para a ocorrência de cheias rápidas, porque menos arredondada será a bacia. O valor obtido para a BHA é de 1,672 permitindo classificar a bacia como tendo uma forma alongada.

Factor de forma (K_f)

O Factor de forma compara a forma da bacia com a de um quadrado²⁴. O valor de K_f será tanto menor quanto mais alongada for a bacia, variando geralmente entre 0,1 e 0,9. A bacia hidrográfica do rio Arunca apresenta um valor de K_f de 0,177, facto que vem confirmar a forma alongada da bacia sugerido pelo coeficiente de Gravelius.

²³ O seu cálculo faz-se através da fórmula $K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$, sendo P o perímetro (km) e A a área (km²).

²⁴ A sua fórmula é $K_f = \frac{A}{L^2}$, sendo L o comprimento da linha de água principal (km) e A a área (km²).

2.5.1.2. Parâmetros descritivos do relevo

Altura média ($H_{méd}$) e altitude média

A altura média de uma bacia é dada pelo quociente entre o volume e a área. Estes valores foram obtidos com recurso à extensão *Spatial Analyst* do programa de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) *ArcGIS 9.2*, utilizando a altimetria da Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000. Através deste método de cálculo, a bacia hidrográfica do rio Arunca apresenta uma $H_{méd}$ de 147,0 metros.

A altitude média é obtida com o mesmo programa *ArcGIS 9.2*, calculando a média das cotas de cada pixel que compõe o Modelo Digital de Terreno (MDT), sendo esse valor médio de 151,0 metros.

Percurso médio do escoamento ($P_{méd}$)²⁵

Este parâmetro representa o percurso rectilíneo da água da chuva desde o ponto de queda até à linha de água mais próxima, indicando a distância média entre as linhas de cabeceira da bacia e sub-bacias e os respectivos talwegues. O percurso médio do escoamento está intrinsecamente relacionado com a densidade da rede de drenagem. Quanto maior esta for, menor será o percurso médio de escoamento. O valor de $P_{méd}$ na BHA é de 0,073 km, ou seja, 73 metros.

Declividade média da bacia ($D_{méd}$)

A declividade média da bacia é calculada com recurso à extensão *Spatial Analyst* do programa *ArcGIS 9.2*. O valor de $D_{méd}$ da BHA é de 10,97%. Em graus, e recorrendo às mesmas ferramentas e informação matricial, o valor obtido é de 6,20°.

2.5.2. Parâmetros de caracterização da rede de drenagem

A geometria da rede de drenagem foi extraída das folhas da Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000. Esta informação geográfica foi analisada com recurso a ferramentas SIG, de forma a calcular os parâmetros que de seguida se apresentam.

Densidade de drenagem (D_d)

A densidade de drenagem²⁶ relaciona o comprimento das linhas de água de uma bacia com a respectiva área. Teoricamente, quando a D_d é inferior a 0,5 km.km⁻² a bacia é muito mal drenada. Os valores de D_d até 3,5 km.km⁻² indicam uma bacia com uma boa drenagem. Para valores superiores a 3,5 km.km⁻² as bacias são muito bem drenadas (LENCASTRE & FRANCO, 2006). Numa bacia com elevada densidade de drenagem o tempo de percurso das águas sobre as vertentes é menor comparativamente a uma bacia

²⁵ A sua fórmula é $P_{méd} = \frac{A}{4.L_t}$, sendo L_t o comprimento total das linhas de água (km)

²⁶ A densidade de drenagem é dada por, $D_d = \frac{L_t}{A}$, sendo L_t o comprimento total dos cursos de água (km) e A a área (km²).

Neste último sector, os afloramentos cretácicos apresentam valores de D_d superiores a 3,5 km.km⁻². A classe de D_d inferior a 0,5 ocorre em poucos sectores da bacia - na foz do rio Arunca e próximo do V.G. Sicó - relacionado neste último com a elevada permeabilidade das rochas cársicas.

Densidade hídrica (D_h) ou frequência de talveques elementares

A densidade hídrica²⁷ permite identificar e distinguir os sectores ou bacias que têm maior capacidade de gerar novos cursos de água, distinção esta não efectuada pela densidade de drenagem que pode ter valores semelhantes, quer para bacias com segmentos fluviais numerosos e curtos, quer para bacias com segmentos fluviais escassos e longos. Tal distinção é tornada possível tomando em conta apenas os canais elementares. Os canais elementares são os canais que recebem a ordem 1 segundo a classificação da hierarquia fluvial de Strahler.

O valor de D_h na BHA é de 4,7 o que significa que em média existem 4,7 canais elementares por km². RAMOS *et al.* (2005) apresentam para a ribeira de Odivelas um valor de D_h igual a 4, o qual classificam como definindo uma bacia bem drenada. Os sectores da bacia hidrográfica do rio Arunca onde D_h é inferior à média localizam-se nas áreas cársicas e os sectores onde este valor é mais elevado correspondem às áreas de domínio de materiais argilosos e areníticos²⁸ nomeadamente, no sector a montante de Santiago de Litém.

Coefficiente de torrencialidade (C_t)

O coeficiente de torrencialidade²⁹ é um parâmetro descritivo da rede de drenagem que permite inferir sobre o tempo de resposta de uma bacia a um evento pluviométrico. O cálculo do C_t é especialmente importante no estudo de cheias rápidas e principalmente válido para bacias pequenas porque estas apresentam maior homogeneidade. Quanto maior o valor de C_t maior é a torrencialidade.

O coeficiente de torrencialidade obtido para a BHA é de 15,9. A bibliografia existente é escassa quanto à leitura deste valor, não permitindo aferir com clareza sobre a sua classificação. Num trabalho de caracterização da bacia hidrográfica do rio Cávado, ALEXANDRE (1995) indica para a ribeira de Madorno (sub-bacia do rio Cávado, sobre rochas graníticas muito fracturadas) o valor de C_t de 41,22. Noutra sub-bacia (ribeira da Corga dos Carigos, sobre xistos) obteve-se um valor de 19,87. Em SANTOS (2005) o autor obteve em duas pequenas sub-bacias da região de Sintra (afluentes do rio Lizandro, ambos sobre calcários) valores de 23,81 na ribeira de Godigana e 6,88 na ribeira do Ral. REIS (1996) calculou para a ribeira de Colares (no concelho de Sintra) o valor de 11,27. Nesta bacia, as duas sub-bacias com valores mais díspares são as sub-bacias de Mosqueiros (35,65) e Vicente-Urca (8,39). Com base nestes exemplos, pode-se concluir que o C_t na BHA é um valor mediano.

²⁷ Calculada pela expressão $D_h = \frac{N_1}{A}$, em que N_1 é o número de canais de ordem 1 na hierarquia fluvial de Strahler.

²⁸ Comparativamente com os materiais cársicos, os materiais argilosos e areníticos são caracterizados por menor infiltração.

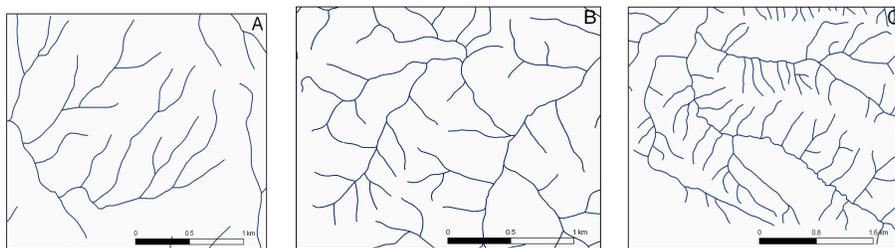
²⁹ O seu cálculo é obtido pela fórmula $C_t = D_d \cdot D_h$.

Padrão de drenagem

O padrão de drenagem dominante na BHA é o padrão dendrítico típico (Figura 2.5-2-B) - em que a rede hidrográfica se desenvolve numa configuração semelhante à de uma árvore - característico das rochas de idêntica resistência ou das áreas de estruturas sedimentares horizontais (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Enquanto a litologia explica o padrão de drenagem dominante, o controlo estrutural parece ser o principal factor explicativo da presença na bacia hidrográfica do rio Arunca de algumas variantes ao padrão dendrítico típico. Uma dessas variantes é o padrão dendrítico pinado (Figura 2.5-2-A), no qual se verifica a existência de tributários paralelos entre si e que confluem com as linhas de água de hierarquia superior por meio de ângulos agudos. A este propósito, CARVALHO (2002) refere que as ribeiras da margem direita do Arunca, como é o caso da ribeira de Valmar, têm tendência para um padrão paralelo, por talharem áreas de maior deformação tectónica, no bordo ocidental do maciço calcário de Sicó.

Figura 2.5-2 - Padrões de drenagem típicos da BHA. A – Padrão dendrítico pinado na bacia da ribeira de Valmar, em Cardiais; B – Padrão dendrítico típico na bacia da ribeira de Brunhós, a oeste de Brunhós; C – Padrão dendrítico com características de drenagem paralela e em treliça, na bacia do rio Cabrunca em Gracios/Igreja Velha.



Na Figura 2.5-2-C é visível a descaracterização da drenagem dendrítica, sendo evidentes alguns traços típicos de drenagem paralela e em treliça na bacia do rio Cabrunca³⁰.

Hierarquia fluvial

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.

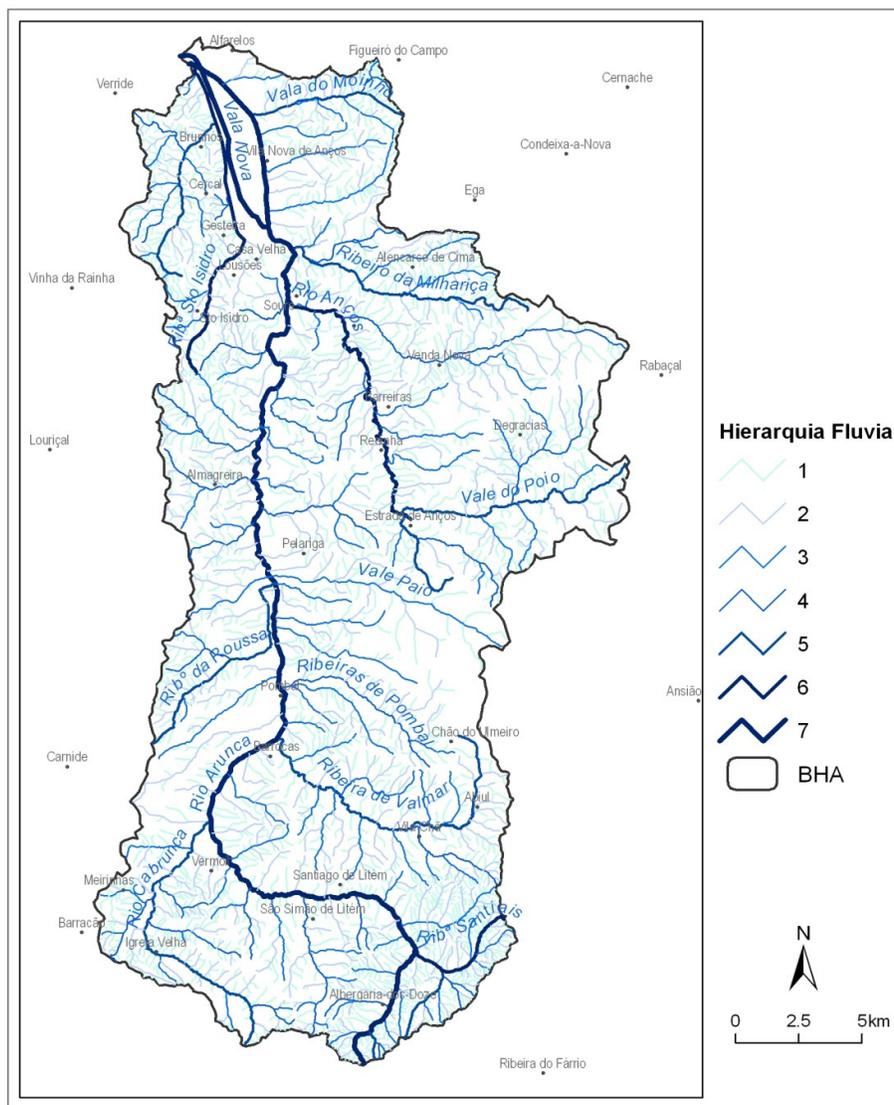
De entre os três principais métodos de hierarquização dos cursos de água adoptou-se o método de Horton. Não sendo o mais utilizado, considerou-se que é o mais adequado à bacia do Arunca pelo facto de manter o mesmo nível hierárquico em toda a extensão de cada linha de água principal em cada sub-bacia e na bacia principal. Esta característica foi considerada adequada para lidar com a existência de cursos de água que apresentam elevado desenvolvimento da sua rede de drenagem subterrânea, como é o caso do rio Anços. O caudal deste rio é de tal forma importante logo na sua nascente, que seria inadequado atribuir-lhe o nível hierárquico de um canal elementar.

³⁰ No padrão em treliça a linhas de água apresentam troços em que seguem paralelas mas confluem sempre em ângulo recto.

Caracterização da bacia hidrográfica do rio Arunca

O mapa da Figura 2.5-3 ilustra a hierarquia fluvial na BHA. O maior nível hierárquico é alcançado no rio Arunca, com o nível 7. Três linhas de água apresentam o nível 6 – o rio Anços, a ribeira de Santiais e um curso de água sem nome conhecido que passa a este da povoação de Santo Isidro, no concelho de Soure, ao qual foi atribuído o nome de ribeira de Santo Isidro.

Figura 2.5-3 - Hierarquia fluvial segundo o método de Horton na BHA.



Fonte: A partir de IGEOE (várias datas).

Nas áreas de maior densidade de drenagem, a rede de drenagem não necessita de muita extensão para atingir níveis hierárquicos elevados, como na área de Albergaria-dos-Doze, onde se verificam muitos cursos de água com hierarquia fluvial 4 e 5, porque a litologia é composta de materiais areníticos (Arenitos de Carrascal) e calcários margosos onde a infiltração é menor, potenciando o escoamento superficial e o estabelecimento de uma hierarquia hídrica mais desenvolvida.

A Tabela 2.5-1 resume os principais parâmetros fisiométricos da bacia e da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Arunca.

Tabela 2.5-1 - Quadro-resumo dos parâmetros fisiométricos e da rede de drenagem da BHA.

Parâmetros	Valor
Coefficiente de compacidade	1,672
Factor de forma	0,177
Altitude média (m)	151,0
Altura média (m)	147,0
Percurso médio do escoamento (km)	0,073
Declividade media (%)	10,97
Densidade de drenagem (km/km ²)	3,41
Densidade hídrica	4,7
Coefficiente de torrencialidade	15,9

2.5.3. Principais cursos de água

Na Tabela 2.5-2 identificam-se os principais cursos de água e alguns dos seus dados fisiométricos (*v.d.* também Figura 2.5-3). Foram consideradas como cursos de água principais aqueles cuja hierarquia fluvial de Horton é superior ou igual a 5. Incluiu-se neste grupo o ribeiro do Vale (nível hierárquico igual a 4), principal linha de água das várias que confluem na cidade de Pombal, dada a vulnerabilidade quanto à ocorrência de cheias e inundações que aqui se verifica.

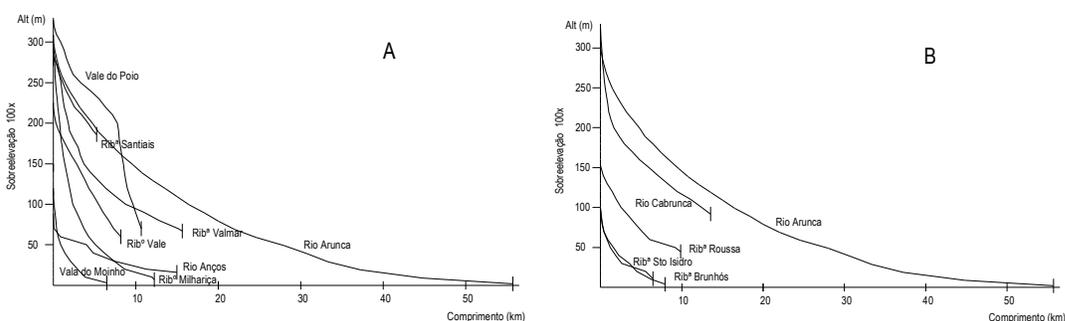
Tabela 2.5-2 - Principais cursos de água da BHA.

Curso de água	Área da bacia (km ²)	Linha de água principal				
		Comprimento (km)	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	Desnível (m)	Declive longitudinal (%)
Rio Arunca	550,09	55,76	309	3	306	0,5488
Rio Anços	112,74	15,01	89	16	73	0,4863
Ribeira de Valmar	48,99	15,66	283	67	216	1,3793
Vale do Poio	38,40	10,95	327	65	262	2,3925
Rio Cabrunca	35,30	13,54	327	92	235	1,7356
Ribeiro da Milhariça	27,82	12,24	296	7	289	2,3611
Ribeiro do Vale	19,87	8,22	225	59	166	2,0195
Ribeira de Brunhós	18,42	7,93	101	4	97	1,2232
Ribeiro da Roussa	15,54	9,87	153	45	108	1,0942
Ribeira de Sto Isidro	11,91	6,46	100	11	89	1,3777
Ribeira de Santiais	11,44	5,27	301	189	112	2,1252
Vala do Moinho	10,77	6,51	116	3	113	1,7358

O rio Arunca é um afluente de 1ª ordem do rio Mondego. As suas maiores sub-bacias são a do rio Anços, da ribeira de Valmar, do ribeiro da Milhariça e o ribeiro do Vale – na margem direita – e do rio Cabrunca na margem esquerda. O rio Anços é o principal afluente do rio Arunca, confluindo com este na vila de Soure. Trata-se de um curso de água perene cuja nascente se situa na localidade de Estrada de Anços. É de salientar que alguns cursos de água - ribeiro da Milhariça, ribeira de Santiais, ribeiro do Vale e Vale do Poio - apresentam declive longitudinal superior a 2%.

A linha de água com maior desnível é o rio Arunca, apresentando contudo um fraco declive em virtude de grande parte do seu percurso se fazer sobre a planície aluvial (v.d. Figura 2.5-4 A e B).

Figura 2.5-4 - Perfil longitudinal dos afluentes da margem direita (A) e da margem esquerda (B) do rio Arunca.



A figura evidencia um perfil longitudinal do rio Arunca com poucas quebras de declive, não obstante a elevada sobrelevação necessariamente utilizada. A este respeito, CARVALHO (2002) menciona que quando as linhas de água se instalam em unidades líticas mais friáveis (areno-argilosas), o seu declive é mais suave e o perfil longitudinal é do tipo convexo-côncavo, havendo uma passagem gradual para o fundo aluvial. Quando os cursos de água entalham unidades menos friáveis, o perfil é mais abrupto no contacto com os aluviões.

A Figura 2.5-4-B permite observar que os afluentes da margem esquerda – aqueles que entalham os materiais friáveis da bacia terciária – apresentam um declive mais suave no seu curso superior. Por oposição, os afluentes da margem direita – alguns dos quais entalham materiais mais compactos – apresentam declives mais elevados no seu curso superior. O rio Cabrunca, apesar de ser um afluente esquerdo do rio Arunca, escapa a este padrão e apresenta um curso superior com elevado declive (nos primeiros 3 km) por o seu percurso superior e médio se fazer sobre unidades menos friáveis.

O Vale do Poio, afluente do rio Anços, é a linha de água de perfil longitudinal mais irregular, chegando este a apresentar-se convexo no seu sector intermédio. Nesta linha de água observa-se um forte declive na área onde o canhão cársico corta a escarpa de falha (RODRIGUES *et al.*, 2007). Em apenas 1,2 km de extensão a cota da linha de água passa de 200 a 120 m (declive de 6,7%).

A Figura 2.5-4-A evidencia ainda a significativa quebra de declive que se verifica no rio Anços entre os 50 e os 40 metros de altitude, na localidade de Redinha.

2.5.4. Regime de escoamento

A análise do regime do escoamento apoia-se fundamentalmente nos dados da estação hidrométrica de Ponte Mocate, a única estação com dados disponíveis para o rio Arunca actualmente em funcionamento (Tabela 2.5-3).

Tabela 2.5-3 - Identificação da estação hidrométrica de Ponte Mocate.

Código	Latitude	Longitude	Área da Bacia (km ²)	Altitude da estação (m)	Tipo de Equipamento	Início de Funcionamento
13F/04H	40° 4' 48" N	8° 38' 20" W	465,61	7	Sensor de nível	1972

Fonte: SNIRH (2008).

A estação de Ponte Mocate, pertencente à rede hidrométrica do INAG, está instalada numa ponte sobre o rio Arunca, a norte de Soure, na planície aluvial. As margens do leito normal são constituídas por diques de terra. O fundo do leito é composto por areia e vegetação ripícola herbácea e arbustiva. A actual Curva de Vazão é:

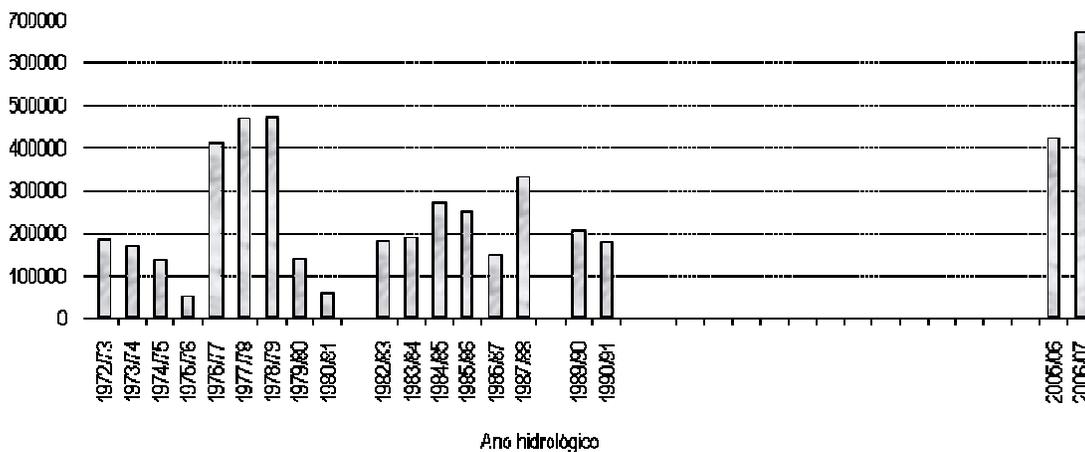
$$Q = 30,37671 \times (h - 0,42709)^{1,1874}$$

sendo Q o caudal em m³/s e h a altura hidrométrica em metros.

Para a análise dos escoamentos mensais e anuais utilizaram-se dados dos anos hidrológicos de 1972/73 a 1990/91 (com excepção dos anos hidrológicos de 1981/82 e 1988/89 que apresentam várias lacunas) e ainda dados dos anos hidrológicos de 2005/06 e 2006/07, disponibilizados pelo INAG através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

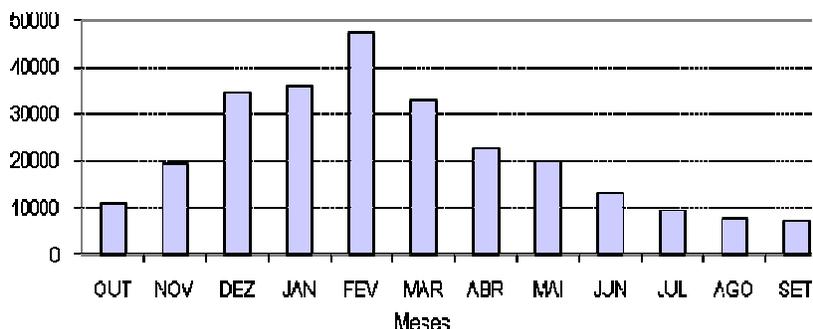
Neste período o escoamento médio anual foi de 260 077 dam³, sendo a variação interanual bastante significativa. O valor mínimo registou-se no ano hidrológico de 1975/76 (51 032 dam³) e o valor máximo no ano hidrológico de 2006/07, com 671 951 dam³ (Figura 2.5-5).

Figura 2.5-5 - Escoamento médio anual (dam³) na estação hidrométrica de Ponte Mocate no período analisado.



A nítida variação sazonal dos valores do escoamento médio mensal em Ponte Mocate expressa na Figura 2.5-6 permite concluir que o escoamento apresenta um regime simples pluvial.

Figura 2.5-6 - Escoamento médio mensal (dam³) na estação hidrométrica de Ponte Mocate no período analisado.



Quanto aos caudais máximos anuais instantâneos apenas existem dados disponíveis até 1990/91 (Tabela 2.5-4). Constatando-se pela leitura da Figura 2.5-3 que o mês de Fevereiro é aquele que destacadamente apresenta o maior valor de escoamento médio mensal, observa-se na Tabela 2.5-4 que, em 18 anos, por nove vezes o caudal máximo instantâneo ocorreu entre 30 de Janeiro e 7 de Março, cinco das quais no mês de Fevereiro.

Tabela 2.5-4 - Caudais máximos anuais instantâneos na estação de Ponte Mocate.

Ano hidrológico	Caudal (m ³ /s)	Dia da ocorrência	Ano hidrológico	Caudal (m ³ /s)	Dia da ocorrência
1972/73	144,08	17/01/1973	1981/82	552,32	31/12/1981
1973/74	104,07	16/01/1974	1982/83	33,37	16/05/1983
1974/75	200,57	05/03/1975	1983/84	99,20	01/04/1984
1975/76	7,01	15/09/1976	1984/85	130,62	16/02/1985
1976/77	130,17	03/02/1977	1985/86	127,54	24/02/1986
1977/78	244,95	02/03/1978	1986/87	97,40	25/02/1987
1978/79	145,73	09/02/1979	1987/88	143,83	30/01/1988
1979/80	115,39	15/10/1979	1989/90	108,55	21/12/1989
1980/81	13,81	02/04/1981	1990/91	(vd) 226,14	07/03/1991

(vd) Valor calculado diferente do valor introduzido.

Fonte: SNIRH (2008).

O maior valor registado ocorreu a 31 de Dezembro de 1981 (552,32 m³/s)³¹ e o menor valor em 15 de Setembro de 1976 (7,01 m³/s).

Na elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Mondego foram calculados caudais de ponta de cheia para o rio Arunca em Soure e Pombal considerando vários períodos de retorno, recorrendo ao

³¹ Em DGRADR (1986) surge o caudal máximo instantâneo de 864,69 m³/s como tendo ocorrido a 30/12/1982 mas actualmente este valor não consta dos dados disponibilizados no SNIRH.

programa de modelação hidrológica HEC-1, segundo a metodologia do *Soil Conservation Service* (SCS), apresentados na Tabela 2.5-5.

O maior caudal máximo instantâneo ocorrido em Ponte Mocate entre 1972/73 e 1990/91 teria um período de retorno entre 25 e 50 anos, se atendermos ao valor estimado no PBH Mondego para Arunca-Soure.

Tabela 2.5-5 - Caudais de ponta de cheia apresentados no PBH Mondego.

Período de retorno (anos)	Caudal (m ³ /s)	
	Arunca-Soure (A = 436 km ²)	Arunca-Pombal (A = 177 km ²)
5	327	169
10	410	212
25	518	268
50	602	311
100	685	354
500	882	455
1000	967	498

A maior parte das linhas de água identificadas não apresentam escoamento ao longo de todo o ano, sendo portanto classificadas como intermitentes. Os cursos de água perenes são o rio Arunca, o rio Anços, a ribeira de Santiais (segundo alguns testemunhos orais recolhidos) e a ribeira do Ourão, afluente da margem direita do rio Anços localizado perto das povoações de Figueirinha e Marco do Sul, a leste da via rodoviária Itinerário Complementar n.º 2 (IC2). A ribeira do Ourão tem pouco mais de 1 km de extensão mas é, tal como o rio Anços, alimentada por forte escoamento subterrâneo em meio cársico, existindo na sua nascente captações de água para abastecimento dos concelhos de Soure e Pombal³².

Verifica-se que as bacias que drenam em áreas de relevo cársico – localizadas principalmente na margem direita do rio Arunca – apresentam maior constância do escoamento.

2.6. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Na área da bacia do rio Arunca encontram-se definidos em ALMEIDA *et al.* (2000) os seguintes sistemas aquíferos:

- aquíferos porosos ou essencialmente porosos: Aluviões do Mondego (O6), Figueira da Foz - Gesteira (O7), Ourém (O15), Louriçal (O29), Condeixa - Alfarelos (O31);
- aquíferos cársicos: Verride (O8), Penela - Tomar (O9), Sicó - Alvaiázere (O11).

Na Tabela 2.6-1 sintetizam-se as características dos sistemas aquíferos mencionados, de acordo com ALMEIDA *et al.* (2000) e localizados na Figura 2.6-1. Apresenta-se também a área respectiva na BHA.

³² Contudo, pelo facto de apresentar a ordem 2 nas classificações hierárquicas de Horton e Strahler, não surge entre as principais linhas de água da bacia.

Caracterização da bacia hidrográfica do rio Arunca

Tabela 2.6-1 - Características dos sistemas aquíferos na área da BHA.

Sistema aquífero - Aluviões do Mondego	
Área na BHA – (km ²)	11,19
Formações aquíferas dominantes	Aluviões (Holocénico)
Características gerais	Sistema aquífero livre a confinado/semiconfinado, poroso, multicamada
Funcionamento hidráulico	O sistema recebe recarga directa da precipitação e de influência dos cursos de água superficiais; admite-se a recarga a partir dos sistemas aquíferos marginais que se prolongam sob as aluviões
Balanço Hídrico	Recursos renováveis entre 45 a 50 hm ³ /ano
Sistema aquífero - Figueira da Foz – Gesteira	
Área na BHA – (km ²)	23,59
Formações aquíferas dominantes	Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cenomaniano-Turoniano inferior)
Características gerais	Sistema aquífero multicamada, essencialmente poroso, livre a confinado
Funcionamento hidráulico	O rio Mondego separa o sistema em dois sectores, onde se faz sentir o efeito hidrodinâmico e hidroquímico das marés, constituindo o seu vale, quer uma zona de recarga, quer de descarga do sistema aquífero
Balanço Hídrico	Em termos médios, entradas iguais às saídas = 9,5 hm ³ /ano
Sistema aquífero – Ourém	
Área na BHA – (km ²)	27,41
Formações aquíferas dominantes	Arenitos do Carrascal (Cretácico inferior); Complexo Carbonatado (Cenomaniano)
Características gerais	Sistema aquífero multicamada, predominantemente confinado
Funcionamento hidráulico	A área principal de recarga directa ocorre nas regiões altas, a norte e noroeste; parece haver conexão hidráulica entre este sistema e o de Pousos-Caranguejeira
Balanço Hídrico	Recarga provável = 10 hm ³ /ano, saídas conhecidas = 4 hm ³ /ano
Sistema aquífero - Lourçal	
Área na BHA – (km ²)	215,68
Formações aquíferas dominantes	Arenitos do Carrascal, Calcários Apinhoados da Costa de Arnes, Arenitos Finos de Lousões (Cretácico superior); Formações do Miocénico e Paleogénico indiferenciados; Depósitos Plio-quadernários
Características gerais	Sistema multiaquífero constituído por três subsistemas: Cretácico, Miocénico e Plio-Quadernário. <u>Subsistema Cretácico</u> : essencialmente poroso, de produtividade média, multicamada, livre a confinado; <u>Subsistema Miocénico</u> : poroso, de produtividade baixa a média, semiconfinado a confinado; <u>Subsistema Plio-Quadernário</u> : contem duas unidades aquíferas: (1) superficial, freática; (2) inferior, semiconfinada
Funcionamento hidráulico	Sistema aquífero bastante complexo, mas em que existirá alguma drenância entre as unidades adjacentes; <u>Subsistema Cretácico</u> : recarga directa da precipitação a oriente, norte e oeste (a oeste pode haver recarga diferida através da cobertura plio-quadernária); <u>Subsistema Miocénico</u> : recarga directa da precipitação (ou através de drenância quando as camadas mais permeáveis não afloram); <u>Subsistema Plio-Quadernário</u> : recarga directa da precipitação, apresenta uma taxa de drenância de 100 mm para o Subsistema Miocénico
Balanço Hídrico	<u>Subsistema Cretácico</u> : entradas = 7 hm ³ /ano, saídas = 7 hm ³ /ano; <u>Subsistema Miocénico</u> : recarga média anual = 30 a 40 hm ³ /ano; <u>Subsistema Plio-Quadernário</u> : recursos médios renováveis = 25 hm ³ /ano
Sistema aquífero - Condeixa – Alfarelos	
Área na BHA – (km ²)	42,30

Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico. Estudo comparativo na bacia hidrográfica do rio Arunca.

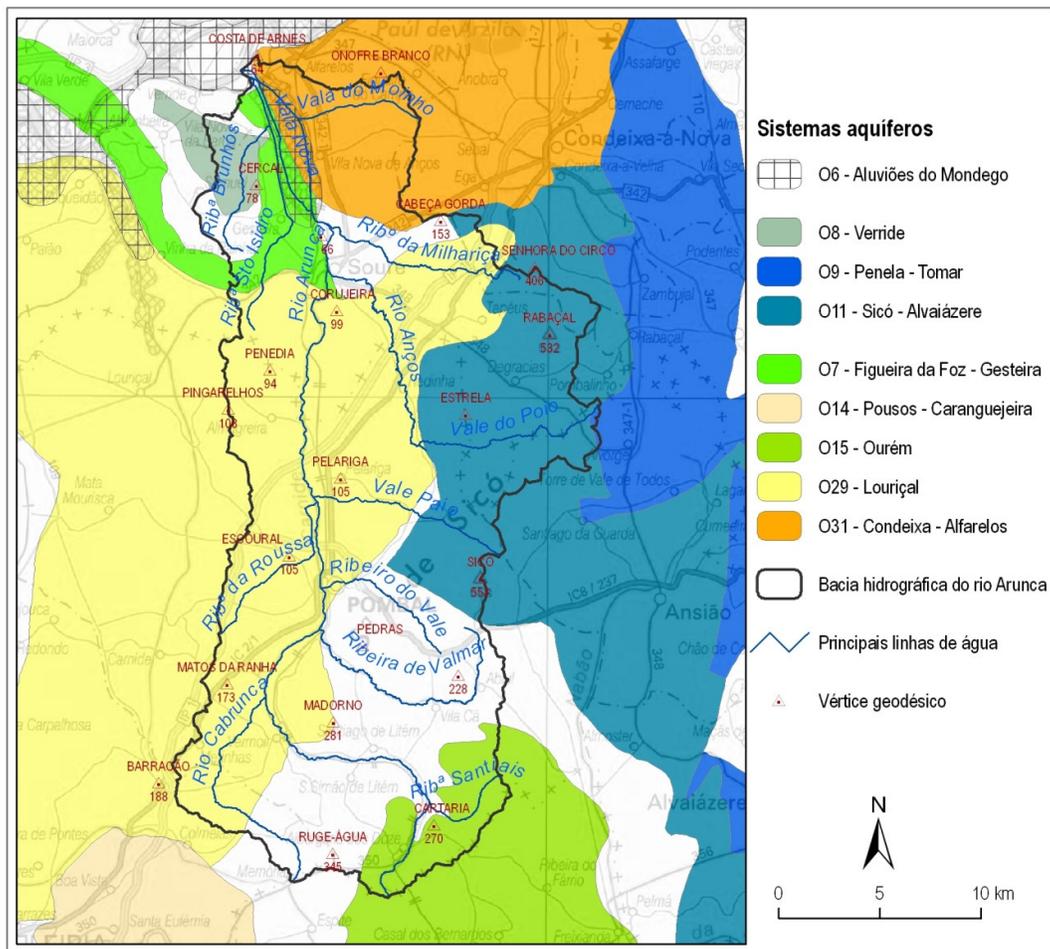
Tabela 2.6-1 (continuação).

Formações aquíferas dominantes	Arenitos Finos de Lousões, Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cretácico superior); Arenitos de Carrascal (Cretácico inferior)
Características gerais	Sistema aquífero essencialmente poroso, multicamada em que as três unidades aquíferas são independentes do ponto de vista hidráulico; Sistema livre a confinado (semiconfinado?)
Funcionamento hidráulico	O sistema recebe recarga directa através da precipitação que cai sobre a superfície dos afloramentos permeáveis do sector sul; eventual recarga indirecta e diferida através das aluviões dos cursos de água que atravessam as camadas aquíferas do Cretácico inferior (ex: rio de Mouros)
Balanço Hídrico	Entradas conhecidas = 3 hm ³ /ano; saídas conhecidas = 3 hm ³ /ano
Sistema aquífero – Verride	
Área na BHA – (km ²)	9,27
Formações aquíferas dominantes	Calcários e margas (Jurássico médio)
Características gerais	Sistema aquífero cársico
Funcionamento hidráulico	Deverá existir uma hierarquização importante do escoamento subterrâneo, uma vez que apenas existem dois conjuntos importantes de nascentes cársicas
Balanço Hídrico	Em termos médios, entradas iguais às saídas = 5 hm ³ /ano
Sistema aquífero - Penela – Tomar	
Área na BHA – (km ²)	0,48
Formações aquíferas dominantes	Dolomitos, calcários e calcários dolomíticos (Jurássico inferior)
Características gerais	Sistema aquífero cársico
Funcionamento hidráulico	Podem considerar-se duas zonas, em termos de produtividade: uma fora da zona de exurgências (caudais menores) e outra, perto de exurgências importantes (caudais bastante elevados) - a exurgência de Alcabideque é a descarga mais importante; existe conexão com o sistema aquífero Sicó-Alvaiázere;
Balanço Hídrico	Recursos hídricos subterrâneos renováveis de 26 hm ³ /ano
Sistema aquífero Sicó – Alvaiázere	
Área na BHA – (km ²)	93,88
Formações aquíferas dominantes	Calcários e dolomitos (Batoniano e Bajociano)
Características gerais	Sistema aquífero cársico, muito heterogéneo
Funcionamento hidráulico	Podem considerar-se dois sectores principais distintos: sector W, correspondente à linha de relevos Sicó-Rabaçal, e sector E, correspondente à linha de relevos serra de Ansião-Alvaiázere; existem várias nascentes, entre as quais as de Anços, Dueça e Ourão - as zonas mais produtivas situam-se perto das principais zonas de drenagem.
Balanço Hídrico	Recarga = 135 hm ³ /ano; saídas = 120 hm ³ /ano

Fonte: A partir de INAG (2002c) e ALMEIDA *et al.* (2000).

Na bacia hidrográfica do rio Arunca, considerando a informação atrás referida, predominam os sistemas aquíferos porosos ou essencialmente porosos, sendo de entre estes o que ocupa uma área mais extensa, o sistema aquífero de Louriçal (39% da área total da BHA). No seu conjunto, os sistemas aquíferos cársicos abrangem cerca de 19% da área total da BHA, sendo o sistema aquífero cársico mais extenso o de Sicó-Alvaiázere.

Figura 2.6-1 - Sistemas aquíferos identificados na BHA.



Fonte: Adaptado de SNIRH (2008).

2.7. USO DO SOLO

Para a análise do uso do solo foi usada a cartografia produzida no âmbito do projecto *Corine Land Cover 2000 – CLC2000* (AEA, 2001). A classificação de uso do solo adoptada neste projecto foi reclassificada de modo a simplificar a caracterização, traduzindo as principais tipologias de uso do solo. A presente reclassificação pretendeu ainda agrupar em classes de uso do solo tipologias que apresentam entre si comportamento semelhante relativamente à permeabilidade teórica associada a cada uma.

Na Tabela 2.7-1 apresentam-se as classes de ocupação do solo da cartografia do projecto *Corine Land Cover* existentes na área da bacia hidrográfica do rio Arunca e a respectiva área ocupada na bacia.

Tabela 2.7-1 - Legenda da cartografia CLC2000 e a sua reclassificação.

Designação adoptada neste trabalho	Código CLC2000	Designação CLC2000	Área (ha)	% área da BHA
Espaços Urbanos	1110	Tecido urbano contínuo	669,8	1,2
	1120	Tecido urbano descontínuo		
Espaços Industriais/Comerciais e Infra-estruturas	1220	Infra-estruturas de rede de auto-estradas e da rede ferroviária	718,8	1,3
	1210	Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais		
	1310	Pedreiras, zonas de extracção de areia, minas a céu aberto		
Espaços Agrícolas com Culturas Anuais	2110	Zonas de utilização agrícola fora dos perímetros florestais	23576,0	42,9
	2430	Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes		
	2410	Culturas anuais associadas às culturas permanentes		
	2220	Pomares		
	2210	Vinha		
	2230	Olivais		
	2420	Sistemas culturais e parcelares complexos		
Espaços Agrícolas de Regadio	2120	Perímetros regados	1009,4	1,8
Espaços Florestais	3110	Folhosas	18674,0	33,9
	3120	Resinosas		
	3130	Floresta com mistura de várias espécies florestais		
Espaços Arbustivos/Herbáceos ou Degradados	3210	Pastagens pobres, trilhos	9248,5	16,8
	3220	Landes e Matagal		
	3230	Vegetação esclerofítica (p.e.: maquial, carrascal e esteval)		
	3240	Espaços florestais degradados		
Zonas húmidas	2130	Arrozais	1139,7	2,1
	5110	Linhas de água		
	4110	Zonas apaúladas		
Total			55036,2	100,0

Como se observa na Tabela 2.7-1, as classes de uso do solo dominantes são os espaços agrícolas de culturas anuais, com 42,9% da área da bacia e os espaços florestais com 33,9%.

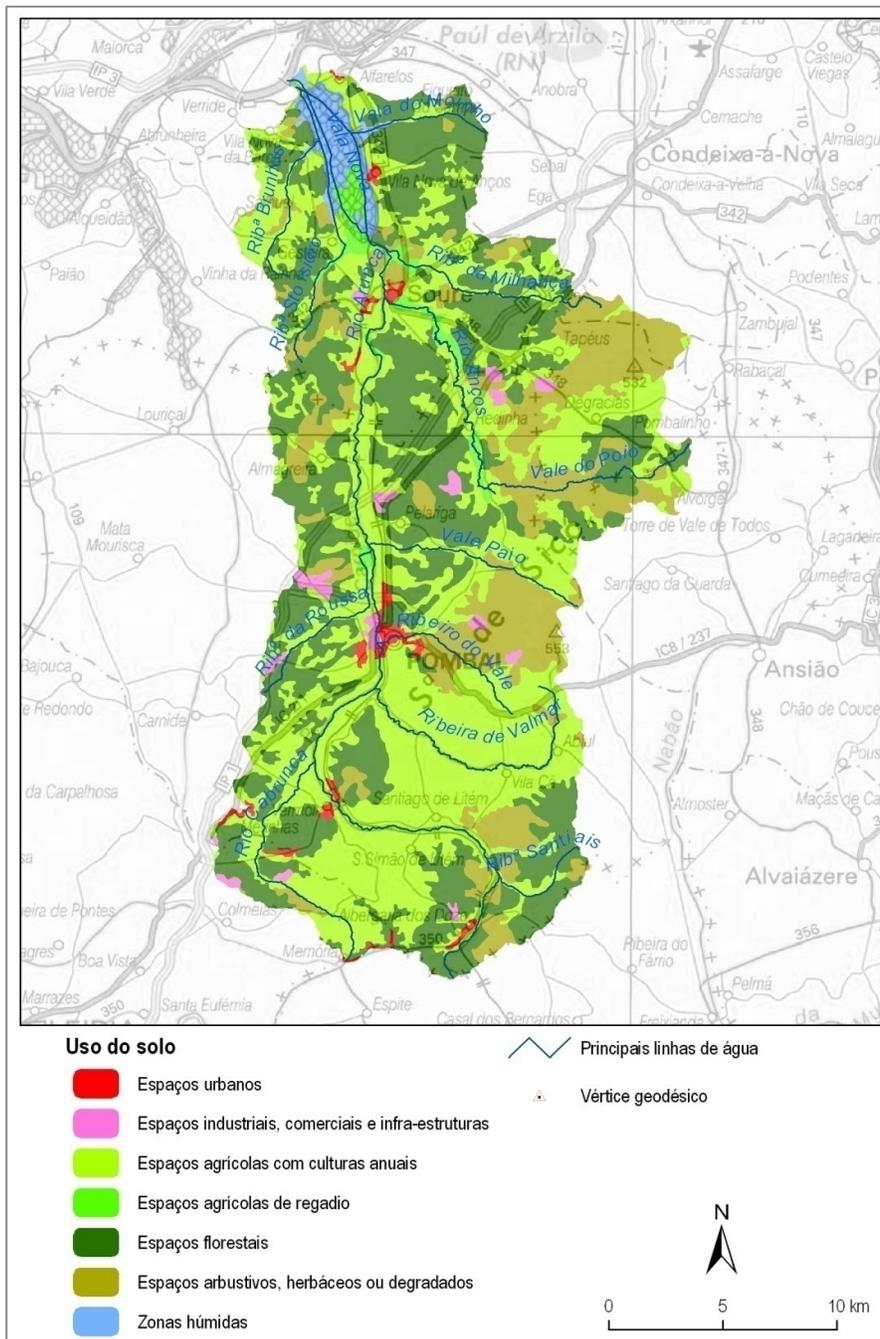
Caracterização da bacia hidrográfica do rio Arunca

As zonas húmidas, nas quais se inclui o arrozal, ocupam apenas cerca 1140 hectares (2,1%).

Os espaços de maior impermeabilização ocupam áreas modestas no contexto da bacia hidrográfica do rio Arunca – espaços urbanos (1,2%) e espaços industriais/comerciais e de infra-estruturas (1,3%).

O mapa da Figura 2.7-1 ilustra a distribuição geográfica das classes de uso do solo pela BHA.

Figura 2.7-1 - Uso do solo na BHA.



Fonte: Adaptado de CLC2000 e IGP (2005).

2.7.1. Sector a jusante de Soure

Na planície aluvial, dominam os arrozais e as culturas de regadio, em particular o cultivo do milho. Contígua a esta, destaca-se ainda a zona húmida representada pelo Paúl de Madriz, ocupando as áreas adjacentes ao curso terminal da Vala do Moinho. O principal espaço urbanizado é Vila Nova de Anços. Os espaços florestais predominam principalmente na margem direita da bacia. Os espaços agrícolas com culturas anuais ocupam igualmente importantes áreas em ambas as margens da bacia.

2.7.2. Sector entre Soure e Pombal

No sector entre Soure e Pombal os principais espaços urbanizados são Soure, Pombal e Sobral de Baixo. Outros aglomerados populacionais não surgem classificados na cartografia do projecto *Corine*, tais como as sedes de freguesia, dado o seu carácter de povoamento urbano descontínuo.

Com excepção das zonas industriais de Pombal e de Soure, os restantes espaços industriais consistem em pedreiras, que se localizam essencialmente no maciço calcário de Sicó.

Quanto às restantes classes de uso do solo podem individualizar-se 3 sub-sectores:

- A oeste do rio Arunca: predominam os espaços arbustivos/herbáceos ou degradados e os espaços florestais.

- Entre o rio Arunca e o rio Anços: observa-se largo predomínio dos espaços florestais nas vertentes e interflúvios e espaços agrícolas com culturas anuais nos fundos de vale. No vale do rio Anços, a abundância de água durante o ano todo favorece ainda as culturas de regadio.

- o Maciço Calcário: área que se individualiza pela maior homogeneidade de usos do solo, predominando os espaços arbustivos/herbáceos ou degradados e os espaços agrícolas com culturas anuais.

2.7.3. Sector a montante de Pombal

No sector a montante de Pombal, os principais aglomerados populacionais são Vermoil, Meirinhas, Estrada da Bouça, Memória (sector setentrional e ocidental), Santiago de Litém, S. Simão de Litém, Couções, Albergaria-dos-Doze e Santiais.

As zonas industriais estão representadas na área de extracção de argilas, nas imediações de Estrada da Bouça/Barracão.

Relativamente aos espaços agrícolas, florestais e arbustivos verifica-se uma relação nítida entre a geologia e o uso do solo. Os espaços agrícolas com culturas anuais ocupam quase em exclusivo os terrenos jurássicos (Camadas de Alcobaça e Vale de Lagares), enquanto os espaços florestais e arbustivos/herbáceos predominam sobre os materiais cretácicos. Os vales dos rios Arunca e Cabrunca são ocupados por culturas anuais até perto das respectivas nascentes.

Nos três sectores, de um modo geral, as áreas de cabeceira das linhas de água são ocupadas por espaços florestais (especialmente eucaliptos e pinheiros).

Uma referência final ao facto de os dois principais espaços urbanos – a vila de Soure e a cidade de Pombal – serem atravessados pelo rio Arunca, apresentando longas frentes ribeirinhas.

2.8. OCUPAÇÃO HUMANA

2.8.1. Demografia

A análise da evolução demográfica numa dada bacia reveste-se de alguma dificuldade devido à divergente natureza dos limites naturais e dos limites administrativos. O PBH Mondego apresenta alguma informação no que respeita à evolução demográfica da população residente na bacia hidrográfica do rio Mondego, pelo que se procura extrair deste documento alguns dados relativos à bacia do rio Arunca.

O PBH Mondego estima que em 1991 a população da BHA fosse de 49 216 habitantes, registando um ligeiro decréscimo para 48 468 habitantes em 1995.

A tendência de decréscimo nos dois principais concelhos da BHA vem-se verificando desde a década de 50 do século passado (Tabela 2.8-1). Nos últimos anos, o município de Pombal tem invertido esta tendência registando entre 1991 e 2001 um aumento na população residente de 9,6%. No concelho de Soure, por outro lado, verificou-se no mesmo período uma diminuição de 3,5% (CCDRC, 2008). Estes factos comprovam o forte crescimento urbano que se verifica na cidade de Pombal e o progressivo envelhecimento e abandono nas áreas mais rurais da BHA.

Tabela 2.8-1 - Evolução demográfica nos concelhos de Pombal e Soure no período 1950-1991.

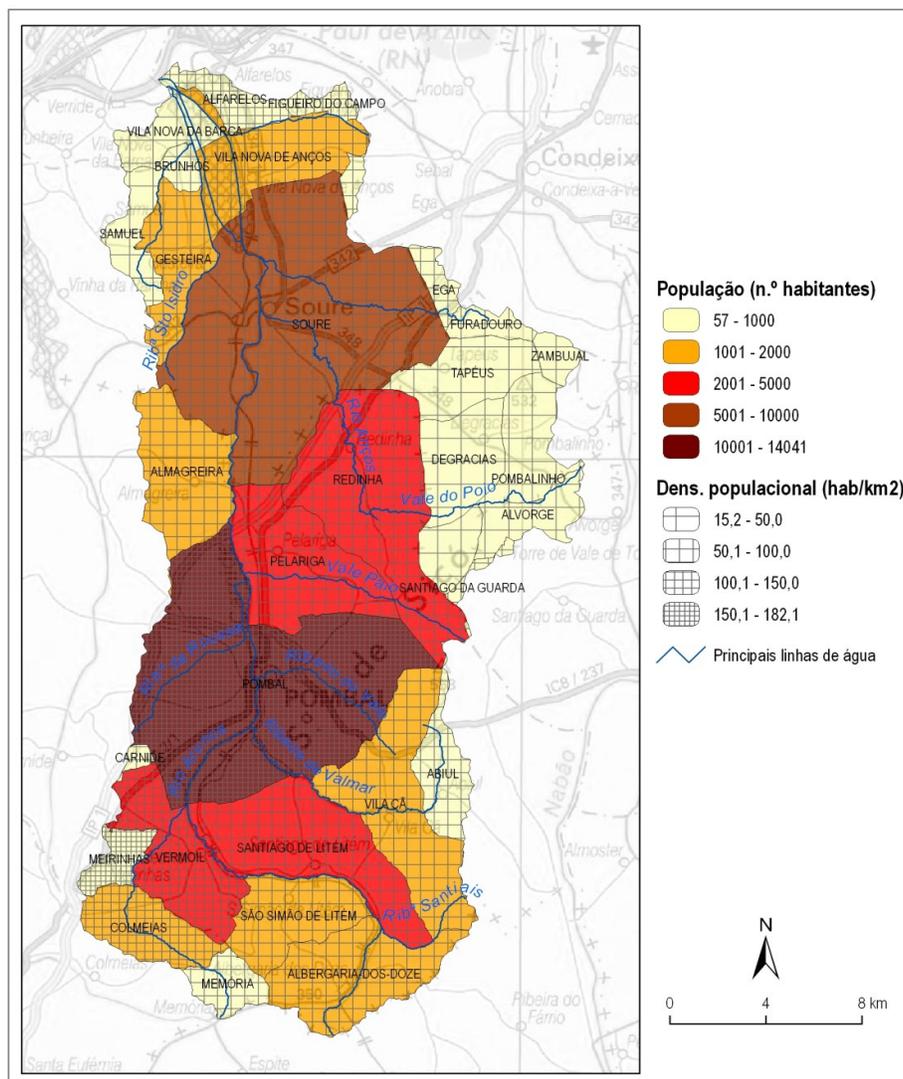
Concelho	1950	1960	1970	1981	1991
Pombal	57 544	53 910	51 996	48 265	44 710
Soure	26 176	26 575	22 025	22 570	21 704

Fonte: PBH Mondego.

A partir dos dados do XIV Recenseamento Geral da População efectuado em 2001 (INE, 2001a), estimou-se neste trabalho a população residente na área da bacia do rio Arunca em 49 267 habitantes. Por inacessibilidade aos dados estatísticos desagregados ao nível da secção estatística, a estimação foi feita relacionando os valores da densidade populacional por freguesia com a área ocupada por cada freguesia na BHA.

Verificou-se que cerca de dois terços da população reside no concelho de Pombal e pouco mais de um quarto no concelho de Soure. De facto, a superfície da BHA ocupada pelos restantes concelhos apresenta um carácter quase residual (Figura 2.8-1).

Figura 2.8-1 - População e densidade populacional na BHA por freguesia em 2001.



Fonte: A partir de INE (2001a) e adaptado de IGP (2005).

Ao nível da freguesia, a população residente na BHA apresenta uma marcada macrocefalia, observável no elevado número de habitantes que reside nas freguesias sede de concelho (Figura 2.8-1).

A freguesia de Pombal apresenta uma população de 14 041 habitantes na área da BHA (cerca de 28% da população total) e a freguesia de Soure, 8 395 habitantes (cerca de 17% da população total).

2.8.2. Actividades económicas

Os dados estatísticos descritivos da actividade económica ao nível da bacia hidrográfica são praticamente inexistentes, pelo que se procurou fazer uma caracterização estatística aproximada utilizando os dados existentes ao nível concelhio, dado que a bacia se estende principalmente sobre dois

concelhos. A fotografia aérea e a cartografia da Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000 permitem, por outro lado uma caracterização de índole mais qualitativa.

A simples observação de fotografias aéreas da área da BHA é suficiente para verificar a importância da actividade agro-florestal na economia das populações que habitam a bacia (*cf.* Capítulo 2.7). Naturalmente, as áreas próximas dos principais cursos de água são aquelas onde a actividade agrícola é mais intensiva. Não obstante o progressivo abandono da lavoura um pouco por toda a bacia, a área do Baixo Mondego – abrangendo a planície aluvial do rio Arunca – e o vale do rio Anços constituem a excepção³³. As principais culturas aqui praticadas são a cultura do arroz, do milho, a vinha e outras culturas hortícolas. No sector primário há a destacar ainda a importância da actividade florestal, com particular relevo para a exploração madeireira, nomeadamente de eucalipto e pinheiro.

Também ao nível do sector industrial, as áreas planas e próximas dos principais rios da BHA são as mais dinâmicas. A história da civilização humana mostra que desde cedo, estas áreas – uma vez assegurada a questão da segurança – foram as eleitas para os primeiros estabelecimentos do Homem, sendo aí ainda hoje que esta presença, também ao nível da actividade económica, é mais consolidada e crescente. É nos arredores dos principais aglomerados urbanos e na proximidade às vias de comunicação que se encontram as maiores zonas industriais na BHA. As principais vias de comunicação que atravessam a área da bacia – Linha do Norte (via ferroviária), Auto-estrada A1 e Itinerários Complementares IC2 e IC8 - jogaram, porém, um determinante papel na diferenciação populacional e económica que se verifica na bacia. As condições de acessibilidade têm permitido um crescente dinamismo do sector industrial no concelho de Pombal. Pelo contrário, pode-se aferir pela recolha de testemunhos orais e pela visita a locais onde outrora funcionaram unidades fabris de média e grande dimensão, que o concelho de Soure tem registado nas últimas décadas uma estagnação no sector industrial, do qual são emblemáticos o encerramento da unidade têxtil em Paleão e de algumas unidades fabris do sector da cerâmica e refractários em Soure.

Quanto à actividade extractiva, observa-se nas fotografias aéreas a existência de duas grandes zonas principais de extracção de calcário e argilas localizadas: a) no maciço calcário e sua bordadura ocidental, na área de Redinha (perto das localidades de Barreiras e Tapéus) e a leste de Pombal (a Sudeste da localidade de Barrocal); b) no sector montante da bacia (na área de Meirinhas, Ranha de Baixo e Albergaria-dos-Doze).

A caracterização do sector terciário está indubitavelmente relacionada com o crescimento urbano. Em virtude do que foi exposto no ponto 2.8.1, surge como natural um maior desenvolvimento deste sector nas áreas que registaram maior crescimento populacional, principalmente nas sedes de concelho, Soure e Pombal. No sector terciário destaca-se a actividade transportadora, que assume em Pombal uma expressão significativa. De acordo com o PBH do Mondego, em 1996, 5% de todos os trabalhadores

³³ O vale inferior do rio Arunca apresenta um elevado potencial produtivo mas padece de alguns constrangimentos que diminuem o seu máximo aproveitamento – ineficaz drenagem agrícola, acessos rurais em mau estado, falta de ordenamento fundiário e inconstância na quantidade e qualidade de água para rega (DGADR, 2008).

residentes na bacia do rio Mondego e 11% de todas as empresas deste ramo situavam-se no concelho de Pombal.

Algumas actividades económicas afectam directamente o escoamento e o comportamento hidráulico das linhas de água. De entre elas, refiram-se a extracção de inertes nos leitos dos cursos de água e os aproveitamentos mini-hídricos para produção hidro-eléctrica. De acordo com o PBH do Mondego e com o trabalho de campo realizado no âmbito de presente trabalho, pode-se concluir que não existe na bacia hidrográfica do rio Arunca qualquer uma destas actividades.

Não obstante a escassez de indicadores económicos é possível inferir algumas diferenças entre os sectores montante e jusante da bacia, analisando alguns dos dados disponíveis ao nível do concelho³⁴.

RAMOS (1998) estimou o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de Pombal em 1994 em 997,1 contos (aproximadamente € 4985) enquanto para Soure a estimativa era de 638,0 contos (aproximadamente € 3190). Atribuindo ao valor médio do País o valor 100, Pombal e Soure surgiriam com os valores 67,5 e 43,2, respectivamente. Mais recentemente CARVALHO & MATIAS (2004) calcularam índices do PIB *per capita* concelhio para 1991 e 2001, sendo esse valor estimado de 0,439 no concelho de Soure (um aumento de 45% face a 1991). No mesmo período, o concelho de Pombal registou um aumento de 36% no índice do PIB (de 0,336 para 0,458).

O consumo de electricidade por tipo de consumo espelha igualmente, de modo indirecto, a diferença na dinâmica económica entre estes dois concelhos (Tabela 2.8-2). É ao nível da indústria que a diferença entre ambos é mais evidente.

Tabela 2.8-2 - Consumo de electricidade por tipo de consumo em 2005 (em milhares de kWh).

	Total	Doméstico	Não doméstico	Indústria	Agricultura	Iluminação da via pública	Iluminação Int. Edif. Estado	Outros
Soure	70226	20442	6556	11904	721	3048	2725	24830
Pombal	289796	62900	33784	156685	4856	9078	7291	15202

Fonte: Direcção-Geral de Geologia e Energia.

De acordo com o Anuário Estatístico da Região Centro (INE, 2001b), o consumo de electricidade total em 1999 era de 60 231 000 kWh⁻¹ em Soure e 188 036 000 kWh⁻¹ em Pombal (Tabela 2.8-3). Entre 1999 e 2005 verifica-se um aumento relativo muito superior no concelho de Pombal.

Ao nível agrícola, a Superfície Agrícola Útil (SAU) por exploração é superior no concelho de Soure (2,85 ha). Este facto poderá significar uma prática mais intensiva e mecanizada da actividade agrícola no concelho de Soure (recorde-se que a planície aluvial do rio Arunca estende-se principalmente pelo território deste concelho).

³⁴ Relembra-se que a análise possibilitada por estes indicadores constitui somente uma inferência do que poderá ser a realidade ao nível da bacia, através do conhecimento de que sensivelmente a metade jusante da BHA pertence ao concelho de Soure e a metade montante ao concelho de Pombal.

Caracterização da bacia hidrográfica do rio Arunca

Tabela 2.8-3 - Outros indicadores de actividade económica nos concelhos de Pombal e Soure em 1999.

Indicador	Pombal	Soure
Consumo de electricidade total (kWh)	188 036 000	60 231 000
Mão de obra agrícola a tempo inteiro ou parcial	12 785	5 898
Superfície Agrícola Útil (SAU) por exploração (ha)	1,61	2,85
Pessoal ao serviço na Industria Transformadora com sede na Região Centro	3 984	647

Fonte: INE (2001b).

3. METODOLOGIA APLICADA

Neste capítulo descrevem-se as duas metodologias aplicadas na definição de áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Arunca. Antes de se avançar nesta tarefa importa clarificar alguns conceitos utilizados.

Cheia actual é entendida como a cheia que ocorre com um período de retorno igual ou inferior a 25 anos. A cheia histórica tem um período de retorno superior e equivale à cheia cujos limites de área inundada estão na memória das pessoas (porque a viveram ou porque ouviram contar). Cheia centenária consiste na cheia que ocorre probabilisticamente com um período de retorno de 100 anos. Neste trabalho admitiu-se que os limites da área inundável de uma cheia histórica correspondem aos limites de uma cheia centenária.

A terminologia referente à morfologia do leito adoptada é a proposta por CHRISTOFOLETTI (2000), segundo a qual existem três tipos de leito:

- Leito maior: situado entre vertentes, podendo distinguir-se um leito maior sazonal que é submerso pelo menos uma vez no ano e o leito maior excepcional, que é submerso em intervalos irregulares de tempo, nas maiores enchentes.
- Leito menor: situado entre diques marginais é facilmente identificado porque se encontra encaixado entre as margens.
- Leito vazante: serpenteia entre as margens do leito menor, podendo ser equiparado ao leito de estiagem.

Em Díez-Herrero *et al.* (2008) os autores apontam três grandes grupos de técnicas para a análise da perigosidade de cheias e inundações:

- históricas e paleohidrológicas;
- geológicas e geomorfológicas;
- hidrológicas e hidráulicas.

No presente trabalho reconhece-se, tal como o fazem os últimos autores, que o ideal é utilizar as diferentes técnicas de “forma integrada, calibrada e complementar”. Contudo, optou-se por aplicar duas metodologias distintas separadamente, de modo a atingir o objectivo principal do trabalho.

A primeira metodologia consistiu na aplicação combinada das técnicas dos métodos histórico, paleogeográfico, geológico e geomorfológico tal como definidos em Díez-Herrero *et al.* (2008). A segunda metodologia consistiu unicamente na aplicação de técnicas hidrológicas e hidráulicas. À primeira metodologia designou-se método de reconstituição hidrogeomorfológica e à segunda, método hidrológico-hidráulico. A selecção destas duas metodologias e não de outras prende-se com o objectivo principal do presente trabalho de comparar os requisitos (materiais e dados), processos e resultados de cada uma.

A aplicação da primeira metodologia incidiu sobre toda a área da BHA enquanto o método hidrológico-hidráulico foi aplicado apenas a alguns troços do rio Arunca e do rio Anços, distribuídos pelos três sectores definidos (a jusante de Soure, entre Soure e Pombal e a montante de Pombal), abrangendo troços localizados no curso inferior, médio e superior do rio Arunca. A disponibilidade de cartografia³⁵ com a escala adequada à aplicação de modelação hidráulica consistiu noutro factor condicionante da selecção dos troços a modelar através desta metodologia.

Em ambos os métodos recorreu-se a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) - o programa utilizado foi o ArcGIS 9.2 desenvolvido pela empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*) - para integração e análise dos dados recolhidos e visualização de resultados.

3.1. MÉTODO DE RECONSTITUIÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA

O método de reconstituição hidrogeomorfológica³⁶ apoia-se fundamentalmente em conhecimentos do campo da geomorfologia fluvial e da sedimentologia. O princípio geral subjacente à definição de áreas inundáveis é simples. A área inundável define-se pelos limites exteriores do leito maior de um curso de água, os quais indicam o nível máximo atingido em episódios de cheias/inundações anteriores.

O método baseia-se na aplicação dos seguintes procedimentos técnicos (BALLAIS *et al.*, 2005; DIEZ-HERRERO *et al.*, 2008; LASTRA *et al.*, 2008):

- 1) análise de fotografias aéreas;
- 2) análise de topografia a grande escala, com especial atenção às formas de deposição e erosão;
- 3) estudo da granulometria e cor dos depósitos (sendo que os depósitos do leito maior são geralmente constituídos por limo e argila e apresentam cor mais escura que as áreas fora do leito maior).

Para além destes aspectos, também a análise das transformações no uso do solo pode revelar indícios para a delimitação do leito maior. Por isso, a investigação histórica assume também um papel importante neste método.

Durante muito tempo negligenciado, este “método naturalista” é hoje usado em França na realização da cartografia de áreas inundáveis dos Planos de Previsão de Risco (PPR), que consistem num importante instrumento de planeamento (BALLAIS *et al.*, 2005). Os mesmos autores referem a fiabilidade, a facilidade de aplicação e o baixo custo do método de reconstituição hidrogeomorfológica quando comparado nomeadamente com métodos hidrológicos e hidráulicos matemáticos.

Outros autores como WOLMAN (1971) citado por MARSH (1978) referem métodos semelhantes fundamentados em conhecimentos dos campos da biologia, sedimentologia, geomorfologia e história,

³⁵ A cartografia utilizada na modelação hidráulica feita nos diferentes troços foi cedida pelos municípios de Pombal e de Soure.

³⁶ O prefixo “hidro” refere-se aqui a hidrografia e não a hidrologia.

que permitem a delimitação da planície de inundação pela conjugação de determinadas características, tais como a existência de:

- áreas planas junto às margens das linhas de água³⁷ e outras formas associadas à dinâmica fluvial, como os terraços e os meandros abandonados;
- aluviossolos e outros sedimentos transportados e depositados pelo escoamento fluvial;
- plantas ripárias e outras adaptadas à elevada humidade do solo e às condições ambientais associadas a áreas alagadas (plantas com adaptações ao nível da fisiologia e do modo de disseminação das sementes);
- registos históricos, registos epigráficos e vestígios de anteriores ocorrências nas árvores, edifícios e infra-estruturas.

A maior limitação desta metodologia reside na dificuldade em estabelecer relações entre a frequência de determinada cheia/inundação e a respectiva área inundável identificável na morfologia do terreno (MARSH, 1978). Em estudo realizado na região das Astúrias, Noroeste de Espanha, LASTRA *et al.*, (2008) associaram aos terraços mais baixos períodos de retorno de 10 anos, e para os terraços médios períodos de retorno de 50 anos. Para os terraços mais elevados, não havendo dados históricos de cheias que se lhes correspondessem, preferiram não atribuir um período de retorno.

Uma vez que não se baseia em séries estatísticas de caudais, não se afigura fácil - através do método de reconstituição hidrogeomorfológica - relacionar determinada altura da coluna de água com o respectivo período de retorno, tal como se vê aplicado de um modo exacto no método hidrológico-hidráulico. Por este motivo, o conceito de cheia centenária é de difícil aplicação nesta metodologia. Isto não invalida que não se possam identificar diferentes graus de perigosidade às cheias e inundações espelhadas nos leitos dos cursos de água.

Um modo de contornar esta limitação consiste em, nos casos em que há registo de caudais, relacionar determinado caudal ou altura da água com a delimitação geográfica da área inundada que esse caudal gerou. Partindo então do período de retorno do caudal observado, poder-se-ia calcular a probabilidade de ocorrência de determinadas áreas inundarem. Noutras situações, a recolha de registos históricos e testemunhos orais através de entrevistas poderá permitir a determinação da frequência da inundação num dado local.

Resumindo, o método de reconstituição hidrogeomorfológica consiste num método de definição de áreas inundáveis por observação da morfologia, dos sedimentos, da vegetação e da ocupação humana do leito maior de um curso de água, apoiada pela recolha de registos históricos e orais que identifiquem os limites de anteriores cheias/inundações. Na bacia hidrográfica da bacia do rio Arunca aplicou-se esta metodologia como a seguir se descreve, subdividida em levantamentos de reconstituição paleo-

³⁷ As áreas de declive inferior a 2 % são indicadas como aquelas onde a susceptibilidade de ocorrência de cheias e inundações é maior.

hidrogeomorfológica e inquirição à população, como duas técnicas distintas que contribuem para o mesmo objectivo. No terreno, as duas técnicas são frequentemente aplicadas em simultâneo.

3.1.1. Levantamentos de reconstituição paleo-hidrogeomorfológica

A técnica de realização de levantamentos de reconstituição paleo-hidrogeomorfológica ocorreu em primeira fase no campo apoiada pelo seguinte material cartográfico:

- folhas de campo da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército, na escala de 1:25 000;
- cartografia 1:5000 cedida pelas Câmaras Municipais de Pombal e de Soure, para os levantamentos nas áreas com maiores índices de urbanização, isto é, as respectivas sedes de concelho.

O restante material de campo consistiu em bloco de notas, receptor GPS, máquina fotográfica e fita métrica. Deste trabalho de campo resultou a aquisição de um vasto rol de dados/informações relativos a cheias/inundações ocorridas no passado, como sejam:

- dados relativos a evidências morfológicas, sedimentológicas e biológicas que testemunham a extensão de cheias/inundações;
- registo de conversas informais (ver capítulo 3.1.2.) sobre os limites, frequência e áreas afectadas pelas cheias/inundações;
- levantamento de registos epigráficos (observáveis nos elementos antrópicos e/ou naturais).

Para além da definição da área inundável correspondente a uma cheia histórica e a uma cheia actual, o método seguido conduziu à identificação de pontos críticos de escoamento (PCE). Os PCE consistem nos locais onde, quer naturalmente quer por intervenção humana, se verifica a ocorrência de dificuldades ou obstáculos ao escoamento. Os PCE foram classificados em três categorias:

- a) locais onde se encontram obstáculos ao escoamento por estrangulamento;
- b) locais onde se observam áreas afectadas por dificuldades de escoamento;
- c) locais onde se encontram simultaneamente obstáculos e áreas afectadas.

Em gabinete, toda a informação recolhida (devidamente descrita e georeferenciada) foi integrada e analisada em ambiente SIG. Os dados recolhidos no campo foram complementados por fotointerpretação e por análise da cartografia na escala 1:25 000 da Carta Militar de Portugal.

3.1.2. Inquirição à população

A recolha de dados históricos obtidos através de fontes documentais e entrevistas à população local constitui uma tarefa fundamental na definição de áreas inundáveis (LASTRA *et al.*, 2008). Estes autores, aplicando as mesmas metodologias de definição de áreas inundáveis utilizadas neste trabalho a bacias do noroeste de Espanha, recorreram igualmente à realização de entrevistas, das quais obtiveram dados

relativos: à extensão das áreas inundáveis, danos, datas de cheias/inundações, profundidades, marcas históricas, identificação de fluxos secundários durante as cheias e zonas de *overflow*.

No presente estudo, a realização de questionários à população constituiu igualmente uma parte fundamental do método de reconstituição hidrogeomorfológica. Essa relevância é sobretudo mais evidente nas áreas urbanas, onde a artificialização do solo e da rede hidrográfica tornam mais difícil a aplicação de algumas das técnicas deste método relacionadas com a análise morfológica, sedimentar e da vegetação.

Outra das mais-valias da aplicação de questionários consistiu no auxílio à definição da área inundável correspondente à cheia actual para a qual, frequentemente, não se encontravam evidências morfológicas.

Estrutura do questionário

O questionário realizado (ver Anexo B) é composto por 30 questões distribuídas por três grupos:

Grupo 1 – Características do ponto de observação

Neste grupo de questões recolhe-se um conjunto de dados relativos à localização geográfica do local e das características do escoamento da linha de água associada. Se após este primeiro grupo se verificasse que não existiam na área registos de problemas de escoamento superficial, o questionário estava terminado.

Grupo 2 – Zonas com registo histórico de cheias e inundações

Neste grupo recolhe-se um conjunto de características relativas ao escoamento das linhas de água: dinâmica hídrica, características epigráficas das cheias/inundações (altura máxima e média da coluna de água, tempo médio de imersão, período de retorno estimado pelo inquirido), causas directas e indirectas das cheias/inundações atribuídas pela população e evidências locais para as dificuldades de escoamento superficial.

Grupo 3 – Elementos expostos a cheias/inundações ou a deficiente drenagem superficial

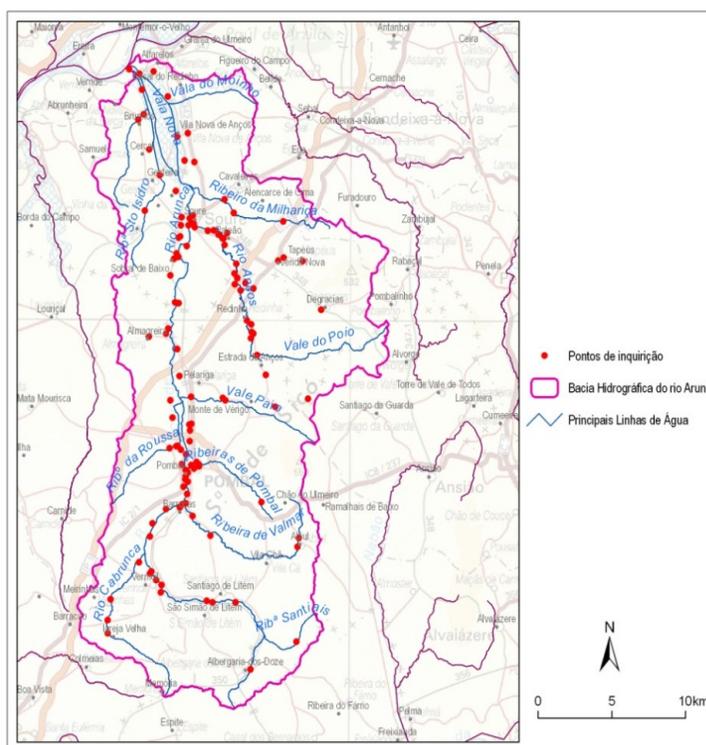
Neste grupo, o inquirido identifica o tipo e a idade dos elementos/infra-estruturas que são afectados pelas cheias e inundações.

Seleccção dos pontos de inquirição

Dada a natureza específica deste tipo de questionários, a selecção dos pontos de inquirição não seguiu técnicas de amostragem que visassem a representatividade espacial na área da bacia. Os pontos de inquirição realizados (vd. Figura 3.1-1) localizam-se na proximidade das linhas de água, estando o número de questionários realizados em cada área dependente das características do local e da existência de registos de cheias/inundações ou outras evidências de problemas de escoamento superficial.

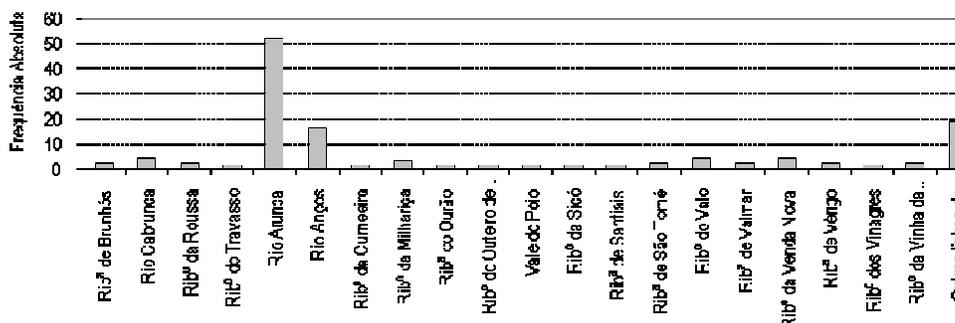
Deve ser feita a nota de que os locais assinalados no mapa da Figura 3.1-1 não foram os únicos visitados em trabalho de campo, no âmbito dos levantamentos de reconstituição hidrogeomorfológica (vd. ponto 3.1.1). A cada ponto de inquirição corresponde um questionário tendo-se obtido um total de 119 questionários. Em zonas onde a dinâmica hídrica e a área inundável já eram conhecidas - através de questionários anteriores realizados pelo autor - não houve necessidade de realizar novos questionários, pelo que nestes locais se procedia unicamente aos levantamentos descritos no ponto anterior, incluindo neste caso o registo de conversas informais não materializadas em questionário.

Figura 3.1-1 - Localização dos pontos de inquirição realizados na BHA.



Nas Figuras 3.1-2 e 3.1-3 são apresentadas as frequências absolutas dos questionários efectuados distribuídos, respectivamente, por linha de água associada e por freguesia.

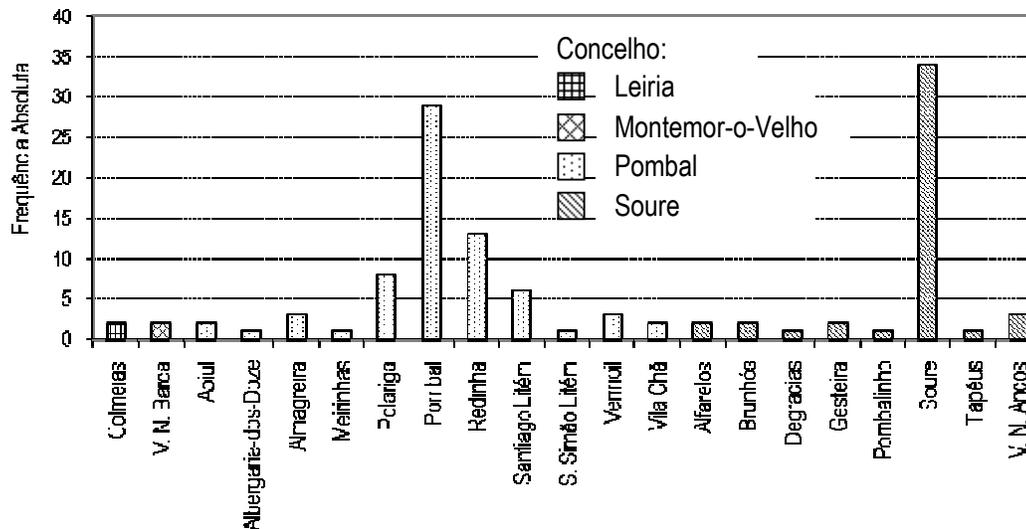
Figura 3.1-2 – Número de questionários realizados por linha de água associada.



A maior parte dos questionários foi realizada no rio Arunca (50,5%). Em “outras linhas de água” inserem-se os cursos de água sem topónimo atribuído na cartografia militar.

A Figura 3.1-3 evidencia que as freguesias de Soure (28,6%) e de Pombal (24,4%) são aquelas onde se realizaram mais questionários.

Figura 3.1-3 - Número de questionários realizados por freguesia e por concelho.



3.2. MÉTODO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO

O método hidrológico-hidráulico constitui-se de várias fases nas quais a modelação hidráulica - realizada com recurso a uma aplicação informática - consiste no cerne de toda a metodologia. No presente trabalho a modelação hidráulica foi feita através do programa HEC-RAS versão 3.1.3. O nome baseia-se na junção da sigla da entidade que o desenvolveu – o *Hydrologic Engineering Center* do *United States Army Corps of Engineers* (USACE) – com a sigla RAS que significa *River Analysis System*. Sinteticamente, o HEC-RAS é um programa que executa cálculos hidráulicos unidimensionais para redes de canais fluviais naturais ou artificiais, em regime gradualmente variado e permanente.

DÍEZ-HERRERO *et al.* (2008) classificam o HEC-RAS como um programa que executa modelações hidráulicas de circulação de caudais em lâmina livre, enquadrando-se nos métodos hidrológicos e hidráulicos de análise da perigosidade de cheias e inundações. O HEC-RAS pertence ao grupo de aplicações que assentam em modelos hidrológicos determinísticos fisicamente baseados, dado que procura reproduzir as leis físicas que regem os fenómenos em presença (QUINTELA & PORTELA, 2002).

O HEC-RAS tem tido naturalmente bastante utilização nos Estados Unidos da América, país onde foi desenvolvido. Para além do próprio USACE também a FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) utiliza este programa na produção de cartografia de áreas inundáveis (FEMA, 2008). Em virtude de se tratar de uma aplicação não-comercial, a sua disseminação por utilizadores do meio académico e

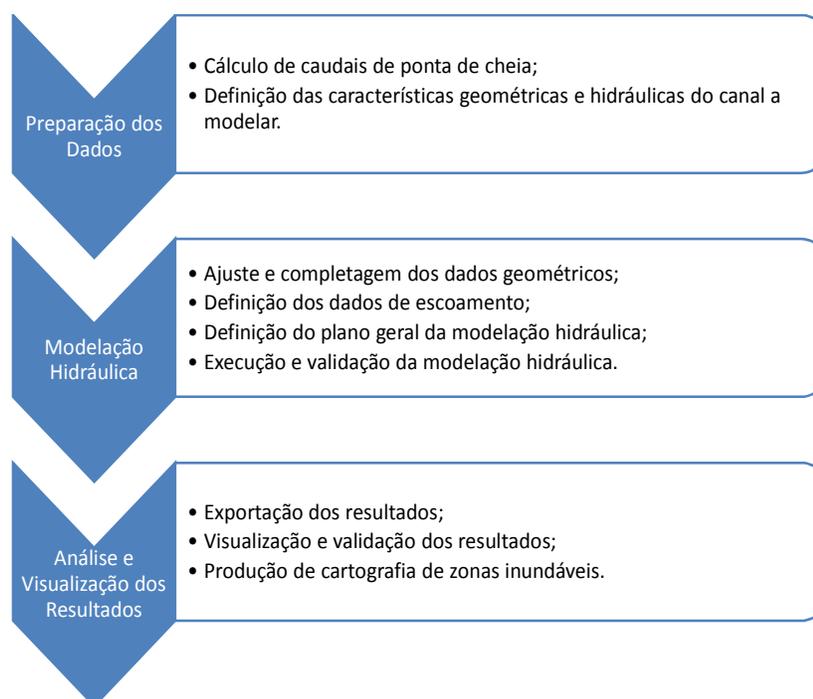
empresarial é relativamente vasta. CALÇADA *et al.* (2004), por exemplo, recorreram ao HEC-RAS para proceder à delimitação de áreas inundáveis em Timor Leste. O programa – e a extensão HEC-GeoRAS que lhe está associada – foram utilizados para: i) preparação da informação detalhada referente à geometria da rede de drenagem, a exportar para HEC-RAS, através da extensão HEC-GeoRAS no programa *ArcView*; ii) modelação da configuração da superfície livre; iii) processamento dos resultados do programa HEC-RAS com vista à representação gráfica de leitos de cheia. Os autores referem-se à insuficiência que constituiu – em especial nas áreas planas – a utilização de um Modelo Digital de Terreno (MDT) com quadrícula de 25 por 25 metros na definição da geometria da rede de drenagem.

A utilização do programa HEC-RAS na execução da modelação hidráulica é também mencionada nos procedimentos dos estudos de inundabilidade a realizar no âmbito da elaboração do *Plan de Ordenación Territorial de Litoral de la Región de Murcia* (CGRG, 2007) e no guia metodológico do Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para a elaboração de mapas de perigosidade de cheias e inundações (DÍEZ-HERRERO *et al.* 2008).

No presente trabalho, a metodologia seguida na execução da cartografia de áreas inundáveis para uma cheia centenária, por recurso ao método hidrológico-hidráulico na bacia hidrográfica do rio Arunca subdivide-se em três fases (Figura 3.2-1):

- preparação dos dados
- modelação hidráulica
- análise e visualização dos resultados

Figura 3.2-1 - Metodologia de definição de áreas inundáveis pelo método hidrológico-hidráulico.



O esquema metodológico apresenta uma sequência cronológica, compilada a partir dos manuais das aplicações HEC-GeoRAS (HEC, 2005) e HEC-RAS (HEC, 2002a e 2002b), mas igualmente da metodologia aplicada por LASTRA *et al.* (2008) a bacias no Noroeste de Espanha. De seguida explicam-se os passos dados em cada uma das fases anotando-se, quando oportuno, as situações em que a metodologia proposta nos manuais não foi a adoptada, ou sofreu ligeiras modificações.

3.2.1. Preparação dos dados

3.2.1.1. Cálculo do caudal de ponta de cheia

O conhecimento adequado do escoamento fluvial é um dos elementos fundamentais para a boa aplicação de modelos hidráulicos com o objectivo de definição de áreas inundáveis. Para se estimar o caudal de ponta de cheia é necessário conhecer previamente a geometria e atributos do canal de escoamento a montante do troço a modelar (declive, comprimento, etc.), bem como da respectiva bacia drenante e de eventuais sub-bacias de tributários que possam confluir com o troço a modelar. Nesta fase, a aquisição e tratamento dos dados decorre essencialmente em ambiente de SIG. Contudo, esta é a única etapa da metodologia que não recorre às aplicações HEC-RAS ou HEC-GeoRAS.

O cálculo do caudal de ponta de cheia foi realizado por um dos métodos mais utilizados no contexto nacional e referenciados na bibliografia (LENCASTRE & FRANCO, 2006) – a fórmula do *Soil Conservation Service* (SCS) - para o período de retorno de 100 anos. A utilização da cheia centenária significa que se pretende representar a área inundável equivalente a uma cheia com um grau de excepcionalidade elevado, comparável à cheia histórica definida por recurso ao método de reconstituição hidrogeomorfológica. De facto, o conceito de cheia centenária reveste-se de alguma arbitrariedade (MARSH, 1978) e significa apenas que se considera que a severidade de uma cheia com tal período de retorno é elevada. Outras fórmulas poderiam ser utilizadas mas optou-se por aquela que procura estimar a precipitação efectiva e a intensidade da precipitação de uma forma mais completa. A utilização da fórmula racional poderia ser uma opção alternativa, mas a simplicidade de cálculo e o facto de a sua utilização ser desaconselhada para bacias de área superior a 25 km² levou a que não fosse adoptada, não obstante se terem feito algumas experiências comparativas.

O caudal de ponta de cheia em m³/s (Q_p), segundo a fórmula do SCS, é dado por:

$$Q_p = \frac{R.A}{3,6t_c}$$
, sendo R a precipitação efectiva em mm, A a área em km² e t_c o tempo de concentração em minutos.

O escoamento acumulado ou precipitação efectiva (R) é estimado através da seguinte fórmula:

$$R = \frac{(p - I_a)^2}{(p - I_a) + S}$$
, se $p > I_a$, sendo p a precipitação acumulada em mm, I_a as perdas iniciais em mm e

S a capacidade máxima de armazenamento de água no solo em mm.

As perdas iniciais (I_a) são calculadas por:

$$I_a = 0,2S$$

A capacidade máxima de armazenamento de água no solo (S) é dada por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \text{ sendo } CN \text{ o Número de Escoamento correspondente à condição de humedecimento}$$

do solo III (AMC III), por ser aquela condição que preconiza a situação mais extrema, em que o solo já se encontra saturado e o escoamento superficial é máximo. O valor de CN é utilizado para estimação da parte da precipitação que não contribui imediatamente para o escoamento. A cartografia dos valores de CN para todo o país é disponibilizada pelo INAG (SNIRH, 2007) em formato matricial. Os valores de Número de Escoamento obtidos foram comparados com os valores apresentados no Anexo 11-A do PBH do Mondego (INAG, 2002e) de modo a verificar empiricamente a coerência dos mesmos, mostrando uma forte aproximação entre ambos (*cf.* com as tabelas 4.2-8 e 4.2-14, apresentadas no capítulo referente aos resultados).

A precipitação acumulada (p) é obtida pela fórmula:

$$p = D_p \left(\frac{I_p}{60} \right), \text{ sendo } D_p \text{ a duração da precipitação igual ao tempo de concentração } (t_c), \text{ em minutos, e}$$

I_p a intensidade da precipitação, em mm/h. O valor de I_p é dado por:

$I_p = a(T_c)^b$, onde a e b são parâmetros de regressão da curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da precipitação. Os parâmetros a e b das curvas IDF utilizados referem-se ao posto udométrico de Pombal, para durações de precipitação até 24 horas e para um período de retorno de 100 anos, tal como apresentados em INAG (2002e), segundo a metodologia utilizada por BRANDÃO *et al.* (2001). Os parâmetros foram obtidos a partir das curvas IDF de Coimbra/Instituto Geofísico³⁸ e são os constantes na Tabela 3.2-1.

Tabela 3.2-1 - Parâmetros das curvas IDF para Pombal.

Estação	Parâmetro	Período de retorno para precipitação máxima com duração de 24 h						
		5	10	25	50	100	500	1000
Pombal	a	386.94	450.44	530.72	594.72	654.37	794.45	850.57
	b	-0.674	-0.676	-0.678	-0.680	-0.681	-0.683	-0.683

Quanto ao tempo de concentração, foram aplicadas três das fórmulas com maior divulgação na comunidade científica e em estudos de engenharia hidráulica em Portugal (MARTINS, 2000) – fórmulas de

³⁸ O facto de se estimar a intensidade de precipitação para um período de retorno de 100 anos, a partir de séries de precipitação de duração inferior e de se extrapolar os parâmetros das curvas IDF para Pombal a partir dos parâmetros da curva na estação de Coimbra/Geofísico, insere certamente algum erro na estimação do caudal de ponta de cheia, sendo no entanto, a melhor forma exequível - em tempo, dados e recursos disponíveis - de o fazer.

Temez (TEMEZ, 1978), Ven Te Chow (CHOW, 1964) e *Soil Conservation Service* (SCS, 1973) (Tabela 3.2-2).

Tabela 3.2-2 - Fórmulas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração.

Método	Fórmula
Temez (T_cT), em horas	$T_cT = 0,3 \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}$
Ven Te Chow (T_cV), em minutos	$T_cV = 25,2 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0,64}$
Soil Conservation Service (T_cSCS), em horas	Capacidade de retenção máxima (S), em mm $S = \frac{25400}{CN} - 254$
	Tempo de atraso (T_l), em horas $T_l = L^{0,8} \frac{(0,03937.S + 1)^{0,7}}{734,43.D_{méd}^{0,5}}$
$T_cSCS = 1,67.T_l$	

L é o comprimento da linha de água principal em km; J é o declive médio da linha de água principal em m/m na fórmula de Temez e em % na fórmula de Ven Te Chow; $D_{méd}$ é o declive médio da bacia em %; CN é o Número de Escoamento.

O tempo de concentração adoptado consistiu na média aritmética simples dos três valores, procedimento normalmente realizado, em face da elevada amplitude de valores obtidos pelos diferentes métodos (ver por exemplo INAG, 2002e).

Nas modelações efectuadas em Pombal, Soure e Ponte Mocate/V.N. Anços, o caudal de ponta de cheia obtido para o Arunca foi comparado com os valores apresentados no PBH Mondego de forma a aferir da sua razoabilidade³⁹.

3.2.1.2. Definição das características geométricas e hidráulicas do canal a modelar

A segunda fase da preparação dos dados em ambiente SIG consiste na definição das características geométricas e hidráulicas do canal fluvial a modelar e do respectivo leito maior. Assume-se como condição primordial para uma boa modelação hidráulica que a informação altimétrica disponível seja de grande escala (no mínimo à escala 1:10 000). Esta assumpção não se baseia nos manuais do programa HEC-RAS - pois os mesmos não fazem referência específica a este tema - mas no facto de que a equidistância das curvas de nível e a densidade de pontos cotados da cartografia produzida a escalas mais pequenas que a escala 1:10 000, não permitem uma boa representação morfológica do leito maior e principalmente do leito menor. Vêm no mesmo sentido as conclusões apresentadas em CALÇADA *et al.* (2004) sobre a cartografia utilizada no estudo de áreas inundáveis em Timor-Leste.

³⁹ A comparação é feita caso a caso no capítulo 4.2 que se refere à apresentação dos resultados obtidos pelo método hidrológico-hidráulico.

Para as modelações hidráulicas realizadas no concelho de Pombal (Secções A e B) utilizou-se cartografia na escala 1:2000 e para as modelações realizadas no concelho de Soure (Secções C e D) recorreu-se a cartografia na escala 1:10 000.

Contudo, verificou-se a necessidade de completar a geometria do leito menor disponível de forma a mais correctamente representar a sua morfologia. Este procedimento é também referido em LASTRA *et al.* (2008) e APEL *et al.* (2009) onde, por exemplo, estes últimos autores referem a necessidade de completar os dados provenientes de um Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução espacial de 25 m, com levantamento topográficos e batimétricos.

A cartografia vectorial utilizada mostrou-se igualmente insuficiente para uma adequada representação geométrica das pontes e outros elementos com implicações no escoamento, tais como muros. Nestes casos, a completagem e correcção da geometria foi concretizada sobretudo com observações e medições de campo mas também recorrendo a fotografia aérea, perfis transversais e dados relativos às pontes disponibilizados pelos municípios.

Uma vez produzido o MDT em formato TIN (*Triangulated Irregular Network*) os restantes passos de criação do ficheiro a exportar para o programa de modelação hidráulica são realizados recorrendo à extensão de ArcGIS, HEC-GeoRAS versão 4.2.92, com o apoio do respectivo manual (HEC, 2005). Neste ficheiro constam dados sobre a geometria e atributos dos canais fluviais e respectivos leitos, bem como a localização de eventuais estruturas hidráulicas existentes. Sequencialmente, o utilizador vai produzindo as várias *layers* armazenadas numa *geodatabase* como de seguida se descreve:

- Stream centerline: corresponde ao eixo das linhas de água que perfazem a rede de drenagem a modelar. Foram traçados com auxílio de fotografia aérea e cartografia vectorial. Em cada intercepção foram colocadas junções que realizam topologicamente a relação entre os segmentos de linhas de água;
- Bank lines: correspondem à crista dos taludes marginais do leito menor e foram traçados com auxílio de fotografia aérea e do MDT;
- Flow path centerlines: consistem em linhas que definem o centro de massa do escoamento fluvial que ocorre no leito maior, na margem esquerda e direita da linha de água. A sua definição não é isenta de alguma subjectividade, tendo-se optado por traçar estas linhas a meio das áreas de menor declive (declive inferior a 2%) recorrendo ao mapa de declives produzido a partir do MDT;
- Cross-sectional cut lines: correspondem a linhas que definem as secções transversais. Cada secção transversal inicia-se sensivelmente a meio das vertentes – a uma cota que se considere nunca ser alcançada em situação de cheia – e deve atravessar todo o leito do curso de água perpendicularmente ao sentido do escoamento. Nas situações em que existem pontes fizeram-se, tal como indicado nos manuais do programa, duas secções transversais, imediatamente a jusante e a montante da ponte. A distância dos limites do tabuleiro às secções de montante e jusante não deve distar mais de 9 metros (aproximadamente 30 *feet*), tendo-se optado por colocar estas secções a uma distância de 1 m da ponte. As secções transversais representam

não apenas a morfologia do terreno mas também acolhem os dados relativos à localização das linhas de água, cristas dos taludes marginais, coeficientes de rugosidade, diques longitudinais, etc.;

- *Bridges/culverts*: consistem nas linhas que definem o eixo do tabuleiro de pontes e/ou de passagens hidráulicas (manilhas, p.e.) e foram traçadas em ambiente SIG, tendo a restante informação geométrica (do tabuleiro, pilares, etc.) sido introduzida no programa HEC-RAS⁴⁰;
- *Ineffective flow areas*: são as áreas na planície aluvial onde, podendo haver inundabilidade, não há transporte efectivo de escoamento ou, inclusive, o escoamento pode fazer-se localmente em sentido oposto ao do curso de água (*non-conveyance areas*). Estas áreas foram inseridas seguindo as indicações constantes em HEC (2002a e 2005), imediatamente a montante e a jusante das pontes, por serem as áreas em que se pode verificar a acumulação de água nas condições referidas;
- *Blocked obstructions*: consistem nas áreas onde não há escoamento fluvial. Foram inseridos nos locais em que existem grandes edifícios ou aterros não representados no MDT;
- *Land use*: consiste no *layer* que armazena a informação relativa ao uso do solo em toda a área abrangida pelas secções transversais, e a partir da qual se extrai o coeficiente de rugosidade de Manning. No presente estudo adoptou-se como base de trabalho para a edição cartográfica do uso do solo a utilizar, a cartografia da Carta de Ocupação do Solo (COS'90) que, apesar de ser mais antiga que a cartografia CLC'2000, apresenta um nível de pormenorização bastante superior, facilitando deste modo a edição cartográfica realizada. Este procedimento permitiu a obtenção de cartografia de uso do solo pormenorizada e actualizada para a área das secções a modelar. A correspondência entre as classes de uso do solo e o valor do coeficiente de rugosidade de Manning foi feita recorrendo a tabelas publicadas em MATOS (1987), HEC (2002b) segundo CHOW (1959), HEC (2002a, 2002b e 2005) (vd. Anexo C);
- *Levee alignments*: consistem nas estruturas lineares que impedem o escoamento de se direccionar para a planície aluvial. Geralmente, os MDT não possuem resolução suficiente que os evidencie pelo que, sempre que tal se sucedia, estas estruturas foram introduzidas recorrendo a observações de campo, fontes bibliográficas e fotointerpretação. No entanto, o modelador está condicionado a colocar no máximo um *levee* em cada margem da linha de água, o que impossibilitou a inserção de alguns muros ou outros elementos que actuam hidraulicamente como diques marginais. Sempre que possível, optou-se por garantir, pela cuidada preparação dos dados altimétricos, que os diques marginais fossem representados no MDT. Por exemplo, a

⁴⁰ A informação geométrica relativa às pontes foi recolhida principalmente no campo, com recurso a fita métrica. Para as pontes no troço do rio Arunca em Pombal foi possível completar e aferir essa informação através do relatório da Câmara Municipal de Pombal intitulado *Bacias Hidrográficas e Cheia Centenária - Plano de Cheias para o Concelho de Pombal* (CMP, 2007).

tabela das secções transversais armazena a informação relativa aos pontos (*stations*) ao longo da secção em que ocorre modificação do coeficiente de rugosidade.

Todos estes elementos possuem tabelas de atributos associadas, preenchidas com informação proveniente da sua relação, quer com o MDT, quer com, os restantes elementos.

Após a edição de todos os elementos existentes e considerados relevantes, procede-se à exportação da *geodatabase* para formato XML (*Extensible Markup Language*) e posteriormente para o formato SDF (*Spatial Data File*), de forma a ser importada pelo programa HEC-RAS.

3.2.2. Modelação hidráulica

3.2.2.1. Ajuste e completagem dos dados geométricos

Após a importação dos dados produzidos com recurso à ferramenta HEC-GeoRAS, torna-se necessário o seu ajuste e completagem. O programa HEC-RAS possui ferramentas que permitem criar novos elementos de geometria e modificar ou apagar elementos importados do ambiente SIG. Relativamente às secções transversais, foram eliminados os pontos duplicados e em excesso – apenas é permitido um máximo de 500 pontos por secção transversal. Nos casos em que se dispõe de medições hidrométricas (altura na régua transposta para altitude e respectivo caudal), estas podem ser inseridas na secção mais próxima do ponto de recolha das medições.

Como referido acima, os dados relativos às pontes são completados com as características do tabuleiro, paredes laterais, pilares e vão livre. Define-se ainda o modo como se modela a aproximação à ponte, sendo adoptada a equação de energia.

3.2.2.2. Definição dos dados de escoamento

Os dados de escoamento requeridos são os dados dos caudais de ponta de cheia, as condições de fronteira e o regime de escoamento. Este último é, porém, definido apenas quando se cria o plano da modelação, pelo que dele se falará no ponto seguinte.

Os caudais inseridos foram os estimados anteriormente na fase de preparação dos dados, para o período de retorno de 100 anos. Quando existiram tributários, o respectivo caudal foi inserido na secção transversal localizada a jusante da confluência. Quando existiram duas linhas de água definidas (dois *reaches* na linguagem do manual do HEC-RAS) que a dada altura confluem, a primeira secção transversal a jusante da confluência teve como caudal a soma dos caudais inseridos nas linhas de água a montante.

As condições de fronteira têm como função estabelecer a altura inicial da água. O tipo de condição de fronteira adoptado foi o *Normal Depth Slope* que consiste no declive de energia a ser usado na equação de Manning. Este valor foi substituído pelo declive médio do canal a modelar, tal como aceite e preconizado no manual do utilizador (HEC, 2002a).

3.2.2.3. Definição do plano geral da modelação hidráulica

Após se completarem os ficheiros com os dados geométricos e de escoamento inicia-se a fase final de definição e parametrização da modelação hidráulica. O HEC-RAS permite dois tipos de análise: em regime constante e em regime variável. Em virtude dos dados de escoamento disponíveis optou-se pela análise em regime constante⁴¹.

No plano geral da modelação definem-se os ficheiros de dados geométricos e de escoamento a utilizar, o regime de escoamento e algumas opções relativas a parâmetros hidráulicos.

O regime de escoamento (*flow regime*) pode ser subcrítico, misto ou supercrítico. Adoptou-se o regime misto para que seja o programa a seleccionar as secções transversais onde ocorre cada um dos outros dois tipos de regime de escoamento.

Nas opções definiu-se que a computação do transporte (*conveyance*) seja feita entre cada ponto das secções transversais e não apenas onde há mudanças de coeficiente de rugosidade; e adoptou-se o método de fricção do declive definido por defeito para as análises de escoamento constante (*average conveyance*).

3.2.2.4. Execução e validação da modelação hidráulica

A última etapa desta fase consiste na realização e execução da modelação hidráulica.

A modelação hidráulica foi realizada considerando o escoamento em regime uniforme (*steady flow*) e unidireccional. A computação do escoamento entre determinada secção transversal e a secção transversal seguinte baseia-se na resolução da equação da conservação da energia (HEC, 2002b), expressa por:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e,$$

sendo Y_1 e Y_2 a profundidade do escoamento (m), Z_1 e Z_2 a cota (m), V_1 e V_2 a velocidade média (m/s), α_1 e α_2 o coeficiente de ponderação da velocidade, g a aceleração gravitacional e h_e a perda de energia calculada pela equação de Manning. Os resultados da aplicação da equação da energia são a profundidade e a velocidade do escoamento em cada ponto da secção transversal.

A estimação da perda da energia pela equação de Manning é dada por:

$$h_e = L \overline{S_f} + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|,$$

⁴¹ A análise em regime variável (*unsteady flow*) necessita da introdução dos dados de um hidrograma de cheia. Neste trabalho utilizaram-se os dados de caudais de ponta de cheia estimados, pelo que se trata de regime constante (*steady flow*).

sendo L a distância entre secções ponderada pela vazão (m), S_f a declividade da linha de energia (m/m) e C o coeficiente de contracção ou expansão.

O programa HEC-RAS está dotado com ferramentas internas de validação da informação introduzida que, consoante o tipo de erro ou lacuna verificado, podem permitir ou impedir a computação. Nos casos em que a modelação é impedida, o utilizador é informado acerca do tipo de dados que deve completar ou corrigir. Mesmo quando a computação é bem-sucedida, o utilizador deve consultar a janela de erros, avisos e notas de modo a eliminar as lacunas e incorrecções de menor relevância que subsistem e aperfeiçoar a modelação.

Um dos avisos mais correntes é o da eventual necessidade de mais secções transversais de forma a melhor estimar as perdas de energia e as alturas da água. As mesmas podem, e foram por vezes, adicionadas recorrendo às ferramentas de edição de dados geométricos.

A validação foi feita também visualmente recorrendo a alguns dos *outputs* do programa, tais como sejam os perfis de cada secção transversal, o perfil longitudinal, o perfil tridimensional e as tabelas alfanuméricas.

3.2.3. Análise e visualização dos resultados

Após a modelação hidráulica, é feita a exportação dos resultados para um formato compatível com a extensão HEC-GeoRAS. Esta extensão converte os dados do formato SDF para XML e posteriormente, cruzando esta informação com o MDT, produz informação geográfica nos formatos normalmente usados em SIG e, em concreto, pelo ArcGIS (formatos *SHAPE*, *GRID* e *TIN*).

Na verdade, a fase de validação referida no ponto anterior pode prolongar-se até ao momento em que se visualizam os polígonos da área inundável e respectivas profundidades em ambiente SIG. De facto, a visualização possível no HEC-RAS não tem a mesma qualidade que em ambiente SIG – onde se podem fazer cruzamentos com outras fontes de informação – pelo que a percepção de que a modelação não produziu resultados aceitáveis ou verosímeis pode ocorrer apenas após a exportação dos resultados.

O último passo consiste na produção cartográfica. As variáveis exportadas permitem não só a representação cartográfica do polígono máximo da área inundável, como permitem, subtraindo o TIN representativo das alturas da coluna de água com o TIN representativo da morfologia do terreno, classificar zonalmente as áreas de acordo com as profundidades verificadas⁴².

⁴² A cartografia das velocidades de escoamento é outro tipo de informação possível de extrair dos resultados da modelação que não foi, contudo, explorada porque se afasta do tema central deste trabalho, sendo no entanto relevante para avaliação do risco.

4. RESULTADOS

4.1. MÉTODO DE RECONSTITUIÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA

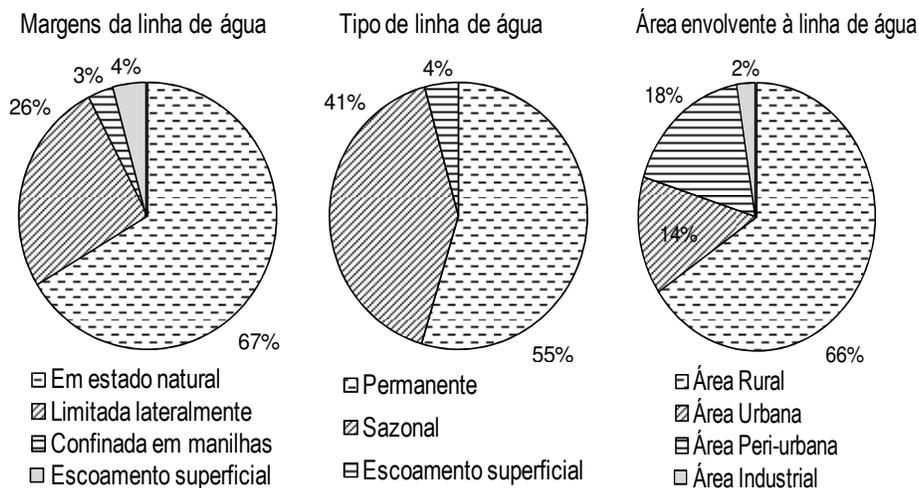
4.1.1. Análise dos resultados dos questionários

Através da informação recolhida pelos questionários obtém-se dados acerca do comportamento hidrológico das linhas de água, dados que permitem definir os limites da cheia actual e da cheia histórica e dados que permitem identificar pontos críticos de escoamento.

4.1.1.1. Enquadramento da linha de água

Quanto ao enquadramento da(s) linha(s) de água (Figura 4.1-1), verifica-se que a larga maioria se encontrava em estado natural (em 79 dos 119 questionários). Apenas nos questionários realizados nas áreas urbanas ou no troço terminal do Rio Arunca se encontraram linhas de água limitadas artificialmente ou confinadas em manilhas. Em 5 questionários não se considerou a existência de um leito quando o problema de escoamento estava relacionado com escoamento superficial sobre, por exemplo, uma estrada ou uma vertente.

Figura 4.1-1 - Enquadramento dos pontos de inquirição objecto de questionário.

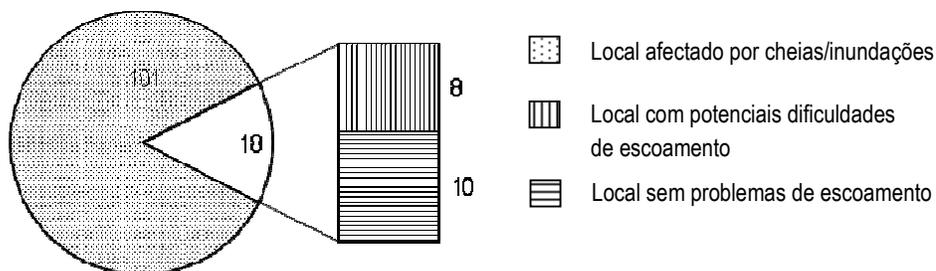


Em 65 dos 119 questionários (55%) a linha de água alvo do questionário apresenta um regime de escoamento permanente. A área envolvente é em 78 dos 119 locais inquiridos marcada pela ruralidade.

Em 101 dos 119 questionários (85%) registaram-se áreas afectadas por cheias/inundações (Figura 4.1-2). Dos restantes 18 questionários – aqueles em que os inquiridos referem não existir no local áreas afectadas por cheias/inundações – em 8 identificaram-se potenciais problemas de escoamento, relacionados com a falta de limpeza das linhas de água e com o estrangulamento da secção de vazão por elemento hidráulico.

Doravante, a análise efectuada restringe-se aos 101 questionários onde os inquiridos relatam a existência de problemas de escoamento relacionados com cheias/inundações. Nos restantes 18 questionários, os inquiridos referiram não existir problemas de escoamento.

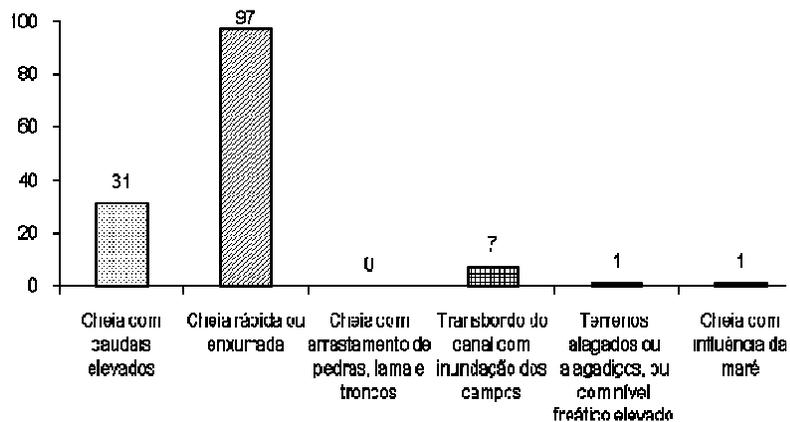
Figura 4.1-2 - Realidade, potencialidade e ausência de problemas de escoamento superficial nos pontos de inquirição.



4.1.1.2. Dinâmica hídrica

A questão relativa à dinâmica hídrica é uma questão de resposta múltipla pelo que era permitida a escolha de mais do que uma opção de resposta. Como se constata na Figura 4.1-3, a maior parte dos problemas de escoamento ocorrem em situação de cheia rápida ou enxurrada. As respostas de “Cheia com caudais elevados” localizam-se principalmente a jusante de Soure, na planície aluvial do rio Arunca.

Figura 4.1-3 - Dinâmica hídrica das áreas com registo de cheias e inundações.



Próximo da confluência do rio Arunca com o rio Mondego, também se indica como dinâmica hídrica agravante das situações de cheia a influência da maré.

A maior parte das inundações está relacionada com o transbordo de uma linha de água. Nas restantes situações, as causas apontadas são a deficiente rede de drenagem pluvial e o escoamento superficial, não canalizado, sobre estradas e vertentes.

Em 16 questionários foi referido que houve alteração no estado e/ou traçado da linha de água. Algumas alterações vieram facilitar o escoamento, reduzindo ou mesmo evitando o transbordo, tais como o alargamento, aprofundamento e limpeza do leito. Outras vieram dificultá-lo tais como a construção de pontes, a canalização subterrânea e o corte de vegetação das margens (com posterior deposição no leito).

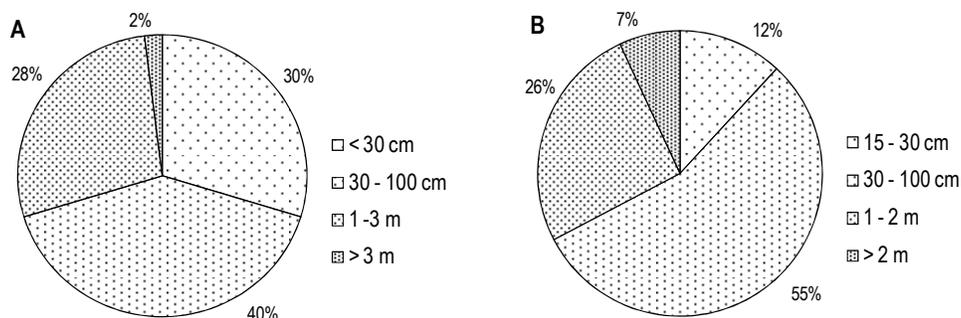
4.1.1.3. Características epigráficas das cheias/inundações

Em 22% dos 101 questionários encontraram-se registos epigráficos⁴³ no local evidenciando a altura da coluna de água em cheias ou inundações passadas. A larga maioria destes registos datava da última cheia de 25 de Outubro de 2006.

Na Figura 4.1-4 caracteriza-se a altura máxima e média da coluna de água no ponto de inquirição em cheias/inundações anteriores de que os inquiridos tenham memória.

A altura máxima da coluna de água em situação de cheia/inundação varia muito com as características do local onde é realizado o questionário. Se é realizado perto do leito menor da linha de água na planície aluvial, o seu valor é elevado. Se é realizado próximo do limite exterior do leito maior, o seu valor é reduzido.

Figura 4.1-4 - Altura máxima (A) e média (B) da coluna de água atingida em situação de cheia/inundação.



Em 41% dos questionários a altura máxima situou-se entre 1 e 3 metros, sendo esta a classe mais frequente. As maiores alturas da coluna de água (> 3m) registadas em questionário localizam-se a jusante de Soure, na planície aluvial do rio Arunca. A altura média da coluna de água relativamente à área envolvente (Figura 4.1-4 B), ilustra melhor as características da área imersa porque se refere à altura média observada em toda a secção transversal em que se insere o local de inquirição. Tomando como exemplo o rio Arunca pode verificar-se que - cruzando dados de diferentes questões - em 52 questionários próximo desta linha de água, apenas 3 apresentam alturas médias entre 15-30 cm, localizando-se todos eles a montante de Pombal. De facto, as alturas médias mais frequentes neste

⁴³ Considerou-se o conceito de registo epigráfico em sentido lato, incluindo os vestígios de cheias e inundações em árvores, paredes, portões e muros, etc., bem como outras marcas realizadas pela população, através de pintura, baixo-relevo, etc.

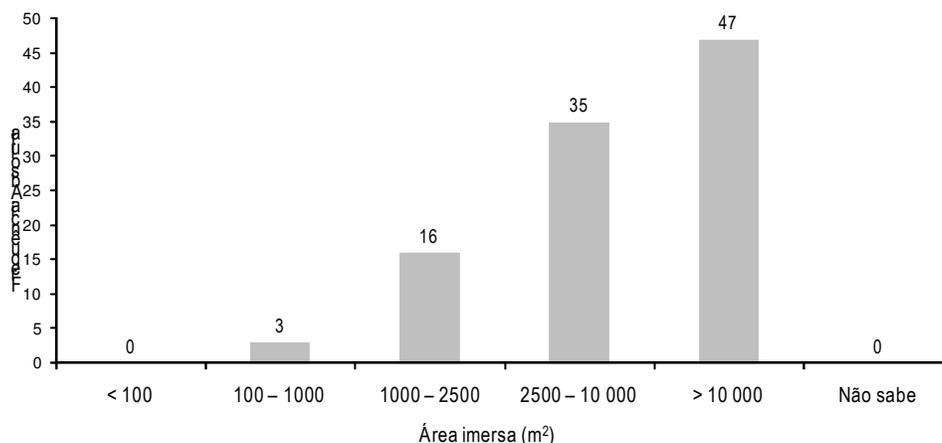
Resultados

curso de água variam entre os 30 cm e os 2 m, aumentando este valor quanto mais próximo se estiver da foz. Em apenas 7 questionários se encontram alturas médias da água superiores a 2 m.

A Figura 4.1-5 refere-se à extensão da área imersa estimada pelos inquiridos. Em 47 dos 101 questionários a extensão da área imersa é superior a 10 000 m² (1 hectare). Em 19 questionários a área imersa é inferior a 2500 m² resultando principalmente de pontos de inquirição em linhas de água alimentadas por pequenas bacias hidrográficas.

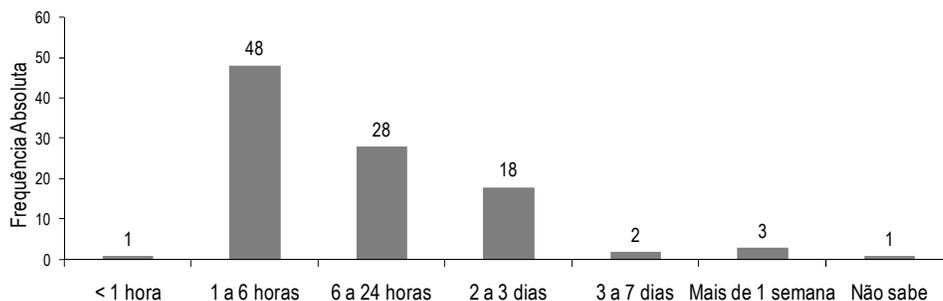
Em 64 dos 101 questionários foi referida a existência de continuidade física da área imersa.

Figura 4.1-5 - Extensão da área imersa.



O tempo médio de permanência em imersão mais frequente consiste no intervalo de 1 a 6 horas (Figura 4.1-6). As situações de cheia/inundação mais prolongadas – superiores a 2 dias - registam-se quase exclusivamente no rio Arunca, em particular a jusante de Soure.

Figura 4.1-6 - Tempo médio de permanência da área em imersão.



Nas áreas urbanas os tempos de imersão mais frequentes verificam-se igualmente no intervalo de 1 a 6 horas. Este é também o tempo médio mais frequente nas pequenas bacias hidrográficas.

Na Tabela 4.1-1 observa-se o período de retorno estimado pelos inquiridos para a ocorrência de cheias/inundações. A resposta a esta questão é algo subjectiva, uma vez que a estimativa feita pelo inquirido depende muito da sua idade e do seu conhecimento do local.

Tabela 4.1-1 - Período de retorno estimado pelos inquiridos.

Período de retorno estimado pela população	Freq. Abs.
Sempre que chove muito	19
Todos os anos: uma vez por ano	2
Todos os anos: várias vezes por ano	6
Quase todos os anos	7
Nos anos em que chove muito	14
Nos anos excepcionais (máximas 3 ocorrências)	36
Maior registo observado ou resultante de transmissão oral	17
Total	101

Dada a proximidade no tempo às cheias e inundações ocorridas em Outubro de 2006, muitos inquiridos referem que este evento está entre os maiores de que têm memória. Com efeito, as cheias e inundações ocorridas no período de Outono/Inverno deste ano - e em particular o evento de 25 de Outubro - são de acordo com dados cedidos pelas corporações de Bombeiros de Soure e Pombal, as maiores cheias de que há memória no local⁴⁴. A frequência das respostas “Nos anos excepcionais (máximas 3 ocorrências)”⁴⁵ e “Maior registo observado ou resultante de transmissão oral”⁴⁶ é por isso maioritária, com 36 e 17 respostas do total de questionários, respectivamente. No sector a jusante do rio Arunca, os inquiridos referem períodos de retorno muito mais curtos tais como a frequência anual e plurianual das cheias/inundações.

4.1.1.4. Causas directas e indirectas atribuídas pela população às cheias e inundações

Através da Tabela 4.1-2 verifica-se que a causa directa mais atribuída pela população questionada para a ocorrência de cheias e inundações (96 respostas) é a chuva muito intensa e concentrada. A opção “Muitos dias seguidos de chuva” é mais frequente no sector a jusante de Soure, o que pode significar a ocorrência de cheias/inundações com características de cheia lenta ou progressiva, por transbordo do rio Arunca e/ou do rio Mondego. As 8 respostas recolhidas para a cauda “Invernos muito chuvosos” poderá vir no mesmo sentido da resposta “Muitos dias seguidos de chuva”. Atente-se que está é uma questão de resposta múltipla. A resposta “Caudal elevado das nascentes” não acolheu nenhuma resposta, algo que a acontecer, relacionar-se-ia com as bacias com forte alimentação subterrânea (principalmente o rio Anços).

⁴⁴ No ano de 2006, a corporação de Bombeiros de Pombal registou 1353 serviços efectuados relacionados com inundações, enquanto no ano seguinte esse número foi de apenas 7.

⁴⁵ Considera-se que a cheia/inundação associada a esta resposta apresente um período de retorno próximo dos 25 anos.

⁴⁶ O maior registo observado pelo inquirido ou resultante de transmissão oral deverá corresponder aproximadamente a uma cheia/inundação com período de retorno de 100 anos.

Resultados

Tabela 4.1-2 - Causas directas na ocorrência de cheias e inundações (resposta múltipla).

Causas directas atribuídas pela população	Freq. Abs.
Muitos dias seguidos de chuva	23
Chuva muito intensa (tipo tromba-de-água)	96
Invernos muito chuvosos	8
Caudal elevado das nascentes	0
Total	127

Quanto às causas indirectas (Tabela 4.1-3), 66 respostas referem-se à falta de limpeza das linhas de água como o factor que mais contribui indirectamente para a origem e agravamento das situações de cheia/inundação.

Em “Outras causas” destacam-se a construção de aterros para as vias rodoviárias e ferroviárias, a má drenagem das águas pluviais, a impermeabilização do solo, a maré, a confluência de linhas de água e a má gestão dos açudes.

A falta de conservação do leito e das estruturas associadas é apontada em 16 respostas.

Os inquiridos indicaram por 20 vezes a existência de construções/edifícios a contribuírem como causas indirectas para a ocorrência de cheias e inundações.

Tabela 4.1-3 - Causas indirectas na ocorrência de cheias e inundações.

Causas indirectas atribuídas pela população	Freq. Abs.
Falta de limpeza da linha de água	66
Falta de conservação do leito e das estruturas associadas	16
Construções/edifícios no leito da linha de água dificultando o escoamento: estrada	6
Construções/edifícios no leito da linha de água dificultando o escoamento: edifício	2
Construções/edifícios no leito da linha de água dificultando o escoamento: outro	12
Abandono dos terrenos agrícolas	7
Incêndios florestais	3
Outras causas	20
Não sabe/Não responde	17
Total	149

4.1.1.5. Evidências locais para as dificuldades de escoamento

A identificação das evidências locais para as dificuldades de escoamento resulta da observação directa do inquiridor no local onde se realiza o questionário. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 4.1-4.

A falta de limpeza das linhas de água é a evidência local a dificultar o escoamento mais frequentemente verificada (69 respostas). O estrangulamento da secção de vazão por elemento hidráulico -

nomeadamente pontes, açudes ou manilhas – reúne 34 respostas. Nas áreas urbanas, particularmente em Pombal, regista-se a impermeabilização das áreas circundantes como factor que intervém no escoamento, tornando-o danoso para bens e pessoas.

Em “Outras evidências” surgem a meandrização, a construção de aterros para passagens rodoviárias e ferroviárias, o aumento da altura do piso das estradas, a passagem da linha de água a percurso subterrâneo e a subida da maré.

Tabela 4.1-4 - Evidências locais para as dificuldades de escoamento.

Evidências locais para as dificuldades de escoamento	Freq. Abs.
Estrangulamento da secção de vazão por aterramento	8
Alteração topográfica com alteração das cotas naturais	4
Estrangulamento da secção de vazão por elemento hidráulico	34
Impermeabilização das áreas circundantes	23
Construção de edifícios com pisos negativos	1
Falta de limpeza das linhas de água	69
Deficiências na drenagem pluvial	7
Passagem inferior	0
Confluência de linhas de água	11
Alteração topográfica provocada por deslizamentos	0
Outras evidências	11
Sem evidências locais que causem dificuldade de escoamento	14
Total	182

4.1.1.6. Elementos expostos a cheias/inundações ou a deficiente drenagem superficial

A Tabela 4.1-5 mostra quais os elementos expostos a cheias/inundações ou a deficiente drenagem superficial. Cada registo não corresponde ao número de elementos expostos mas à existência naquele local de determinada categoria de elementos exposta. Por exemplo, um registo no questionário na categoria “Vias rodoviárias” não significa que, no local do questionário, haja apenas uma via rodoviária afectada.

Dada a predominância da actividade agrícola na área do leito maior da bacia do rio Arunca, verifica-se um elevado número de respostas a indicarem as zonas agrícolas cultivadas e abandonadas como os elementos expostos mais frequentes (71 e 53 respostas respectivamente). Pela mesma razão se explicam os 21 registos em construções de apoio agrícola. As habitações⁴⁷ totalizam 38 dos 297 registos de elementos expostos e os estabelecimentos comerciais 14.

⁴⁷ O número aproximado de edifícios para uso habitacional afectados na maior cheia/inundação de que os inquiridos têm memória foi de 184. Este número refere-se obviamente apenas aos locais onde se realizaram inquéritos.

Tabela 4.1-5 - Elementos expostos.

Elementos expostos a cheias/inundações ou a deficiente drenagem superficial	Freq. Abs.
Habitação isolada e recheio	11
Habitações várias e respectivo recheio	27
Construções de apoio agrícola	21
Garagens e arrumos	10
Lojas e estabelecimentos comerciais	14
Espaços industriais	6
Outros armazéns e espaços comuns	2
Pisos negativos ou subterrâneos	5
Estações de captação ou elevação de água	0
Estações de tratamento de água	1
Bombas de gasolina	1
Cemitérios	1
Aterros ou antigas lixeiras	0
Equipamentos escolares	1
Zonas públicas de lazer	5
Zonas agrícolas cultivadas	70
Zonas agrícolas abandonadas	53
Zonas florestais	0
Vias rodoviárias	62
Vias ferroviárias	1
Outros equipamentos	7
Total	298

As vias rodoviárias são outro elemento frequentemente afectado por cheias/inundações (63 registos). Das vias rodoviárias expostas, 39,7% são itinerários complementares, estradas nacionais ou municipais, 23,5% caminhos não asfaltados e 22,1% arruamentos urbanos.

Em “Outros equipamentos” expostos surgem como resposta, por exemplo, uma capela e um parque de estacionamento.

4.1.2. Cartografia de áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento

Apresenta-se de seguida a cartografia de áreas inundáveis obtida pela aplicação do método de reconstituição hidrogeomorfológica.

Como referido no capítulo 3, esta metodologia conduziu à definição dos limites da cheia histórica e da cheia actual. Na BHA a área inundável para uma cheia histórica é de 4753,0 ha, valor superior em cerca de 31% à área inundável correspondente a uma cheia actual (3612,5 ha). Pela leitura da Tabela 4.1-6 observa-se também que a diferença entre a área ocupada pelos limites da cheia histórica e limites da cheia actual aumenta de jusante para montante, principalmente entre o sector a jusante de Soure e os restantes.

Tabela 4.1-6 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento na BHA.

	Cheia histórica (ha)	Cheia actual (ha)	PCE
Sector a jusante de Soure	1724,3	1705,9	32
Sector entre Soure e Pombal	1929,8	1376,2	130
Sector a montante de Pombal	1098,9	530,4	91
Total	4753,0	3612,5	253

O sector que apresenta maior número de pontos críticos de escoamento (PCE) é o sector entre Soure e Pombal com 130 dos 253 PCE identificados (51% do total). Para maior facilidade de representação cartográfica, a separação dos PCE pelos três sectores não é feita pelos limites das várias sub-bacias hidrográficas, mas pela linha meridiana definida relativamente ao rio Arunca (o curso de água principal).

4.1.2.1. Sector a montante de Pombal

A Figura 4.1-7 apresenta as áreas inundáveis e PCE existentes no sector a montante de Pombal. Neste sector o limite da cheia histórica é menos coincidente com o limite da cheia actual, o que se deve em parte à menor planura do leito maior e a obras de alargamento e aprofundamento do leito menor, levando a uma diferenciação mais nítida entre os limites dos dois tipos de cheia dentro do leito maior. Tal se verifica nos três maiores cursos de água deste sector – o rio Arunca, o rio Cabrunca e a ribeira de Valmar.

Neste sector, a área inundável correspondente à cheia histórica é quase o dobro da área inundável para a cheia actual (*cf.* Tabela 4.1-6).

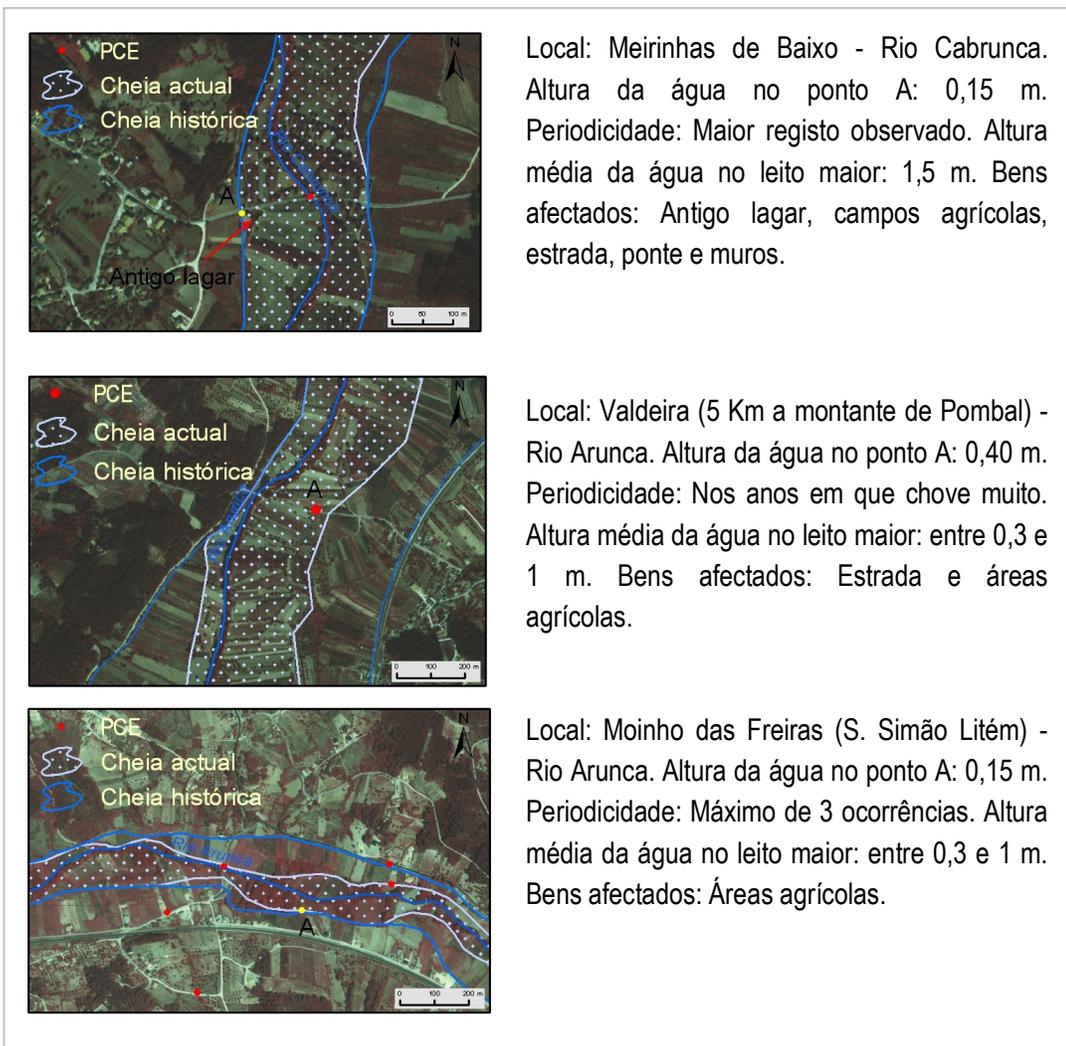
Quanto aos PCE, não obstante este sector ser o que abrange o curso superior do rio Arunca, a sua ocorrência verifica-se em quantidade considerável – 36% dos 253 PCE identificados. Como seria de esperar, a maior parte dos PCE relaciona-se com a linha de água principal, observando-se contudo bastantes pontos críticos em linhas de água de menor hierarquia, como a ribeira de Valmar e as linhas de água sem nome atribuído localizadas a sul de S. Simão de Litém. Realce também para o facto de se terem encontrado vários PCE no curso superior do rio Cabrunca, apesar da reduzida dimensão das bacias contributivas para o escoamento nestas secções fluviais.

Figura 4.1-7 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento no sector a montante de Pombal.



A Figura 4.1-8 exemplifica alguns dos locais onde se efectuaram questionários que, conjugados com informação recolhida no campo e por fotointerpretação permitem a distinção entre limites de cheia histórica e actual.

Figura 4.1-8 - Exemplo de questionários realizados a montante de Pombal.



No questionário realizado em Valdeira, o inquirido referiu que o facto de muitos açudes terem deixado de funcionar contribui para que a extensão da área inundável e a frequência com se verifica o transbordo do leito menor sejam menores. Por este facto, os limites de cheia histórica e cheia actual diferem significativamente.

A Figura 4.1-9 apresenta algumas fotografias relativas ao PCE identificado no rio Cabrunca, em Meirinhas de Baixo. A marca de água da cheia de Outubro de 2006, visível na fotografia B num antigo lagar situado na margem esquerda do rio (fotografia A) ilustra a vasta extensão da área inundável neste

local, possivelmente agravada pela existência de um obstáculo (muro) colocado transversalmente ao sentido do escoamento.

Figura 4.1-9 - PCE em Meirinhas de Baixo no rio Cabrunca.



4.1.2.2. Sector entre Soure e Pombal

A Figura 4.1-10 apresenta as áreas inundáveis e PCE existentes no sector entre Soure e Pombal. A área inundável correspondente à cheia histórica e à cheia actual apresenta maiores diferenças no leito maior do rio Anços, onde, em alguns troços, os inquiridos mencionam que actualmente não se verifica transbordo do curso de água. As razões apontadas para este facto prendem-se: i) com a limpeza, alargamento e regularização do rio; ii) com o facto de alguns dos açudes anteriormente existentes terem sido removidos, pelo que actualmente não se verifica o assoreamento do leito menor com a mesma magnitude; iii) possivelmente, com o comportamento hidrológico específico desta bacia alimentada significativamente por escoamento subterrâneo.

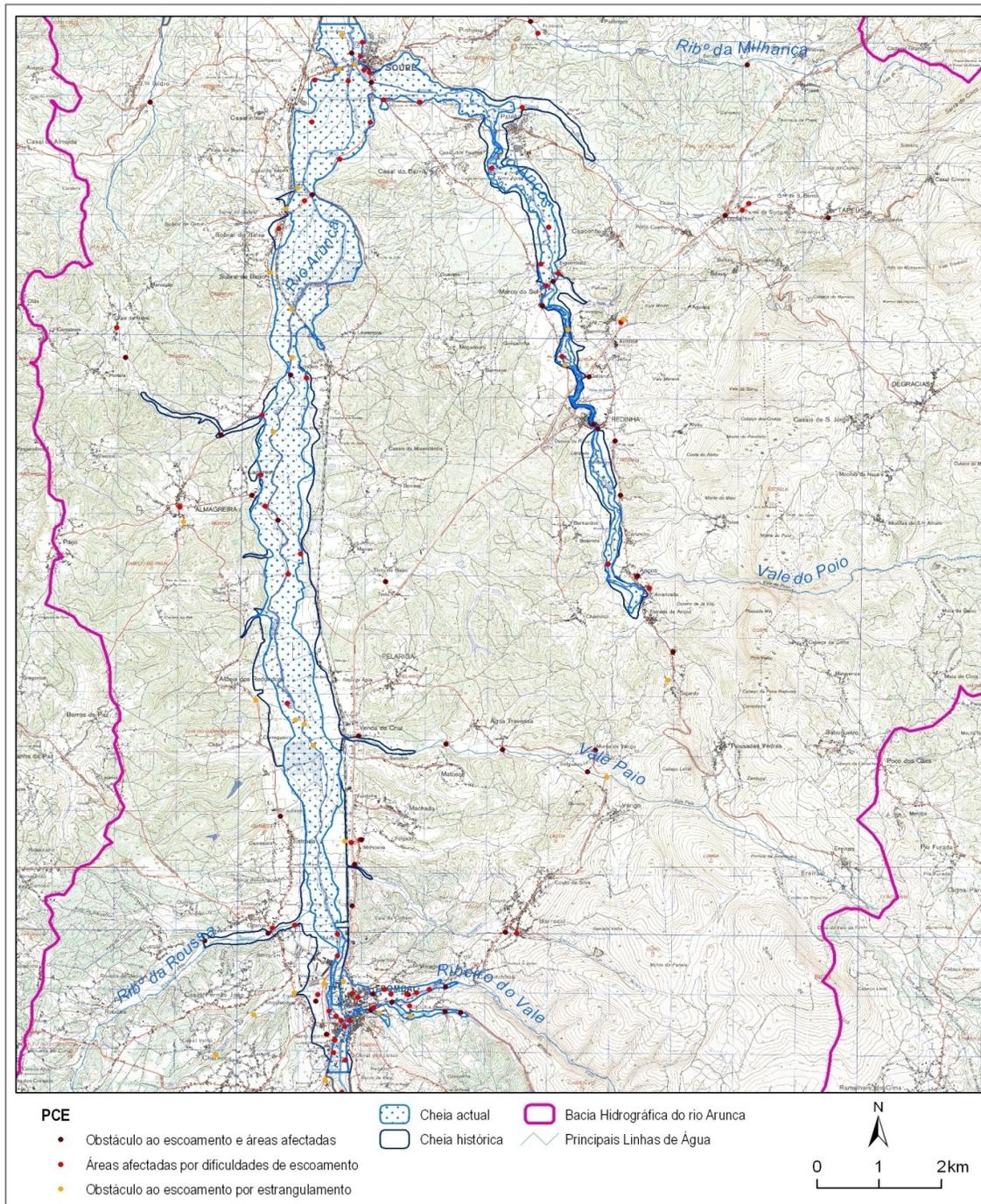
Quanto ao rio Arunca, neste sector as diferenças entre as duas áreas inundáveis (cheia actual e histórica) observam-se principalmente a montante da localidade de Simões e, com excepção de alguns troços, as diferenças mantêm-se até à cidade de Pombal.

Na localidade de Sobral de Baixo (vd. também Figura 4.1-12 A), verifica-se uma pequena diferença entre o limite da cheia histórica e actual, em concreto no local mais deprimido topograficamente, onde um afluente cruza a via férrea, na margem esquerda. Pelos resultados dos questionários, o limite da cheia actual far-se-ia junto à via férrea, mas as evidências hidrogeomorfológicas mostram que esse limite se estende mais para o interior. O outro troço do curso médio do rio Arunca onde se verificam diferenças significativas entre os limites de cheia actual e cheia histórica localiza-se na área de Pelariga, já próximo da cidade de Pombal.

O número de PCE é muito elevado quer na vila de Soure quer na cidade de Pombal. Nesta última, os mesmos devem-se a problemas de escoamento resultantes da drenagem pluvial e ao facto de existirem várias ribeiras com percurso subterrâneo, dentro do perímetro urbano, cujas secções de vazão não comportam os caudais mais elevados.

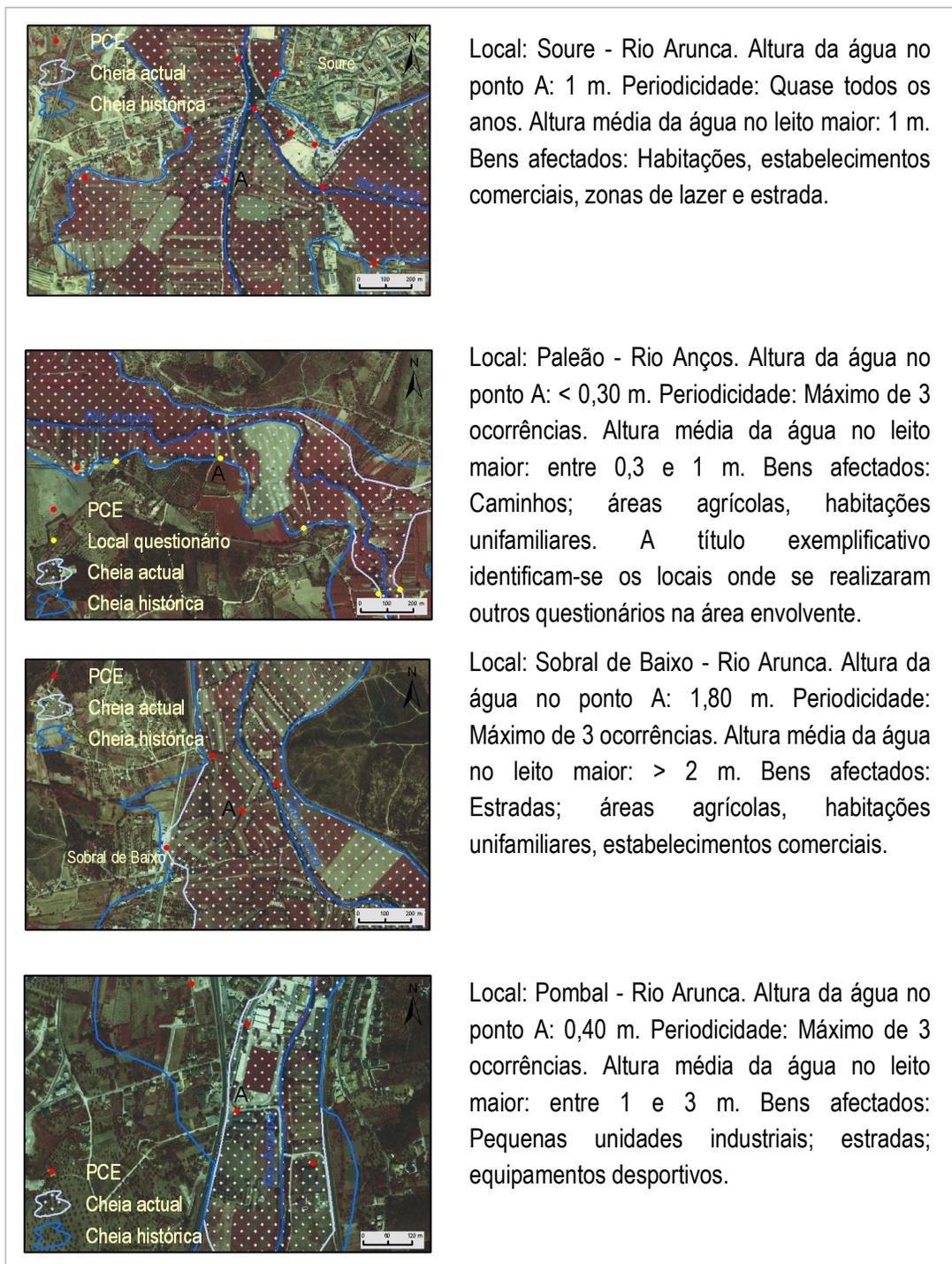
A crescente impermeabilização do solo será também uma das causas para a ocorrência recente de cheias urbanas nesta cidade. Verifica-se que muitos PCE estão associados a cursos de água de menor hierarquia fluvial, tais como o Vale Paio, o ribeiro da Roussa e o ribeiro da Venda Nova (na zona de Tapeus).

Figura 4.1-10 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento no sector entre Soure e Pombal.



A Figura 4.1-11 permite verificar com maior detalhe as diferenças entre áreas inundáveis neste sector e a localização de PCE identificados no terreno. A figura ilustra igualmente o modo como a informação recolhida através dos questionários auxilia na delimitação da área inundável.

Figura 4.1-11 - Exemplo de questionários realizados no sector entre Soure e Pombal.



Na cidade de Pombal verifica-se uma diferença maior entre os limites de cheia actual e cheia histórica que em Soure. As razões poderão residir no facto de na primeira localidade o rio Arunca se apresentar mais artificializado e de a topografia no leito maior ter sido mais alterada – por exemplo, parte da zona industrial na margem esquerda foi instalada sobre aterro. Nesta localidade encontram-se ainda outro tipo de estruturas que actuam como diques sustendo a expansão da área inundável, tais como a via férrea, a Este, e o IC2, a Oeste. Estas alterações de origem antrópica na cidade de Pombal são relativamente recentes (século XX) pelo que ainda não se reflectem nos limites da cheia histórica. Em Soure, o facto de confluírem na vila dois importantes cursos de água (Anços e Arunca), a planura do relevo e o estrangulamento natural a jusante da vila - agravado pelo estrangulamento causado pelo viaduto rodoviário recentemente construído sobre aterro - podem justificar que mesmo as cheias com menores períodos de retorno acabem por apresentar áreas semelhantes às cheias históricas. De facto, quando a mudança de declive no contacto entre o leito maior e a base das vertentes é brusca, mesmo um aumento significativo de caudal não se repercute com a mesma magnitude em área inundável.

As fotografias A, B e C da Figura 4.1-12 ilustram alguns registos epigráficos – em sentido lato – encontrados em Sobral de Baixo (A) e Soure (B e C) referentes à cheia de Outubro de 2006. A fotografia C corresponde ao local A identificado em Soure na Figura 4.1-11.

Figura 4.1-12 - Registos epigráficos encontrados em Sobral de Baixo (A) e Soure (B e C).



As fotografias da Figura 4.1-13 ilustram um PCE associado ao rio Arunca, situado entre as localidades de Venda da Cruz e Carregueiro na estrada que corta a planície aluvial. As fotografias foram tiradas alguns dias após a cheia de 25 de Outubro de 2006. Na margem esquerda, encontram-se três passagens hidráulicas construídas em 2002, cuja função é de evitar a submersão da estrada e a acumulação de água a montante desta. No entanto, a pressão e a conseqüente velocidade com que o escoamento é feito originam outro tipo de problemas, tais como a remoção de solo e vegetação, e a acumulação de sedimentos de granulometria variável a jusante da estrada, numa extensão de cerca de 300 metros.

Figura 4.1-13 - PCE no curso médio do rio Arunca, a jusante de Pombal.



Alguns PCE estão relacionados a quebras súbitas no perfil longitudinal dos cursos de água, como o ilustrado na Figura 4.1-14 na cidade de Pombal, imediatamente a jusante da confluência do rio Arunca com o ribeiro do Vale. As fotografias ilustram as consequências nos muros laterais da cheia de Outubro de 2006. Este tipo de estrutura tem a vantagem de escoar o caudal do rio mais rapidamente, reduzindo a rugosidade – logo, o atrito - das margens, apresentando contudo a desvantagem de, ao aumentar a velocidade do escoamento, aumentar igualmente a sua energia cinética.

Figura 4.1-14 - PCE no rio Arunca na cidade de Pombal.



Finalmente, um exemplo de PCE associado a um dos três cursos de água que confluem na cidade de Pombal – a ribeira de Outeiro de Galegas (Figura 4.1-15).

Figura 4.1-15 - PCE em Pombal associado à ribeira de Outeiro de Galegas.



Na fotografia A observa-se o sector a montante deste PCE, onde o curso de água passa por baixo de uma habitação⁴⁸. O local da fotografia B situa-se entre os locais das outras fotografias e nele se observa a marca da água deixada pela inundação numa habita o na margem esquerda. A fotografia C permite observar o local a jusante em que a ribeira de Outeiro de Galegas passa a correr subterraneamente na cidade de Pombal, antes de confluir com as outras duas ribeiras que prov m do maciço calcário.

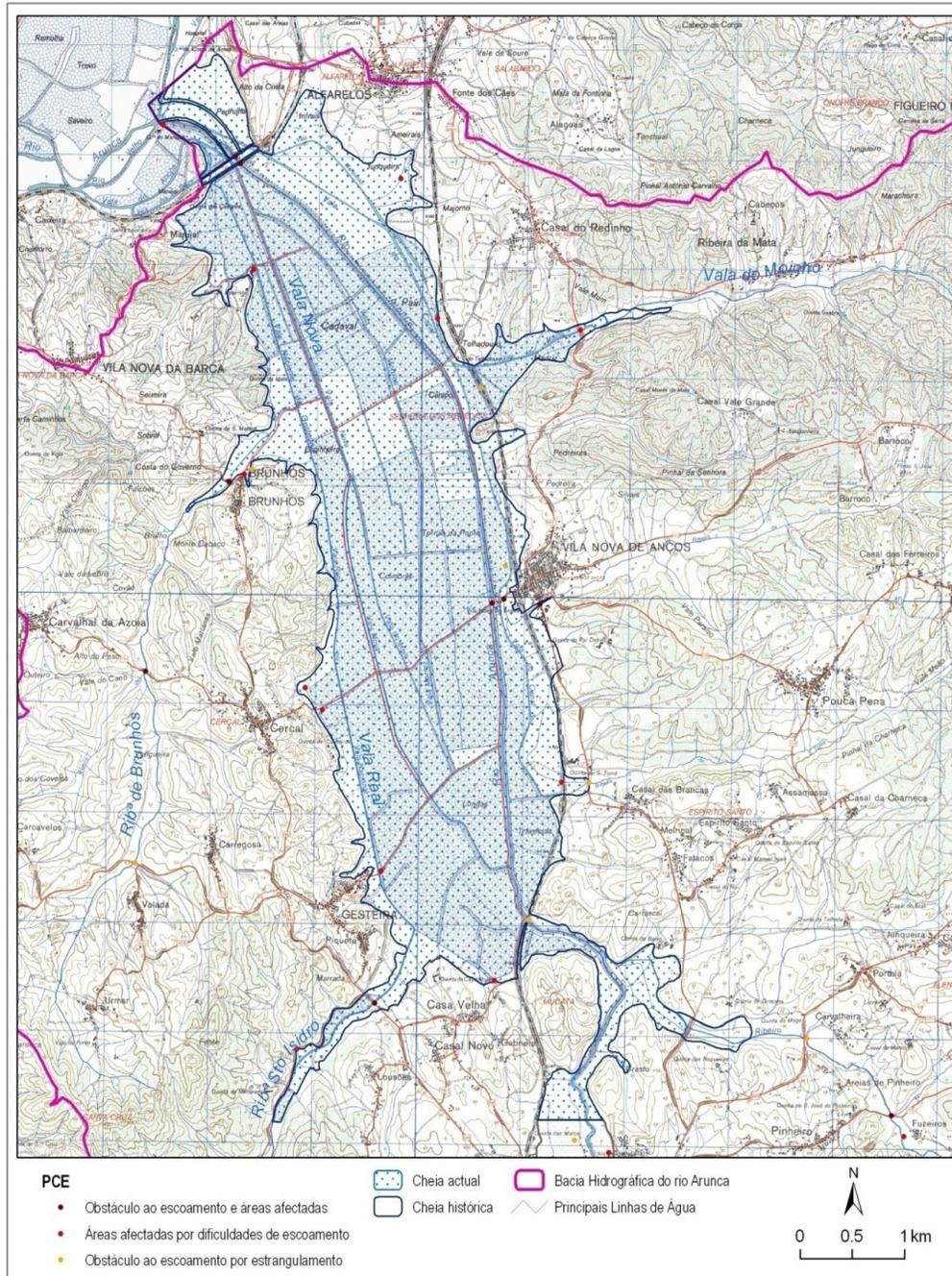
4.1.2.3. Sector a jusante de Soure

A Figura 4.1-16 apresenta as áreas inundáveis e PCE encontrados a jusante de Soure. Como se observa, quase não existem diferenças entre os limites da cheia histórica e da cheia actual (*cf.* Tabela 4.1-6), o que pode indicar que a dinâmica hidrológica recente do curso inferior do rio Arunca não se

⁴⁸ Após as cheias de Outubro de 2006 a casa foi demolida.

alterou⁴⁹, isto é, os limites da área inundável observáveis no campo e através de fotointerpretação coincidem com os limites obtidos através dos questionários. Os obstáculos ao escoamento identificados consistem geralmente em pontes, com ou sem açudes associados.

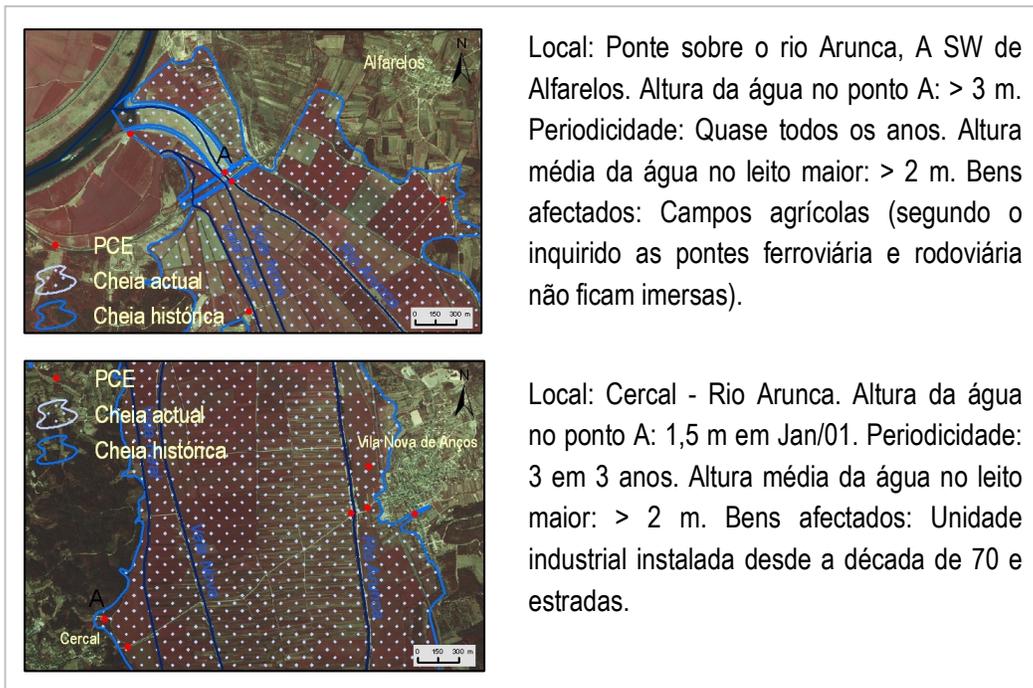
Figura 4.1-16 - Áreas inundáveis e pontos críticos de escoamento no sector a jusante de Soure.



⁴⁹ Os efeitos destas intervenções podem existir contudo, ao nível da altura da cheia e não ao nível da extensão de área inundável.

A Figura 4.1-17 exemplifica o tipo de dados que se pôde retirar da aplicação dos questionários neste sector. Observa-se com maior clareza que em ambos os locais os limites entre cheia actual e histórica não diferem.

Figura 4.1-17 - Exemplo de questionários realizados a jusante de Soure.



A fotografia A (vd. Figura 4.1-18) mostra a reconstrução do dique marginal esquerdo do rio Arunca, imediatamente a montante da ponte/açude sobre o rio Arunca em Vila Nova de Anços (cf. Figura 4.1-16).

Figura 4.1-18 - Evidências de transbordo no PCE situado na Ponte/açude de Vila Nova de Anços.



O pavimento alcatroado foi também destruído como se vê na fotografia B. A dimensão e quantidade dos sedimentos transportados e depositados nos solos agrícolas aluviais (fotografias B e C) evidencia a elevada energia hidrodinâmica associada a este evento⁵⁰.

⁵⁰ A título informativo refira-se que na madrugada e manhã do dia 25 de Outubro de 2006 – data em que ocorreu esta cheia - a estação de Ponte Mocate registou um caudal instantâneo máximo de 119,66 m³/s valor que, como se verá no sub-capítulo 4.2, está muito abaixo do caudal estimado para uma situação de cheia centenária. Até ao final do ano de 2006, a estação

Ainda neste sector, foram encontradas dificuldades de escoamento em pequenos cursos de água, como por exemplo na bacia hidrográfica da ribeira da Milhariça (Figura 4.1-19). A linha de água associada a este PCE é um pequeno afluente da ribeira da Milhariça com cerca de 4 km de comprimento, cuja cabeceira se situa a cerca de 2 km a nordeste do V.G de Cabeça Gorda. Nas cheias de Outubro de 2006 a ponte foi parcialmente destruída devido à força do caudal gerado pela precipitação e a estrada que liga a Alencarce de Baixo ficou cortada. Pelos materiais de construção e tipologia, tratar-se-á de uma ponte antiga, certamente anterior à década de 1960. De facto, a ponte reduz bastante a secção de vazão disponível. Existem evidências de que houve igualmente transbordo para os campos, submergindo no entanto uma pequena área.

Figura 4.1-19 - PCE localizado em pequeno afluente da ribeira da Milhariça (cf. Figura 4.1-16).



A aplicação do método de reconstituição hidrogeomorfológica resultou na elaboração de cartografia de áreas inundáveis e identificação de pontos críticos de escoamento para toda a área da bacia hidrográfica do rio Arunca. Neste sub-capítulo apenas se pormenorizou a análise destes resultados em alguns troços fluviais sendo que, no essencial, se procurou demonstrar a importância da componente de trabalho de campo e da integração da análise hidrogeomorfológica com a recolha de testemunhos, na obtenção dos resultados apresentados.

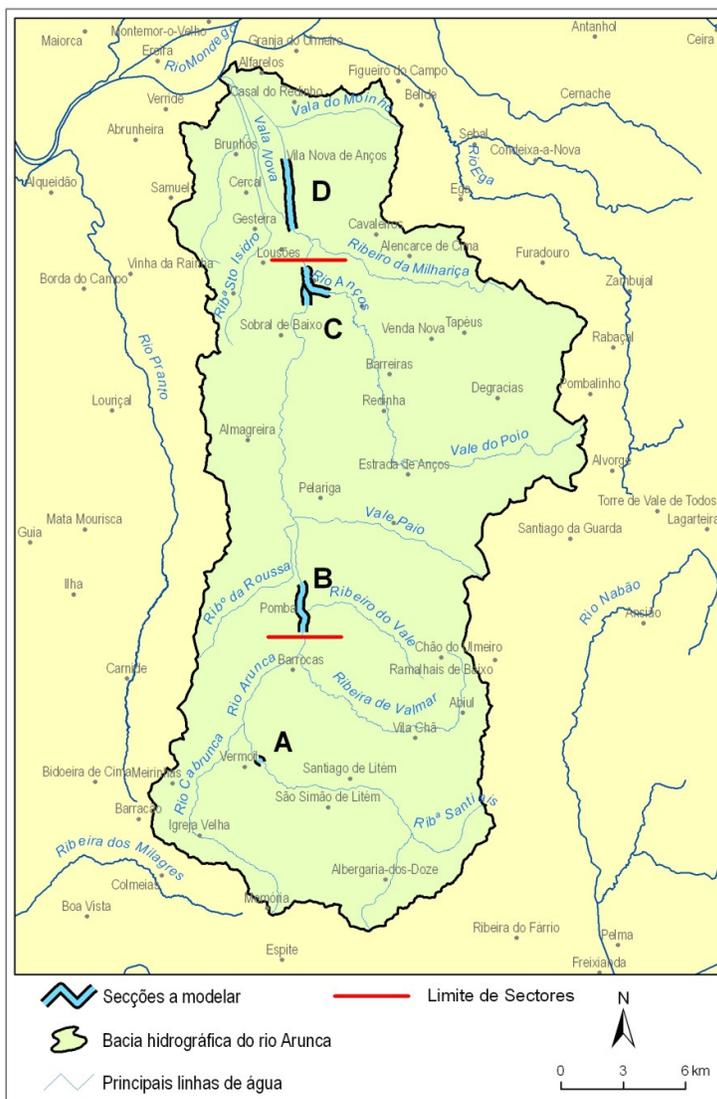
4.2. MÉTODO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO

O método hidrológico-hidráulico foi aplicado em quatro troços do rio Arunca. A selecção dos locais procurou cobrir os três sectores definidos ao longo do curso do rio Arunca – a jusante de Soure, entre Soure e Pombal e a montante de Pombal – correspondendo ao seu curso inferior, médio e superior, respectivamente. A modelação hidráulica foi realizada com o objectivo de definir as áreas inundáveis para um período de retorno de 100 anos nos seguintes locais (Figura 4.2-1):

- Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete);
- Secção B (Pombal);
- Secção C (Soure);
- Secção D (Ponte Mocate/Vila Nova de Anços).

hidrométrica de Ponte Mocate registou várias vezes caudais na ordem dos 90 m³/s em Novembro e Dezembro, a que corresponderam, segundo as pessoas inquiridas, situações de alagamento dos campos agrícolas.

Figura 4.2-1 - Localização das secções fluviais alvo da aplicação do método hidrológico-hidráulico.



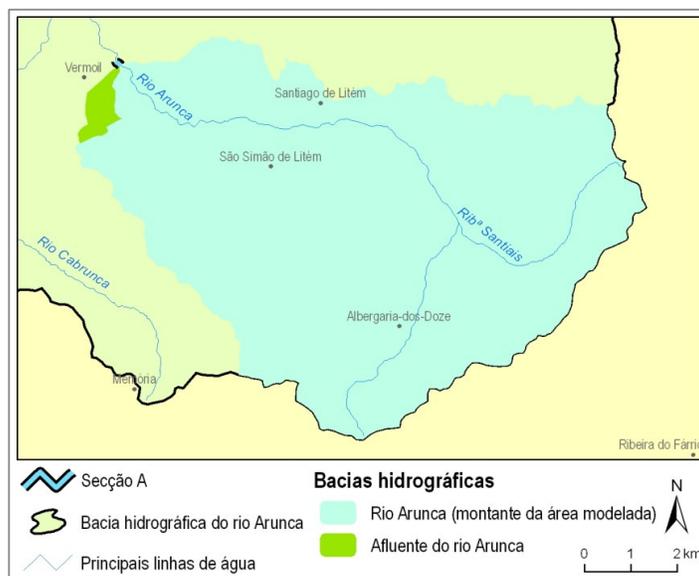
4.2.1. Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete)

4.2.1.1. Dados de escoamento

Como referido na metodologia, para se conhecerem os dados de *input* relativos ao escoamento, torna-se necessário estudar as características das bacias contributivas para o escoamento verificado a montante do troço a modelar ou a confluir com este em determinada secção transversal.

Para o escoamento no troço a modelar na Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete) contribuem duas bacias (Figura 4.2-2) – a do rio Arunca, desde a nascente até cerca de 80 m a montante da ponte rodoviária, e a de um pequeno afluente esquerdo do rio Arunca, que conflui com este entre o início do troço e a ponte.

Figura 4.2-2 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção A.



Para as duas bacias e respectivos cursos de água calcularam-se as variáveis que permitem obter o caudal de ponta de cheia (Tabela 4.2-1).

Tabela 4.2-1 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção A.

Parâmetros fisiométricos e da rede de drenagem	Rio Arunca (montante da área modelada)	Afluente do rio Arunca
Área (km ²) - A	64,549	0,783
Comprimento total das linhas de água em km - L_t	298,854	4,451
Densidade de drenagem em km/km ² - D_d	4,6299	5,6850
Comprimento da linha de água principal em km - L	16,020	1,933
Declive da linha de água principal em m/m e %- J	0,0127 m/m ; 1,2684 %	0,0551 m/m ; 5,4061 %
Declive médio da bacia em % - $D_{méd}$	12,615	12,118
Número de escoamento para AMC II - CN	71,75	76,1
Capacidade de retenção máxima em mm - S	100,01	79,77

Com base nos dados deste quadro e aplicando as fórmulas apresentadas na Tabela 3.2-2 obtiveram-se os tempos de concentração presentes na Tabela 4.2-2. Os resultados denotam uma significativa disparidade, sendo o tempo de concentração resultante da aplicação da fórmula de Ven Te Chow o que mais se afasta do valor médio obtido.

Para o rio Arunca na secção de início do troço a modelar, o tempo de concentração obtido foi de 4,16 horas, enquanto que o pequeno afluente esquerdo apresenta um tempo de concentração de 0,66 horas.

Resultados

Tabela 4.2-2 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção A.

Métodos de cálculo do tempo de concentração	Rio Arunca (montante da área modelada)	Afluente do rio Arunca
Tempo de concentração segundo <i>Soil Conservation Service</i> – T_c SCS	4,52	0,75
Tempo de concentração segundo Temez – T_c T	5,67	0,86
Tempo de concentração segundo Ven Te Chow – T_c V	2,30	0,37
Tempo de concentração médio adoptado (horas) - (T_c)	4,16	0,66

Dispondo do tempo de concentração e dos dados da Tabela 4.2-3 calculou-se o caudal de ponta de cheia para um período de retorno centenário, segundo a metodologia descrita no ponto 3.2.1.1.

Tabela 4.2-3 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção A.

Parâmetros	Caudal de ponta de cheia para um período de retorno de 100 anos	
	Rio Arunca (montante da área modelada)	Afluente do rio Arunca
a	654,37	654,37
b	-0,681	-0,681
Número de escoamento AMC III – CN	86	89
Capacidade de infiltração máxima no solo (mm) – S	41,3488	31,3933
Perdas iniciais (mm) – I_a	8,2698	6,2787
Intensidade da precipitação em (mm/h) - I_p	13,3750	46,6812
Duração da precipitação (min) – D_p	302,6586	48,2859
Precipitação acumulada (mm) – p	67,4677	37,5673
Precipitação efectiva (mm) – R	34,8534	15,6183
Caudal de ponta de cheia (m³/s) – Q_p	135,88	4,58

O caudal de 135,88 m³/s é inserido na primeira secção transversal, ao qual se soma o valor de 4,58 m³/s ainda antes do atravessamento da ponte pelo rio Arunca. Nas condições de fronteira introduziu-se o declive da linha de água principal no troço a modelar (0,0072 m/m), concluindo assim a preparação dos dados de escoamento (*flow data*).

4.2.1.2. Dados geométricos

A Tabela 4.2-4 apresenta alguns dados geométricos relativos ao troço do rio Arunca na Secção A (Ponte Vermoil/Pinhete).

Tabela 4.2-4 - Dados geométricos relativos ao troço da Secção A.

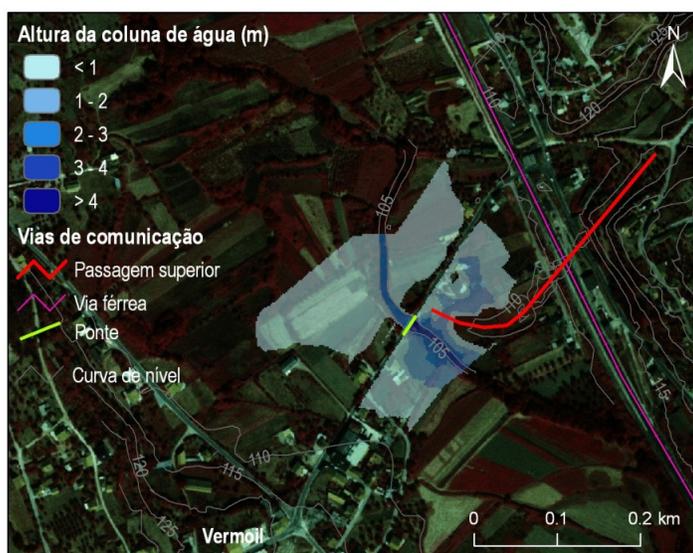
Comprimento do troço	202,0 m
Cota de início do troço	104,8 m
Cota de fim do troço	103,6 m
Declive do rio Arunca no troço	0,00594
N.º de secções transversais	30
Distância média entre secções	6,7 m
N.º de pontes	1
Cota do tabuleiro da ponte	108,2 m

O uso do solo – a partir do qual se atribuíram os valores do coeficiente de rugosidade de Manning - consiste em culturas anuais de sequeiro e espaço urbano descontínuo (vd. Anexo C).

4.2.1.3. Resultados

A área inundável resultante da aplicação do método hidrológico-hidráulico na Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete) corresponde a 4,11 hectares (Figura 4.2-3). O aterro da passagem superior sobre a linha férrea⁵¹ e a estrada que enquadra a ponte de Vermoil e atravessa a planície aluvial podem constituir um obstáculo ao escoamento. Tal possibilidade é suportada pelo facto de a área inundável se confinar ao leito menor imediatamente a jusante da ponte.

Figura 4.2-3 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção A.



⁵¹ O referido aterro não é visível na fotografia aérea mas a cartografia cedida e que serviu de base à criação do MDT utilizado na modelação hidráulica já o representava.

A maior parte da área inundada (79,71%) apresenta uma altura da coluna de água inferior a 1 m. As áreas inundadas mais profundas representam uma área modesta (2,02% de área com altura superior a 3 m) e localizam-se naturalmente no leito menor do rio Arunca.

Tabela 4.2-5 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção A.

Altura da coluna de água (m)	Área (m ²)	Área (%)
< 1	32800	79,71
1 – 2	5408	13,14
2 – 3	2112	5,13
3 – 4	724	1,76
> 4	108	0,26
Total	41152	100,00

Apesar de não ser claramente perceptível na figura, a consulta dos dados tabulares referentes aos resultados da modelação permite verificar que sobre o tabuleiro da ponte a altura da água foi de 11 cm – resultado da subtração entre a cota máxima da altura da cheia no tabuleiro (108,31 m) e a cota do tabuleiro (108,20 m). Algumas habitações localizadas a montante da estrada são afectadas.

No canal principal a maior velocidade média calculada é de 3,73 m/s e ocorre na secção transversal situada 25 m a jusante da ponte.

4.2.2. Secção B (Pombal)

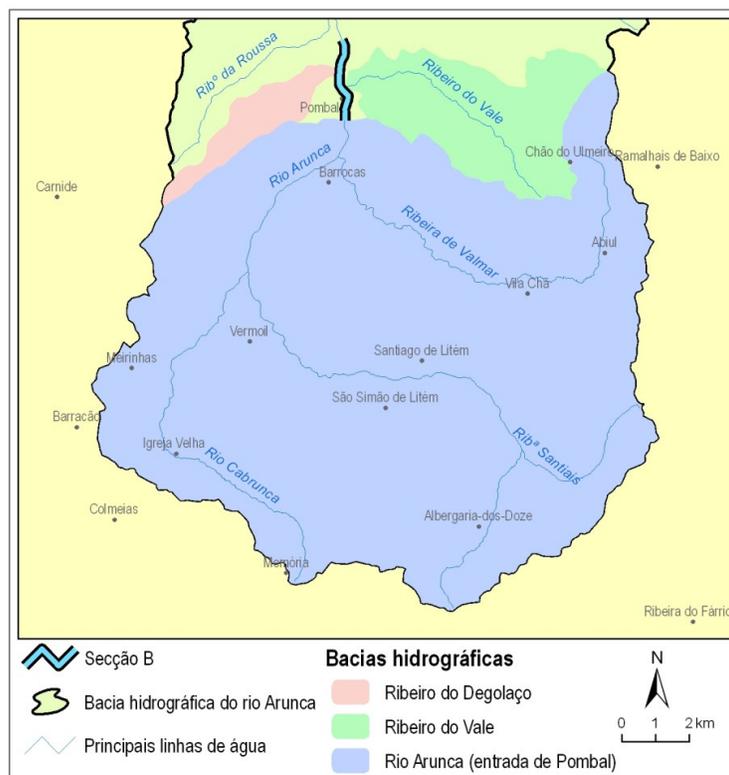
4.2.2.1. Dados de escoamento

As bacias que contribuem com escoamento fluvial na área a modelar estão representadas na Figura 4.2-4, assim como o troço do rio Arunca, objecto da modelação.

O canal fluvial a modelar atravessa na sua quase totalidade a cidade de Pombal, com excepção dos segmentos terminais a montante e jusante do mesmo, que apresentam um percurso fora do perímetro urbano.

Para além do rio Arunca, contribuem para o caudal de ponta de cheia a estimar verificado no troço a modelar as bacias do ribeiro do Degolaço e do ribeiro do Vale. A bacia hidrográfica do rio Arunca é porém a que apresenta maior área contributiva (175,75 km²) incluindo várias sub-bacias de linhas de água principais, como sejam a ribeira de Santiais, o rio Cabrunca e a ribeira de Valmar.

Figura 4.2-4 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção B.



Na Tabela 4.2-6 apresentam-se alguns parâmetros calculados para obter o tempo de concentração das três bacias, bem como outros dados caracterizadores da rede de drenagem.

Tabela 4.2-6 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção B.

Parâmetros fisiométricos e da rede de drenagem	Rio Arunca (entrada de Pombal)	Ribeiro do Vale	Ribeiro do Degolaço
Área (km ²) - A	175,750	19,870	5,300
Comprimento total das linhas de água em km - L_t	654,024	57,297	13,142
Densidade de drenagem em km/km ² - D_d	3,7213	2,8836	2,4796
Comprimento da linha de água principal em km - L	23,672	8,218	6,114
Declive da linha de água principal em m/m e % - J	0,0104 m/m; 1,0434 %	0,0202 m/m; 2,0321 %	0,0168 m/m; 1,6847 %
Declive médio da bacia em % - $D_{méd}$	11,923	15,498	5,423
Número de escoamento para AMC II - CN	74,15 *	80,50	65,02
Capacidade de retenção máxima em mm - S	88,55	61,53	136,65

* Em INAG (2002e) obteve-se para a secção do rio Arunca a montante de Pombal um valor de CN (AMC II) de 71, valor ligeiramente inferior àquele obtido para a bacia do Rio Arunca à entrada de Pombal.

Resultados

Para as três secções de referência identificadas obtiveram-se os tempos de concentração constantes no Tabela 4.2-7.

Tabela 4.2-7 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção B.

Métodos de cálculo do tempo de concentração	Rio Arunca (entrada de Pombal)	Ribeiro do Vale	Ribeiro do Degolaço
Tempo de concentração segundo Soil Conservation Service – T_c SCS	5,95	1,85	3,82
Tempo de concentração segundo Temez – T_c T	7,91	3,12	2,58
Tempo de concentração segundo Ven Te Chow – T_c V	3,14	1,29	1,13
Tempo de concentração médio adoptado (horas) - (T_c)	5,66	2,09	2,51

É interessante salientar o facto de que a bacia do ribeiro do ribeiro do Degolaço apresenta um tempo de concentração médio superior à bacia do ribeiro do Vale, apesar de a sua linha de água principal ser 2,1 km menos extensa. Dos três métodos de cálculo apenas o método do SCS resulta em T_c superior no ribeiro do Degolaço, valor esse que influencia significativamente o valor médio obtido.

Dispondo destes dados procedeu-se à estimação do caudal de ponta de cheia, de acordo com a metodologia descrita no capítulo 3.2 (Tabela 4.2-8).

Tabela 4.2-8 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção B.

Parâmetros	Caudal de ponta de cheia para um período de retorno de 100 anos		
	Rio Arunca (entrada de Pombal)	Ribeiro do Vale	Ribeiro do Degolaço
a	654,37	654,37	654,37
b	-0,681	-0,681	-0,681
Número de escoamento AMC III – CN	87 *	90	81
Capacidade de infiltração máxima no solo (mm) – S	37,954	28,222	59,580
Perdas iniciais (mm) – I_a	7,5908	5,6444	11,9160
Intensidade da precipitação em (mm/h) - I_p	12,3594	24,4043	21,5082
Duração da precipitação (min) – D_p	339,9716	125,1529	150,6614
Precipitação acumulada (mm) – p	70,0102	50,9044	54,0076
Precipitação efectiva (mm) – R	38,8169	27,8771	17,4256
Caudal de ponta de cheia (m^3/s) – Q_p	334,54	73,77	10,22

* Em INAG (2002e) obteve-se para a secção do rio Arunca a montante de Pombal um valor de CN (AMC III) de 86.

O caudal centenário obtido para a secção do rio Arunca à entrada da cidade de Pombal (334,54 m^3/s) aproxima-se do valor de 354 m^3/s apresentado no PBH Mondego (INAG, 2002e). O valor apresentado pelo PBH para Arunca-Pombal refere-se a uma secção à entrada da cidade de Pombal. Pela área da

bacia indicada (177 km²) é possível verificar que o cálculo do caudal de ponta de cheia efectuado no PBH Mondego não inclui a bacia do ribeiro do Vale, vinda de Este, nem a bacia do ribeiro do Degolaço na margem esquerda. Este valor apresentado no PBH inclui, tal como neste trabalho, a bacia da ribeira do Travasso (pequeno afluente da margem esquerda do rio Arunca), pelo que se pode concluir que ambas secções de referência se situam próximo uma da outra.

Em ambiente HEC-RAS, os caudais estimados são introduzidos sequencialmente nos dados de escoamento (*data flow*). Na primeira secção transversal introduz-se o valor de 334,54 m³/s e, de montante para jusante, introduzem-se os restantes dois caudais conforme ao longo do troço modelado vão confluindo os tributários do rio Arunca.

Finalmente, as condições de fronteira foram definidas a jusante e a montante, introduzindo-se o declive de 0,00338 m/m, valor obtido entre a primeira e a última secção transversal do troço a modelar.

4.2.2.2. Dados geométricos

Ao contrário de Ponte Vermoil/Pinhete, a informação altimétrica disponível para a modelação na cidade de Pombal não permitiu a construção de um MDT que representasse convenientemente o leito menor, que em determinados sectores não se distingue do leito maior, pelo que foi necessário completar a geometria com medições de campo.

A Tabela 4.2-9 apresenta alguns dados geométricos relativos ao troço do rio Arunca na Secção B (Pombal).

Tabela 4.2-9 - Dados geométricos relativos ao troço da Secção B.

Comprimento do troço	2515,0 m
Cota de início do troço	61,0 m
Cota de fim do troço	52,5 m
Declive do rio Arunca no troço	0,00338 m/m
N.º de secções transversais	393
Distância média entre secções	6,4 m
N.º de pontes	9
Diques marginais	Muro junto ao estádio e ao longo do caminho-de-ferro
Áreas não contributivas para o escoamento	Antes e depois das pontes cujos tabuleiros se sobreelevam mais relativamente às áreas envolventes.

Quanto ao uso do solo, este consiste maioritariamente de espaços urbanos contínuos, descontínuos e zonas industriais e comerciais. Os espaços agrícolas são pouco expressivos em área e localizam-se principalmente na margem esquerda, tal como os espaços florestais que se encontram apenas nas vertentes.

4.2.2.3. Resultados

Da aplicação do método hidrológico-hidráulico na Secção B (Pombal) obteve-se uma área inundável de 103,2 hectares (Figura 4.2-5). Pela análise da figura observa-se que, a Este, a via férrea actua como um dique longitudinal impedindo a submersão de algumas áreas edificadas. Para Oeste, a área inundável é mais extensa devido à maior dimensão do leito maior na margem esquerda, com excepção da parte central do troço modelado onde, pela existência de aterros (na Zona Industrial e nas infra-estruturas rodoviárias) se verificam sectores da planície aluvial não inundáveis. Refira-se no entanto que a altura da coluna de água é aqui maioritariamente inferior a 1 metro. De facto, cerca de dois terços da totalidade da área inundável definida tem uma altura inferior a 1 metro (Tabela 4.2-10)

Figura 4.2-5 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção B.

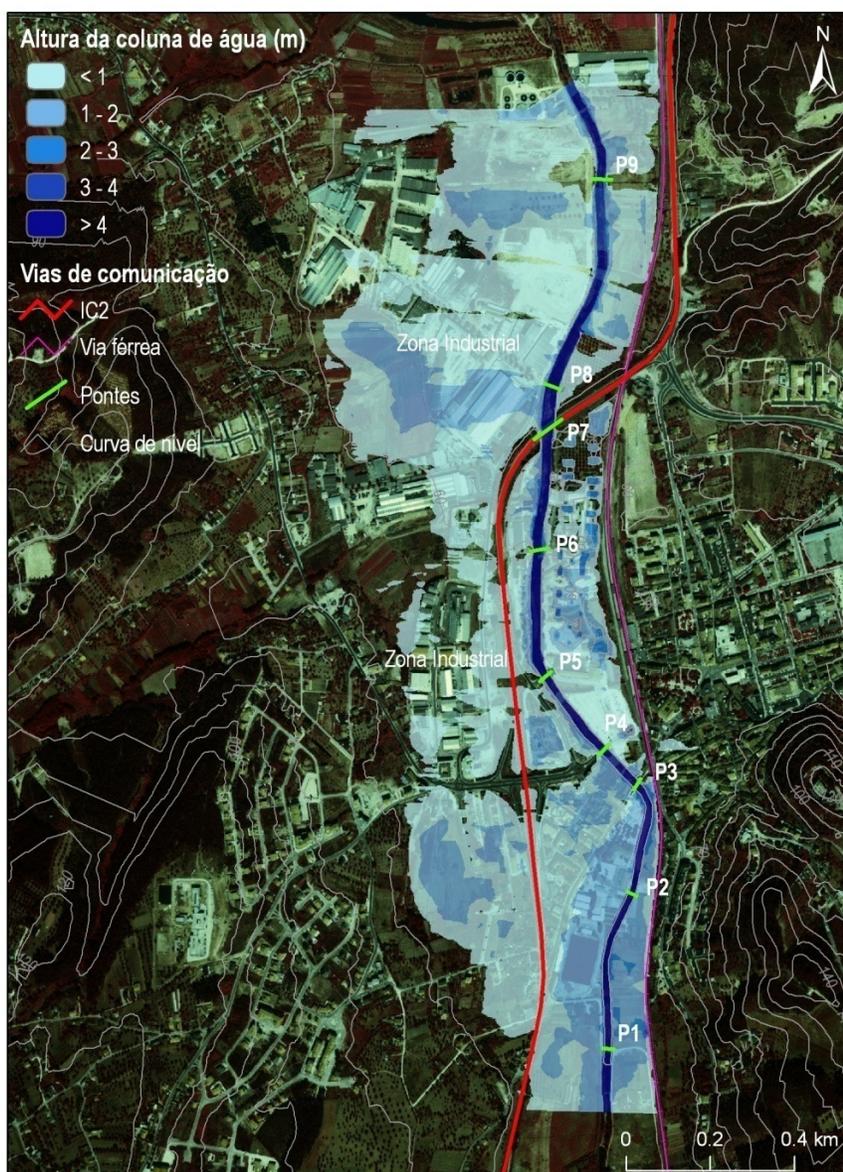


Tabela 4.2-10 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção B.

Altura da coluna de água (m)	Área (m ²)	Área (%)
< 1	686304	66,51
1 – 2	273192	26,48
2 – 3	18664	1,81
3 – 4	9828	0,95
> 4	43900	4,25
Total	1031888	100,00

As áreas de maior profundidade situam-se no leito menor entre a Ponte do Terminal Rodoviário (P5) e o Viaduto do IC2 (P7), verificando-se alturas da coluna de água superiores a 5,5 m, facto que também deverá contribuir para a menor expansão da área inundável para oeste.

Das nove pontes existentes na Secção B, os resultados da modelação hidráulica mostram que quatro (P1, P2, P4 e P8) ficam submersas numa situação de cheia centenária (Tabela 4.2-11).

Tabela 4.2-11 - Altura da cheia nas pontes existentes na Secção B.

Pontes	Cota do Tabuleiro (m)	Cota da altura da cheia (m)	Altura da água acima do tabuleiro da ponte (m)
P1 - Ponte Armazém CMP	63,5	64,82	1,32
P2 - Ponte das Piscinas	62,7	64,30	1,60
P3 - Ponte do Séc. XVIII	64,9	63,58	-
P4 - Ponte do Posto de Turismo	62,5	62,86	0,60
P5 - Ponte do Terminal Rodoviário	62,7	61,79	-
P6 - Ponte das Oficinas da CMP	61,0	60,41	-
P7 - Viaduto do IC2	66,5	59,62	-
P8 - Ponte do Novo Bairro	58,75	59,5	0,75
P9 - Ponte da ETAR	59,2	57,37	-

As maiores velocidades médias verificadas no canal fluvial ocorrem no troço entre as pontes P4 (ponte do Posto de Turismo) e P5 (ponte do Terminal Rodoviário), próximo da Biblioteca Municipal, tendo-se observado velocidades superiores a 4 m/s.

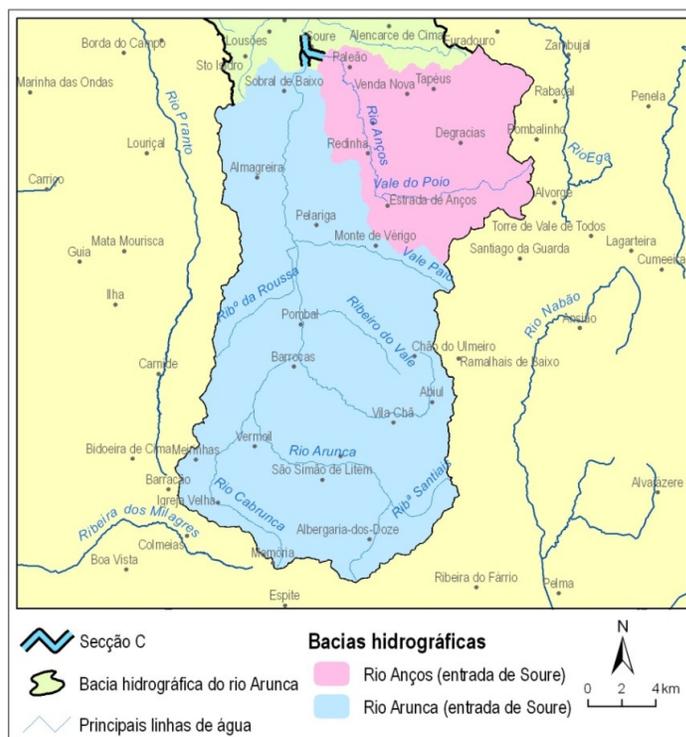
4.2.3. Secção C (Soure)

4.2.3.1. Dados de escoamento

Na vila de Soure confluem dois importantes rios – o Anços e o Arunca – pelo que neste ensaio foram modelados três troços de linha de água (*reaches*). As bacias a montante de Soure que contribuem para o

escoamento fluvial nesta área estão identificadas na Figura 4.2-6. Ambos os canais a modelar têm início cerca de 1 km antes da sua junção na vila de Soure. O término do troço modelado fica 200 m a jusante do viaduto rodoviário que contorna a vila por norte. Desta forma, inclui-se na modelação hidráulica esta infra-estrutura rodoviária que pode ter de alguma forma interferência na área inundável a montante do viaduto.

Figura 4.2-6 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção C.



A Tabela 4.2-12 apresenta alguns dados intermédios ao cálculo do tempo de concentração.

Tabela 4.2-12 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção C.

Parâmetros fisiométricos e da rede de drenagem	Rio Arunca (entrada de Soure)	Rio Anços (entrada de Soure)
Área (km ²)	322,640	110,620
Comprimento total das linhas de água em km – L_t	1101,839	340,944
Densidade de drenagem em km/km ² – D_d	3,4151	3,0821
Comprimento da linha de água principal em km – L	42,264	24,284
Declive da linha de água principal em m/m e % - J	0,0070 m/m; 0,7027 %	0,0130 m/m; 1,2972 %
Declive médio da bacia em % - $D_{méd}$	10,906	13,565
Número de escoamento para AMC II - CN	72,47 *	76,18 **
Capacidade de retenção máxima em mm - S	96,49	79,42

* Em INAG (2002e) obteve-se para a secção do rio Arunca a montante de Soure um valor de CN (AMC II) igual a 68.

** Em INAG (2002e) obteve-se para o rio Anços um valor de CN (AMC II) igual a 77.

A partir destes dados obtiveram-se os tempos de concentração indicados na Tabela 4.2-13. Os valores de T_c obtidos apresentam alguma disparidade, sendo os tempos de concentração que resultam da aplicação da fórmula do SCS aqueles que mais se aproximam do valor médio dos três tempos.

Tabela 4.2-13 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção C.

Métodos de cálculo do tempo de concentração	Rio Arunca (entrada de Soure)	Rio Anços (entrada de Soure)
Tempo de concentração segundo Soil Conservation Service – T_{cSCS}	10,36	5,37
Tempo de concentração segundo Temez – T_cT	13,24	7,74
Tempo de concentração segundo Ven Te Chow – T_cV	5,16	2,98
Tempo de concentração médio adoptado (horas) - (T_c)	9,59	5,36

Não obstante o PBH Mondego apresentar parâmetros das curvas IDF para a estação udográfica de Soure, optou-se por manter a utilização dos parâmetros de Pombal, como descrito na metodologia, porque a estação de Soure situa-se muito próximo do nível de base das duas bacias hidrográficas, razão pela qual não representa devidamente a precipitação ocorrida na área que contribui com escoamento na Secção C. Os dados intermédios ao cálculo do Q_p são apresentados na Tabela 4.2-14.

Tabela 4.2-14 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção C.

Parâmetros	Caudal de ponta de cheia para um período de retorno de 100 anos	
	Rio Arunca (entrada de Soure)	Rio Anços (entrada de Soure)
a	654,37	654,37
b	-0,681	-0,681
Número de escoamento AMC III – CN	86 *	89 **
Capacidade de infiltração máxima no solo (mm) – S	41,3488	31,3933
Perdas iniciais (mm) – I_a	8,2698	6,2787
Intensidade da precipitação em (mm/h) - I_p	8,6357	12,8338
Duração da precipitação (min) – D_p	575,3774	321,5842
Precipitação acumulada (mm) – p	82,8127	68,7859
Precipitação efectiva (mm) – R	47,9469	41,6095
Caudal de ponta de cheia (m^3/s) – Q_p	448,10	238,55

* Em INAG (2002e) obteve-se para a secção do rio Arunca a montante de Soure um valor de CN (AMC III) de 84.

** Em INAG (2002e) obteve-se para o rio Anços um valor de CN (AMC III) igual a 89.

Se se somarem os dois caudais de ponta de cheia obtidos (448,10 m³/s e 238,55 m³/s) obtém-se um caudal de 686,65 m³/s. Este valor está muito próximo do caudal de ponta de cheia apresentado no PBH Mondego⁵² para o rio Arunca em Soure (685 m³/s), para uma área contributiva de 436 km².

Neste caso, na definição dos dados de escoamento (*flow data*) o caudal verificado no rio Anços não é considerado como um tributário uma vez que geometricamente têm-se dois canais a montante e não apenas um como tem acontecido até ao momento. Os respectivos caudais de ponta de cheia são introduzidos na secção transversal situada mais a montante de cada linha de água (rio Arunca e rio Anços). A secção transversal situada imediatamente a jusante da confluência entre os rios Arunca e Anços recebe o valor da soma anteriormente obtido (686,65 m³/s).

Dado que existem três segmentos de canal fluvial (ou *reaches*), as condições de fronteira foram definidas a montante, nas secções iniciais do rio Anços e Arunca, e a jusante após a confluência, na secção final no rio Arunca. Nas junções entre *reaches* não há necessidade de introduzir condições de fronteira. Os declives inseridos são os que se apresentam na Tabela 4.2-15, sendo de 0,00129 m/m para o troço “Arunca (montante)”, 0,00078 m/m para o troço “Anços (montante)” e 0,00175 m/m para o troço “Arunca (jusante)”.

4.2.3.2. Dados geométricos

A geometria do canal fluvial foi melhorada com medições de campo e com a remoção dos pontos cotados situados nos tabuleiros de pontes e/ou viadutos de modo a que não distorcessem a geometria do leito menor. A Tabela 4.2-15 apresenta alguns dados geométricos relativos ao troço do rio Arunca alvo de modelação hidráulica.

A ponte/açude P4 (vd. Figura 4.2-7) situada a jusante da Ponte de Soure (P3) não foi definida como um açude (ou *inline structure* na terminologia usada nos manuais do HEC-RAS) porque os tipos de abertura de açudes previstos no HEC-RAS (*sluice* e *radial*) não se adequam ao tipo de açude existente, pelo que se optou por considerar o açude como uma ponte. Na verdade, com excepção de uma situação de cheia rápida a ocorrer no período estival, as comportas do açude deverão estar sempre retiradas, comportando-se assim o açude como uma ponte.

O uso do solo dominante no leito maior da área modelada consiste em culturas anuais de sequeiro e regadio, a par de espaços urbanos contínuos. A área modelada inclui ainda parte da zona industrial de Soure próxima da estação de comboios.

⁵² A estimação dos caudais de ponta de cheia no PBH Mondego foi feita com recurso à aplicação HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) que se baseia igualmente na metodologia do SCS, mais concretamente, no modelo do hidrograma unitário.

Tabela 4.2-15 - Dados geométricos relativos aos troços da Secção C.

	Arunca (montante)	Anços (montante)	Arunca (jusante)
Comprimento do troço	1078,67 m	1203,86	883,36
Cota de início do troço	11,09 m	10,64	9,70
Cota de fim do troço	9,70 m	9,70	8,15
Declive do rio Arunca no troço	0,00129 m/m	0,00078 m/m	0,00175 m/m
N.º de secções transversais	106	166	194
Distância média entre secções	10,2 m	7,3 m	4,6 m
N.º de pontes	0	2	3
Diques marginais	*	Muro com 0,5 m na margem direita, antes da confluência com o rio Arunca	*
Áreas não contributivas para o escoamento			Antes e depois das pontes cujos tabuleiros se sobrelevam mais relativamente às áreas envolventes.

* Ao contrário do que sucedeu em Pombal, neste caso não houve necessidade de colocar diques laterais ao longo da via férrea pois esta sobressaía adequadamente no MDT.

4.2.3.3. Resultados

A área inundável total obtida por modelação hidráulica é 193,51 hectares ocupando a quase totalidade da planície aluvial (Figura 4.2-7). A área inundável para uma cheia centenária abrange parte da malha urbana antiga de Soure. Os terrenos agrícolas adjacentes ao rio Anços apresentam alturas da coluna de água superiores aos campos adjacentes ao rio Arunca antes da confluência entre ambos. A Sul, é possível verificar que parte do cemitério seria ainda afectada. A poente, a área inundável não extravasa para além da via férrea em nenhum local.

A diferença entre alturas da coluna de água a montante e a jusante do viaduto da circular externa é sinal evidente da acção obstrutiva por ele realizada. A jusante, as alturas da coluna de água diminuem bastante, observando-se manchas de alturas inferiores a 1 m, valores de alturas quase pouco expressivos a montante do viaduto.

Ao contrário do que havia sucedido nas modelações anteriores, a classe de altura da coluna de água mais frequente é a classe de 3 - 4 metros com 34,10% da área total, logo seguida pela classe de 2 - 3 metros com 33,58% da área total (Tabela 4.2-16). Ao todo, as áreas submersas com 2 ou mais metros de profundidade totalizam 73% da área.

Figura 4.2-7 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção C.

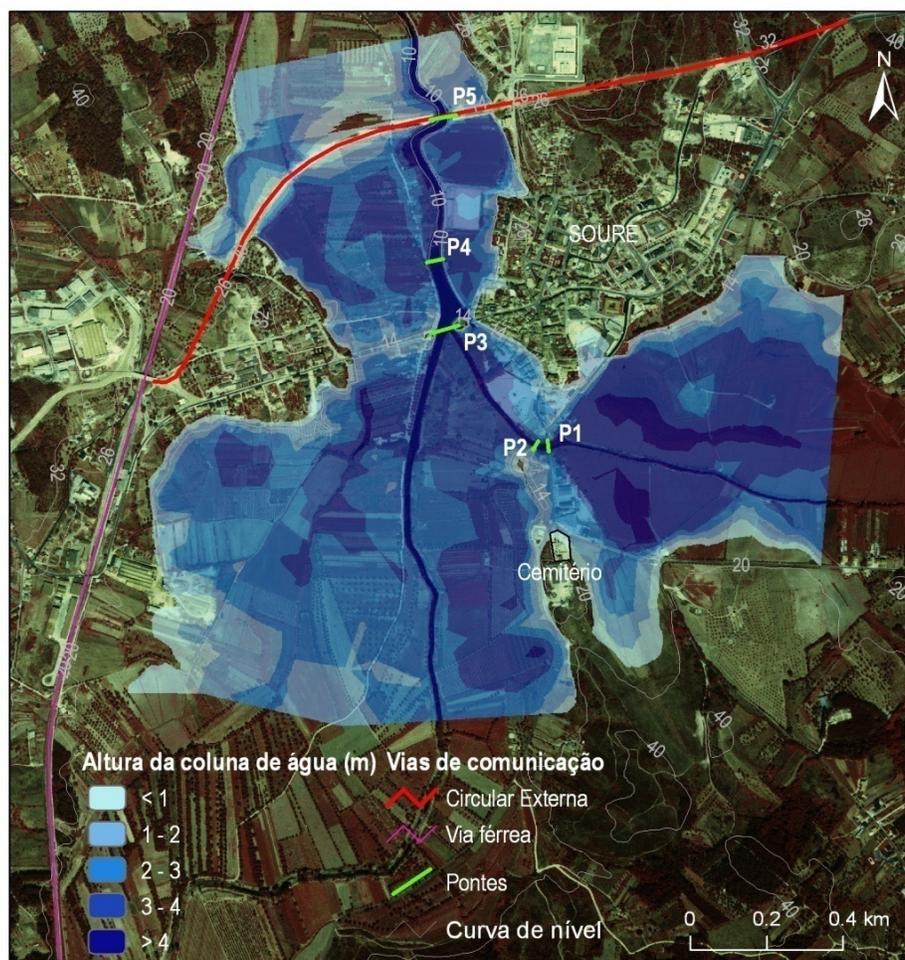


Tabela 4.2-16 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção C.

Altura de cheia (m)	Área (m ²)	Área (%)
< 1	184580	9,54
1 – 2	337640	17,45
2 – 3	649904	33,58
3 – 4	659856	34,10
> 4	103108	5,33
Total	1935088	100,00

As áreas de maior profundidade situam-se no leito menor entre a Ponte/açude de Soure (P4) e a Ponte da Circular Externa (P5) com alturas da coluna de água superiores a 6 m.

Das cinco pontes existentes nos troços modelados três (P1, P2 e P4) ficam submersas numa situação de cheia centenária (Tabela 4.2-17).

Tabela 4.2-17 - Altura da cheia nas pontes existentes na Secção C.

Pontes	Cota do Tabuleiro (m)	Cota da altura da cheia (m)	Altura da água acima do tabuleiro da ponte (m)
P1 - Ponte Velha do Anços	14,00	15,55	1,55
P2 - Ponte Nova do Anços	14,50	15,51	1,01
P3 - Ponte de Soure	17,30	15,33	-
P4 - Ponte/açude de Soure	12,25	15,35	3,10
P5 - Ponte da Circular Externa	16,00	15,28	-

Apesar de não ser muito claro no mapa da Figura 4.2-7, os dados tabulares permitem concluir que a Ponte de Soure (P3) não é submersa, situando-se a cota da altura da cheia junto à ponte 2 metros abaixo da cota do tabuleiro. Verifica-se que o tabuleiro da Ponte da Circular Externa (P5) fica a pouco menos de 1 m da submersão.

Quanto às velocidades de escoamento médias observadas verifica-se que - quer no rio Anços, quer no rio Arunca a montante da confluência sob a Ponte de Soure - a velocidade média no canal fluvial é sempre inferior a 0,5 m/s, com excepção, no rio Anços, das secções anteriores e posteriores às duas pontes. A jusante da confluência destes rios, as velocidades médias aumentam para valores próximos de 1 m/s.

4.2.4. Secção D (Ponte Mocate /Vila Nova de Anços)

4.2.4.1. Dados de escoamento

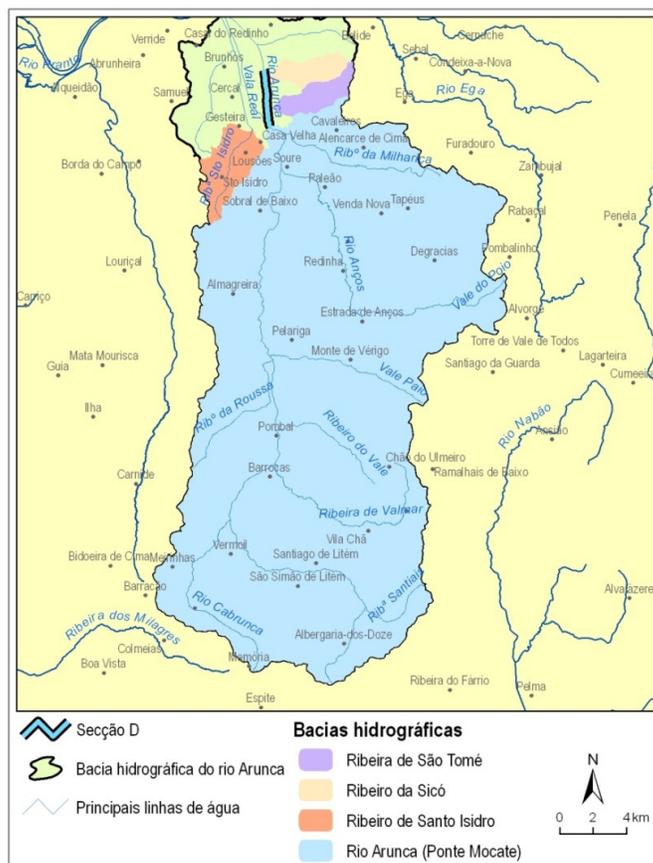
A última modelação hidráulica realizada abrange o sector mais largo da planície aluvial do rio Arunca, situado a jusante da vila de Soure (Figura 4.2-8). O troço inicia-se junto à estação hidrométrica de Ponte de Mocate e termina cerca de 600 metros a jusante do açude e ponte sobre o rio Arunca a oeste de Vila Nova de Anços. Paralelamente ao rio Arunca, correm nesta secção outras valas de drenagem (por exemplo, a Vala Real, à qual aflui também o ribeiro de Santo Isidro), que não podem ser modeladas individualmente devido a limitações técnicas do programa HEC-RAS⁵³. O funcionamento hidráulico destas valas não pode por isso ser considerado mas somente a sua morfologia, através do MDT criado para todo o vale do rio Arunca.

⁵³ Porventura, a representação mais correcta na Secção D seria a inclusão da Vala Real como canal de drenagem, porém, o HEC-RAS não prevê a ocorrência de escoamento fluvial paralelo em vários canais de drenagem (*reaches*), motivo pelo qual não permite, por exemplo, que uma mesma secção transversal atravessasse mais do que um canal.

Resultados

Ao longo do troço modelado afluem ao rio Arunca pequenas linhas de água, que apesar de apresentarem áreas modestas e de não constarem entre as principais linhas de água da BHA geram caudais que não devem ser desprezados, para as quais foi estimado o caudal de ponta de cheia.

Figura 4.2-8 - Bacias que contribuem para o escoamento na Secção D.



A Tabela 4.2-18 apresenta alguns dados intermédios ao cálculo do tempo de concentração.

Tabela 4.2-18 - Dados necessários ao cálculo do caudal de ponta de cheia na Secção D.

Parâmetros fisiométricos e da rede de drenagem	Rio Arunca (Pte. Mocate)	Rib ^o de Sto Isidro	Rib ^a de S. Tomé	Rib ^o da Sicó
Área (km ²) - A	469,800	11,910	5,570	6,190
Comprimento total das linhas de água em km - L _t	1580,383	47,048	25,788	20,752
Densidade de drenagem em km/km ² - D _d	3,3639	3,9503	3,9251	3,3525
Comprimento da linha de água principal em km - L	47,455	6,460	6,631	5,356
Declive da linha de água principal em m/m e % - J	0,0064 m/m ; 0,6377 %	0,0146 m/m ; 1,4649 %	0,0155 m/m ; 1,5527 %	0,0193 m/m ; 1,9253 %
Declive médio da bacia em % - D _{méd}	11,344	9,645	7,880	9,138
Número de Escoamento para AMC II - CN	73,72	65,42	65,38	65,43
Capacidade de Retenção Máxima em mm - S	90,55	134,26	134,50	134,20

Com base nestes dados calcularam-se os tempos de concentração expressos na Tabela 4.2-19.

Tabela 4.2-19 - Tempo de concentração nas bacias com escoamento na Secção D.

Métodos de cálculo do tempo de concentração	Rio Arunca (Pte. Mocate)	Rib ^o de Sto Isidro	Rib ^a de S. Tomé	Rib ^o da Sicó
Tempo de concentração segundo Soil Conservation Service – T _c SCS	10,76	2,96	3,35	2,62
Tempo de concentração segundo Temez – T _c T	14,73	2,76	2,79	2,28
Tempo de concentração segundo Ven Te Chow – T _c V	5,74	1,23	1,22	1,00
Tempo de concentração médio adoptado (horas) - (T_c)	10,41	2,32	2,45	1,96

A leitura da tabela permite observar que o tempo de concentração nas três sub-bacias de menor dimensão não difere substancialmente, situando-se aproximadamente entre as 2 horas e 2,5 horas, o que significa que o caudal por elas gerado afluirá ao troço a modelar quase em simultâneo.

A Tabela 4.2-20 apresenta os caudais de ponta de cheia estimados.

Tabela 4.2-20 - Caudal de ponta de cheia nas bacias com escoamento na Secção D.

Parâmetros	Caudal de ponta de cheia para um período de retorno de 100 anos			
	Rio Arunca (Pte. Mocate)	Rib ^o de Sto Isidro	Rib ^a de S. Tomé	Rib ^o da Sicó
a	654,37	654,37	654,37	654,37
b	-0,681	-0,681	-0,681	-0,681
Número de Escoamento AMC III – CN	88	82	82	82
Capacidade de infiltração máxima no solo (mm) – S	34,6364	55,7561	55,7561	55,7561
Perdas iniciais (mm) – I _a	6,9273	11,1512	11,1512	11,1512
Intensidade da precipitação em (mm/h) - I _p	8,1659	22,7161	21,8472	25,4285
Duração da precipitação (min) – D _p	624,6255	139,0458	147,2415	117,8213
Precipitação acumulada (mm) – p	85,0109	52,6429	53,6134	49,9336
Precipitação efectiva (mm) – R	54,0903	17,7028	18,3575	15,9096
Caudal de ponta de cheia (m³/s) – Q_p	678,05	25,27	13,65	13,93

O caudal de ponta de cheia estimado para a bacia hidrográfica do Rio Arunca em Ponte Mocate (678,05 m³/s) é curiosamente inferior ao caudal obtido na bacia hidrográfica do Rio Arunca na Ponte de Soure com a junção dos caudais de ponta de cheia do Anços e do Arunca (686,65 m³/s), situação que teoricamente não deveria suceder (conferir com os dados da Tabela 4.2-14). Dever-se-á atribuir tal diferença a uma sobreestimação do tempo de concentração em Ponte Mocate, dado que o tempo de concentração da bacia do rio Arunca no início da secção a modelar em Soure é de 575 minutos,

enquanto em Ponte Mocate é de 624 minutos⁵⁴. A consulta do PBH Mondego não permite lançar luz sobre esta discrepância uma vez que, devido à curta série cronológica e inconsistência dos dados em Ponte Mocate, não se apresentam estimações de caudais de ponta de cheia nesta estação hidrométrica para períodos de retorno superiores a 25 anos⁵⁵. A estação hidrométrica de Ponte Mocate foi inclusive excluída da análise realizada no PBH Mondego com o programa HEC-HMS. De um modo geral refere-se no PBH a dificuldade “de propor valores únicos para as estimativas do caudal de ponta de cheia para a bacia do Mondego, sem os associar a um grande conjunto de ressalvas” (INAG, 2002e).

A solução encontrada neste trabalho consistiu na consideração do caudal obtido na Ponte de Soure (Ponte P3 na Secção C) – com a junção dos caudais estimados para os rios Anços e Arunca – ao qual se somou o caudal da bacia da ribeira da Milhariça que conflui com o rio Arunca entre Soure e Ponte Mocate. A Tabela 4.2-21 apresenta alguns dados relativos à bacia da ribeira da Milhariça⁵⁶.

Tabela 4.2-21 - Dados fisiométricos e de escoamento da bacia da ribeira da Milhariça.

Dados fisiométricos e de escoamento	Rib ^a da Milhariça
Área (km ²) - A	27,82
Densidade de drenagem em km/km ² - Dd	3,9527
Comprimento da Linha de Água Principal em km - L	12,236
Tempo de concentração médio adoptado (minutos) - (T _c)	188,05
Caudal de ponta de cheia (m ³ /s) - Q _p	79,27

Deste modo, o caudal de ponta de cheia considerado em Ponte Mocate foi de 765,92 m³/s.

Para efeito de definição dos dados de escoamento (*flow data*) consideram-se ainda três secções onde há mudança de caudal: na confluência com o ribeiro de Sto. Isidro, o ribeiro da Sicó e a ribeira de S. Tomé.

Dado que geometricamente só existe um segmento (*reach*), apenas se introduziram condições de fronteira a montante e a jusante do troço a modelar. O declive introduzido foi de 0,00129 m/m. O programa HEC-RAS possibilita a entrada de dados de escoamento medidos em estações hidrométricas, de forma a melhorar e calibrar os dados de caudais de ponta de cheia introduzidos. Uma vez que nesta Secção se localiza a estação hidrométrica de Ponte Mocate, introduziram-se no plano de dados de escoamento os caudais máximos anuais instantâneos e respectivos níveis observados⁵⁷.

⁵⁴ Se for considerado, por exemplo, um tempo de concentração de 600 minutos já se obtém um caudal de ponta de cheia de 693 m³/s.

⁵⁵ O PBH Mondego estima por análise estatística um caudal de 300 m³/s para um período de retorno de 25 anos.

⁵⁶ A metodologia de cálculo do tempo de concentração e do caudal de ponta de cheia é a mesma utilizada ao longo de todo o trabalho, pelo que se dispensa a apresentação de todos os dados intermédios ao seu cálculo.

⁵⁷ Excluíram-se as observações de caudal e nível que suscitaram dúvidas quanto à sua fiabilidade. Recorde-se que no PBH Mondego evitou-se estimar caudais de ponta de cheia através dos dados desta estação, para períodos de retorno superiores a 25 anos.

4.2.4.2. Dados geométricos

Apesar da actualidade e boa qualidade da cartografia disponibilizada pela Câmara Municipal de Soure, houve necessidade de melhorar a geometria do fundo do leito menor, tendo-se realizado medições com fita métrica em alguns pontos ao longo da crista dos taludes do leito menor.

A Tabela 4.2-22 apresenta alguns dados geométricos relativos ao troço do rio Arunca entre Ponte Mocate e Vila Nova de Anços.

Tabela 4.2-22 - Dados geométricos relativos ao troço da Secção D.

Arunca (Pte. Mocate – V.N. de Anços)	
Comprimento do troço	3517,72 m
Cota de início do troço	6,95 m
Cota de fim do troço	3,00 m
Declive do rio Arunca no troço	0,00112 m/m
N.º de secções transversais	187
Distância média entre secções	18,8 m
N.º de pontes	2
Diques marginais	Cristas dos taludes marginais do leito menor
Áreas não contributivas para o escoamento	Antes e depois das pontes cujos tabuleiros se sobrelevam mais relativamente às áreas envolventes.

O traçado do rio Arunca neste troço faz-se pelo lado oriental do leito maior que consiste no lado mais elevado. Este facto origina a que as áreas de menor cota não coincidam com o local de passagem da linha de água principal, o que em termos de modelação hidráulica resulta na inundaçãõ do leito maior sem que tenha havido transbordo do rio Arunca. Neste aspecto, o programa HEC-RAS apresenta a limitação de não permitir a existência de vários troços fluviais (*reaches*) paralelos ou, por outras palavras, não permite que a mesma secção transversal intercepte mais do que um troço fluvial (o que inviabiliza a consideração de vários troços fluviais paralelos).

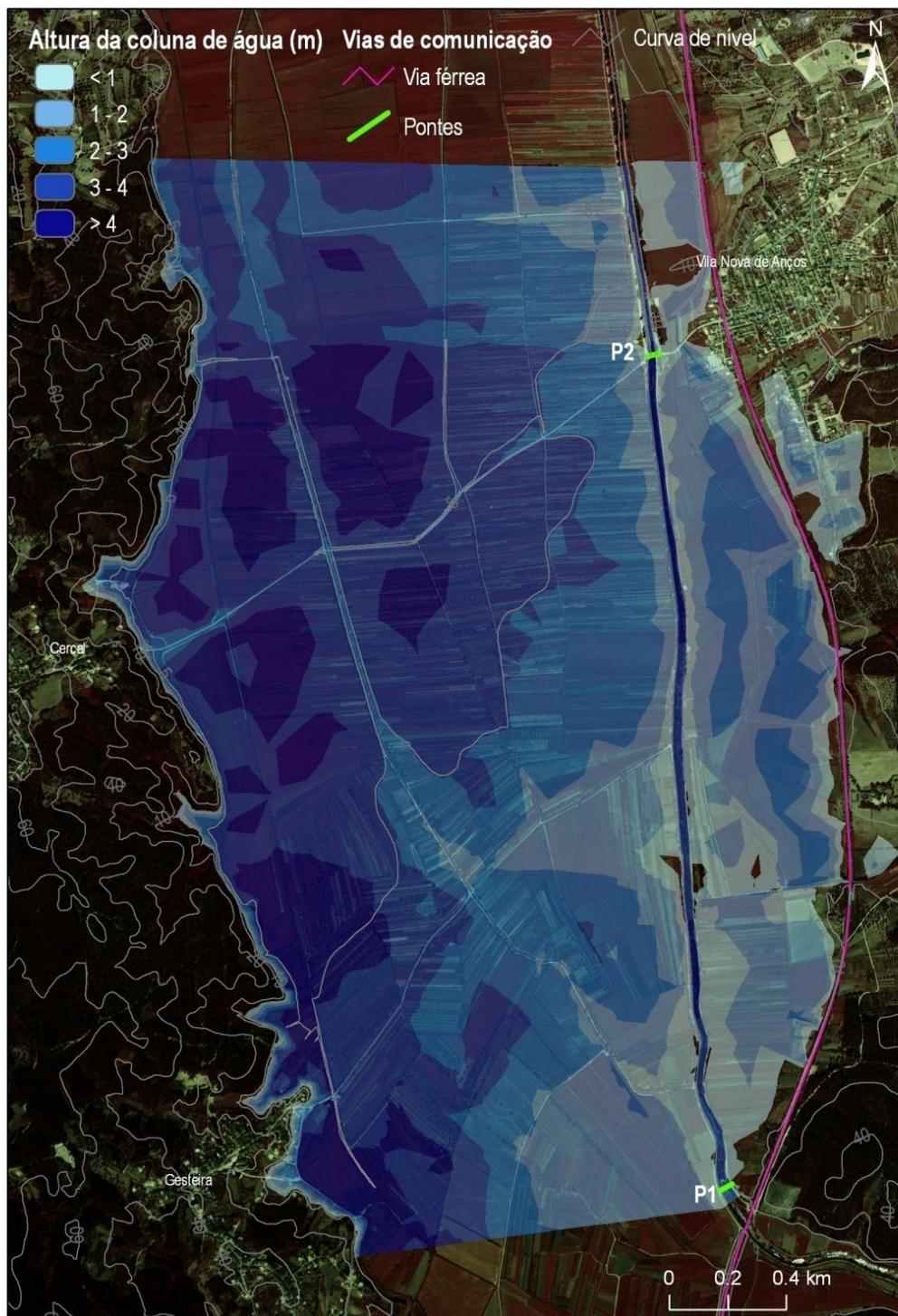
A solução encontrada passou pela inserção de diques (*levees*) ao longo das margens do leito menor - com a cota do terreno em cada local ao longo do dique - para que durante a computação apenas se verifique transbordo para o leito maior quando a superfície da água houver ultrapassado a altura dos diques, uma vez que o rio Arunca é indubitavelmente o canal que maior caudal aporta nesta Secção (vejam-se os dados relativos a cada bacia contributiva na Tabela 4.2-18).

O uso do solo na área a modelar consiste essencialmente de culturas anuais de regadio e arrozais. Vila Nova de Anços é a principal localidade onde se verifica tecido urbano contínuo. Na margem esquerda, parte da localidade de Gesteira ainda está abrangida na planície aluvial. Nas áreas mais elevadas do leito maior e junto à base e início de vertente encontram-se alguns espaços florestais e olivais.

4.2.4.3. Resultados

A modelação hidráulica na Secção D resultou numa área inundável de 706,68 hectares (Figura 4.2-9).

Figura 4.2-9 - Área inundável e altura da coluna de água resultantes de modelação hidráulica na Secção D.



Uma cheia com um período de retorno centenário resulta numa vasta área inundável que, em certos locais, extravasa para além da via férrea. As zonas mais baixas das localidades de Gesteira e Vila Nova de Anços são afectadas, bem como algumas instalações industriais situadas na localidade de Cercal. As estradas que atravessam o leito, apesar de ligeiramente sobrelevadas relativamente aos campos agrícolas, ficam submersas com alturas de água superiores a 3 m.

Identificam-se próximo dos diques longitudinais que marcam o limite do leito menor algumas “ilhas” de áreas não submersas.

A leitura conjunta da Figura 4.2-9 e da Tabela 4.2-23 permite observar que as áreas de maior profundidade (> 3 m) situam-se na faixa ocidental do leito maior e que representam uma percentagem significativa da área inundável (cerca de 44%). O facto de as áreas de menor cota se situarem na margem oposta àquela por onde corre actualmente o rio Arunca pode-se justificar por uma possível intervenção antrópica no sentido de melhor aproveitar o caudal do rio para irrigação por gravidade, alterando o traçado do rio para a faixa da planície aluvial mais elevada. A ser assim, o traçado original do rio ter-se-ia feito antigamente pelo local onde passa actualmente a Vala Real.

Tabela 4.2-23 - Área ocupada por cada classe de altura da coluna de água na Secção D.

Altura da coluna de água (m)	Área (m ²)	Área (%)
< 1	662292	9,37
1 – 2	1363528	19,29
2 – 3	1895688	26,83
3 – 4	2213156	31,32
> 4	931828	13,19
Total	7066492	100,00

As áreas de menor profundidade (inferior a 1 m) são as áreas limítrofes da área inundável e as áreas contíguas ao leito menor do rio Arunca, totalizando 9,37% da superfície inundável. A maior parte da área inundada (31,32%) apresenta alturas da coluna de água entre 3 a 4 metros e ocupam principalmente as áreas de regadio e arrozal.

A leitura da Tabela 4.2-24 permite verificar que mesmo numa situação de cheia centenária, a estação hidrométrica localizada em Ponte Mocate não fica submersa. A altura da coluna de água fica a 0,35 m da cota do tabuleiro. Pelo contrário, o açude e ponte de V. N. de Anços tem sobre o seu tabuleiro uma altura de água de 0,36 metros.

Tabela 4.2-24 - Altura da cheia nas pontes existentes na Secção D.

Pontes	Cota do Tabuleiro (m)	Cota da altura da cheia (m)	Altura da água acima do tabuleiro da ponte (m)
P1 - Ponte Mocate	9,90	9,55	-
P2 - Ponte de V. N. de Anços	7,70	8,06	0,36

Resultados

As velocidades médias de escoamento observadas no canal fluvial são sempre inferiores a 0,5 m/s.

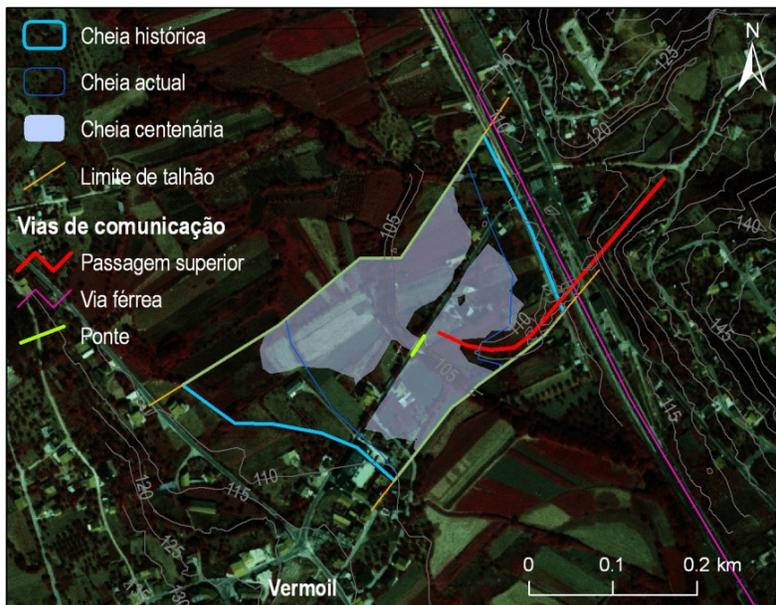
5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

A comparação de resultados é realizada para cada uma das quatro secções às quais se aplicou o método hidrológico-hidráulico. O maior interesse consiste na comparação entre as áreas inundáveis correspondentes à cheia histórica (resultante da aplicação do método de reconstituição hidrogeomorfológica) e à cheia centenária (resultante da aplicação do método hidrológico-hidráulico)⁵⁸. Para tal, os troços que compõem cada secção foram divididos em talhões de 200 metros de largura⁵⁹ de modo a também ser possível comparar quantitativamente os resultados ao longo do comprimento de cada troço da secção. Realizou-se ainda a análise da correlação entre a área inundável correspondente à cheia histórica e à cheia centenária por serem as que são mais equiparáveis, no que respeita à respectiva probabilidade de ocorrência.

5.1. SECÇÃO A (PONTE DE VERMOIL/PINHETE)

Na Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete) a área inundável obtida pelo método hidrológico-hidráulico apresenta maior semelhança com a área inundável correspondente à cheia actual, obtida pelo método de reconstituição hidrogeomorfológica (Figura 5.1-1).

Figura 5.1-1 - Comparação da área inundável na Secção A (Ponte de Vermoil/Pinhete).



⁵⁸ Nas Secções A e B apresenta-se igualmente a comparação com as áreas inundáveis correspondentes à cheia actual porque, ao contrário do que se sucede nas restantes secções (C e D), os limites entre a cheia actual e histórica diferem substancialmente.

⁵⁹ Na modelação efectuada na secção A apenas se definiu um talhão devido ao reduzido comprimento da secção modelada.

O efeito do aterro que sustenta a passagem superior sobre a linha férrea (área não inundada na margem esquerda logo no início do troço modelado) é visível nestas duas áreas inundáveis.

Relativamente às áreas inundáveis para a cheia histórica e para a cheia centenária, verifica-se uma diferença significativa, apresentando a primeira uma extensão de 7,74 ha - cerca de 88% superior à extensão da área inundável da cheia centenária (cf. Tabela 5.1-1). No campo, várias pessoas referiram que têm havido obras de alargamento e limpeza do rio e que, por esse motivo, a linha de água não “bota fora” como acontecia no passado, há algumas décadas atrás. Outra explicação para esta diferença poderá estar no facto de uma grande quantidade de açudes – anteriormente existentes – terem sido removidos ou se terem degradado ao longo do tempo, à medida que a actividade agrícola foi diminuindo. Os açudes actuariam como obstáculos ao escoamento e provocariam assoreamento reduzindo a secção de vazão do leito menor.

Tabela 5.1-1 - Comparação da área inundável na Secção A.

	Área inundável (ha)		
	R. Hidrogeomorfológica		Hidrológico-hidráulico
	Cheia histórica	Cheia actual	Cheia centenária
Total	7,74	5,11	4,10

A área inundável correspondente à cheia actual, para a qual não é fácil atribuir um período de retorno, não difere significativamente quanto à cheia centenária hidraulicamente modelada. Deve atender-se ao facto de que o estreitamento que ocorre na área inundável proveniente do HEC-RAS a jusante da ponte não ter uma justificação aparente, dado que os resultados tabulares e os perfis transversais mostram que houve submersão da ponte e da estrada – pelo que essa área deveria estar representada como inundável⁶⁰. Observando os limites exteriores de ambas as áreas inundáveis (actual e centenária) não se verificam diferenças significativas.

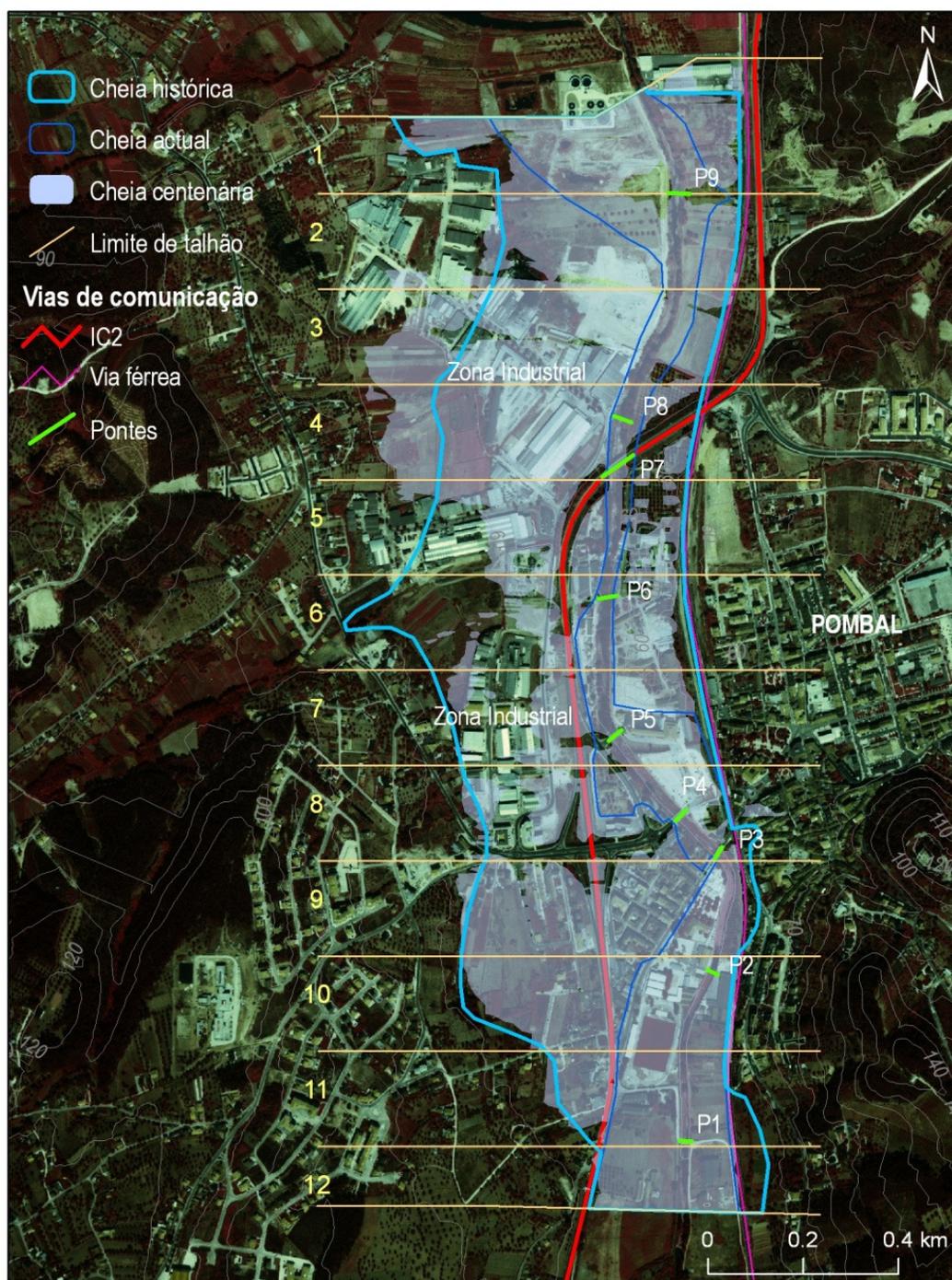
5.2. SECÇÃO B (POMBAL)

A Secção B situa-se num troço do curso médio do rio Arunca, incluindo uma área densamente urbanizada. Várias conclusões se podem tirar da análise da Figura 5.2-1.

A cheia actual apresenta uma área inundável muito inferior às cheias histórica e centenária - 38,19 ha para 122,36 ha e 102,79 ha, respectivamente (Tabela 5.2-1). Tal diferença é sobretudo notória a meio do troço modelado (talhões 3 a 10) e dever-se-á ao aprofundamento e alargamento do rio nestas áreas. A montante (talhão 12) o leito menor é visivelmente menos profundo.

⁶⁰ Esta redução de área inundável pode-se dever a uma deficiente resolução da equação da conservação da energia entre a secção transversal da ponte a montante (chamada *bridge downstream*) e a secção transversal imediatamente a jusante.

Figura 5.2-1 - Comparação da área inundável na Secção B (Pombal).



A cheia histórica reflecte um cenário prévio às obras de regularização do rio Arunca, pelo que, nos talhões centrais (em particular nos talhões 5, 6, 7 e 8) a cheia centenária dela difere mais significativamente. Nos restantes talhões as diferenças entre estas duas áreas inundáveis são mínimas (vd. principalmente os talhões 1, 2, 9, 10, 11 e 12).

O método hidrológico-hidráulico permite um tipo de detalhe na definição das áreas inundáveis que é mais difícil de alcançar na metodologia de reconstituição hidrogeomorfológica, particularmente nas áreas onde a topografia se encontra bastante alterada. Tome-se como exemplo as áreas junto às passagens superiores sobre o IC2 e junto ao aterro sobre o qual assenta a ponte P9 (ponte da ETAR), para as quais a modelação hidráulica permite maior rigor, sempre dependente no entanto, da qualidade da altimetria utilizada na criação do Modelo Digital de Terreno (cf. Figura 5.2-1).

À excepção dos talhões 11 e 12, as áreas inundáveis obtidas espelham marcadamente a função de dique marginal exercida pela via férrea a Este.

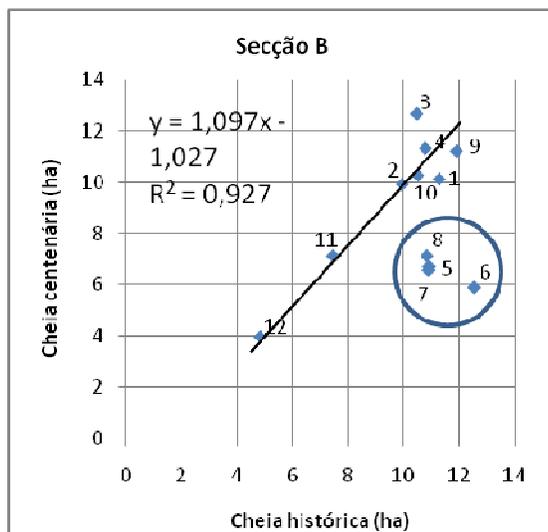
Tabela 5.2-1 - Comparação da área inundável total e por talhão de 200 metros na Secção B (Pombal).

Talhão	Área inundável (ha)		
	R. Hidrogeomorfológica		Hidrológico-hidráulico
	Cheia histórica	Cheia actual	Cheia centenária
1	11,28	6,65	10,11
2	9,95	3,38	9,91
3	10,47	1,73	12,67
4	10,78	1,26	11,31
5	10,91	0,87	6,69
6	12,52	1,23	5,88
7	10,89	3,23	6,56
8	10,83	4,09	7,12
9	11,90	2,79	11,21
10	10,51	4,28	10,26
11	7,46	4,79	7,11
12	4,85	3,90	3,96
Total	122,36	38,19	102,79

A correlação entre as áreas obtidas para a cheia histórica e a cheia centenária (aquelas que são comparáveis temporalmente) é muito fraca ($R^2 = 0,206$), como se pode observar na Figura 5.2-2.

Os talhões que mais afectam a linearidade da relação entre as duas variáveis são aqueles localizados no sector central do troço modelado, isto é, os talhões onde a morfologia da planície aluvial se encontra mais alterada por intervenção antrópica. Na ausência destes talhões (5 a 8), obter-se-ia uma correlação muito mais forte, calculada em 0,927.

Figura 5.2-2 - Correlação entre áreas inundáveis por talhão na Secção B (Pombal).



5.3. SECÇÃO C (SOURE)

Em Soure, o rio Arunca está ainda no seu curso médio tal como em Pombal, mas o leito menor encontra-se menos artificializado. Na cidade de Pombal, situada a montante da vila de Soure, o leito menor do rio Arunca está substancialmente mais aprofundado que em Soure. Tal diferença morfológica no leito deve-se a acção antrópica, dado que numa situação natural, o leito menor deveria ser mais profundo e largo em Soure, onde os caudais gerados são consideravelmente superiores (cf. capítulo 4).

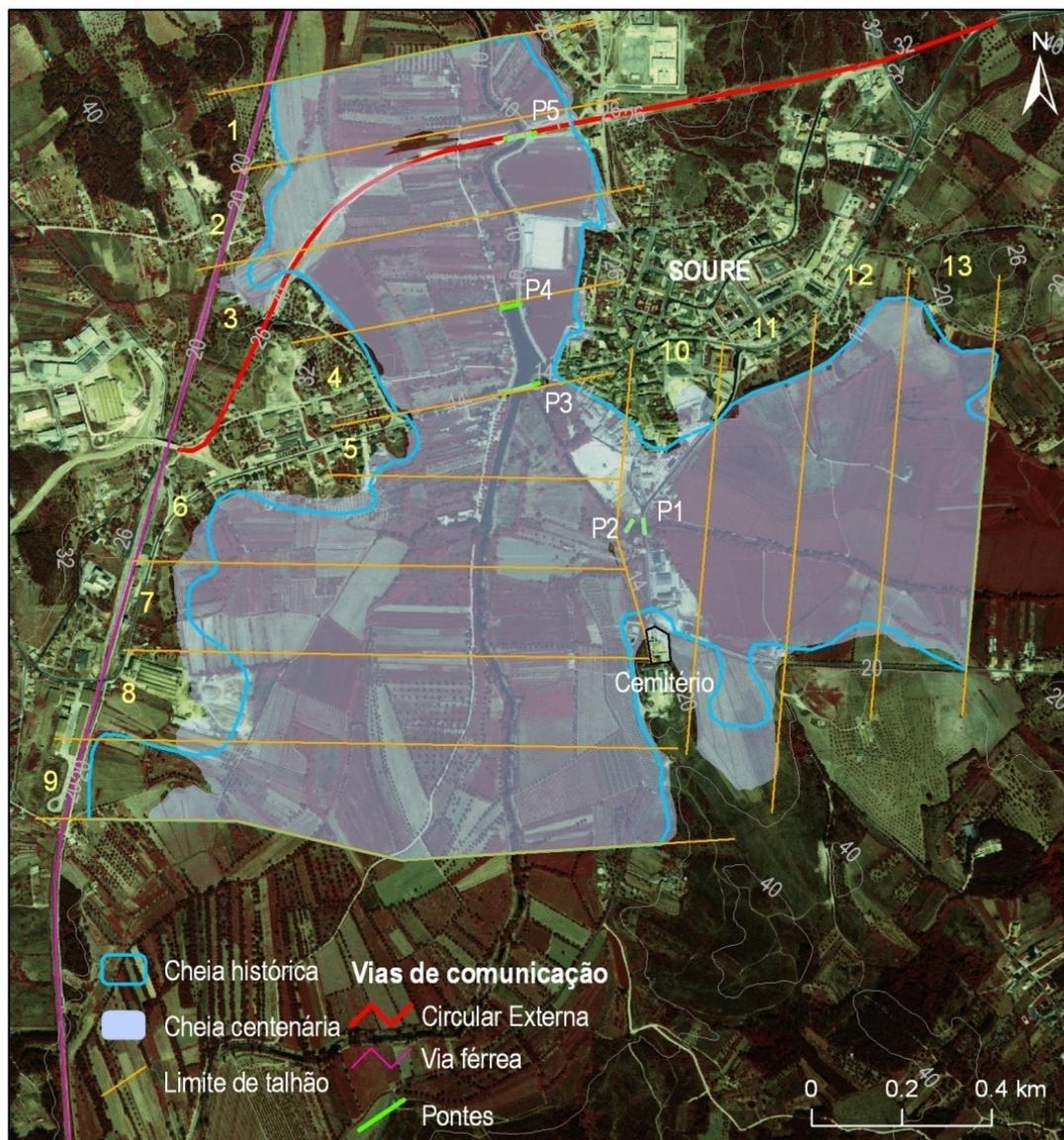
A comparação entre as áreas inundáveis obtidas pelos dois métodos mostra uma elevada correlação espacial em quase todos os talhões (Figura 5.3-1).

A semelhança entre os limites de inundabilidade é maior na margem direita dos cursos de água, quer seja no rio Anços quer seja no rio Arunca. Na margem esquerda, a maior planura do relevo justifica as diferenças encontradas porque um aumento ligeiro de cota da inundaçãõ implica um aumento superior de área inundável.

O efeito da Circular Externa construída a norte de Soure constituía um factor ainda desconhecido. Pode-se concluir que ao nível da extensão da área inundável, ambos resultados – cheia histórica e cheia centenária – não diferem significativamente. Ainda assim, observam-se em alguns talhões a montante da confluência áreas inundáveis da cheia centenária (que reflecte a morfologia actual) superiores à cheia histórica.

Pela leitura da Tabela 5.3-1 observa-se que a diferença entre a área inundável resultante da aplicação do programa HEC-RAS (cheia centenária) é apenas superior em 10,7 hectares (o equivalente a 5,8%) à área inundável correspondente à cheia histórica. Na margem esquerda os resultados são mais díspares nos talhões 9 (em que a cheia histórica é superior à cheia centenária) e nos talhões 3, 6, 7, 8, 10 e 11 (em que a cheia centenária supera a cheia histórica).

Figura 5.3-1 - Comparação da área inundável na Secção C (Soure).



A Figura 5.3-2 corrobora a leitura feita através do mapa e da tabela, evidenciando uma forte correlação linear ($R^2 = 0,919$) entre a área inundável obtida pela aplicação das duas metodologias⁶¹. Como já verificado, são os talhões 8, 9 e 11 que apresentam maior disparidade, o que se poderá dever a uma maior dificuldade em fazer a reconstituição hidrogeomorfológica nestes locais, ou seja, determinar o

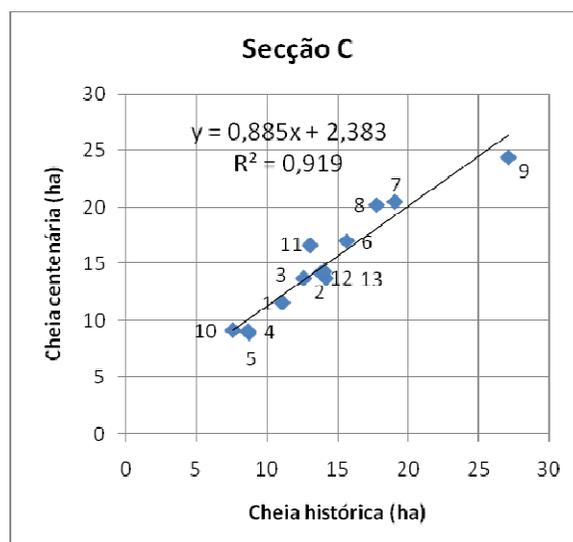
⁶¹ APEL *et al.* (2009) apresentam a mesma conclusão relativamente a um evento de cheia concreto (Agosto de 2002 em Eilenburg, Alemanha). A modelação hidráulica utilizando modelos uni e bidimensionais resultou em áreas inundáveis muito próximas daquelas realmente ocorridas e documentadas.

limite de área inundável, dada a forma ténue e gradual com que se verifica a elevação topográfica na margem esquerda do leito maior.

Tabela 5.3-1 - Comparação da área inundável total e por talhão de 200 metros na Secção C (Soure).

Área inundável (ha)		
	R. Hidrogeomorfológica	Hidrológico-hidráulico
Talhão	Cheia histórica	Cheia centenária
1	11,09	11,58
2	14,19	13,79
3	12,60	13,73
4	8,70	8,87
5	8,69	9,06
6	15,67	17,03
7	19,10	20,48
8	17,78	20,23
9	27,11	24,42
10	7,62	9,16
11	13,07	16,63
12	13,82	14,19
13	14,05	14,27
Total	183,49	193,43

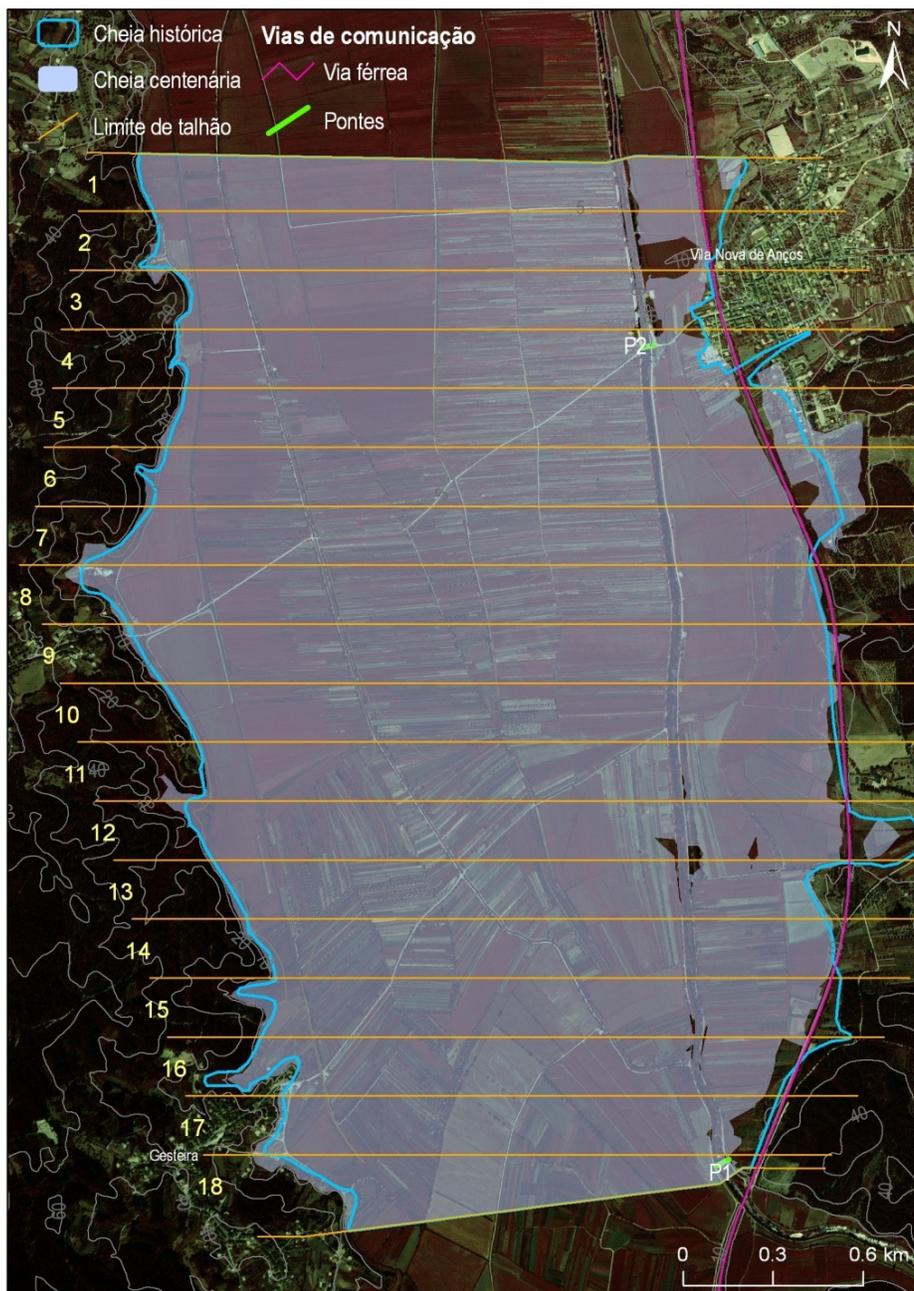
Figura 5.3-2 - Correlação entre áreas inundáveis por talhão na Secção C (Soure).



5.4. SECÇÃO D (PONTE MOCATE/VILA NOVA DE ANÇOS)

Os resultados obtidos pelas duas metodologias nesta secção estão muito correlacionados (Figura 5.4-1)⁶².

Figura 5.4-1 - Comparação da área inundável na Secção D (Ponte Mocate/V.N. Anços).



⁶² As áreas inundáveis para as cheias actual e histórica são idênticas motivo pelo qual a figura não representa a área inundável correspondente à cheia actual.

A área inundável obtida por modelação hidráulica (cheia centenária) é de 706,68 ha, sendo apenas 7,57 ha (equivalente a 1%) menos extensa que a área inundável obtida por reconstituição hidrogeomorfológica para uma cheia histórica.

A coincidência entre limites de área inundável é mais elevada na margem esquerda do rio Arunca. Parece existir uma relação entre o número de afluentes e a diferença de área inundável. À semelhança das outras secções modeladas, verifica-se que quanto maior o número de afluentes a confluir ao longo do troço modelado maior é a diferença entre áreas inundáveis para a cheia histórica e cheia centenária.

Em ambos os limites de cheia cartografados, observa-se que ocorre transbordo para além da via férrea. Na área inundável para uma cheia centenária identificam-se algumas “ilhas” não imersas junto aos diques que protegem o leito menor. Não foi possível aferir sobre a existência destes espaços não inundáveis na planície aluvial através do método de reconstituição hidrogeomorfológica.

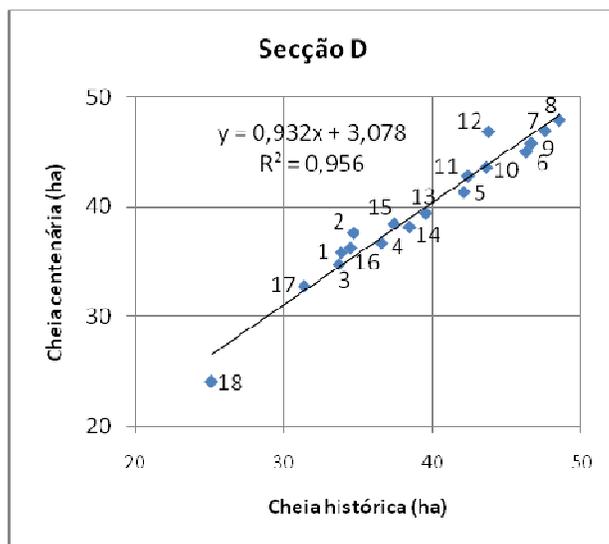
Os talhões em que as diferenças entre áreas inundáveis são maiores são os talhões 1, 2 e 12. Como suporte desta provável relação entre afluentes e áreas inundáveis, verifica-se no talhão 12 uma das maiores diferenças entre áreas inundáveis de cada cheia, ocorrendo neste local a confluência do rio Arunca com a ribeira de São Tomé (Tabela 5.4-1).

Tabela 5.4-1 - Comparação da área inundável total e por talhão de 200 metros na Secção D (Ponte Mocate/V.N. Anços).

Talhão	Área inundável (ha)	
	Hidrológico-hidráulico	R. Hidrogeomorfológica
	Cheia centenária	Cheia histórica
1	33,91	35,81
2	34,73	37,61
3	33,74	34,75
4	36,60	36,69
5	42,15	41,35
6	46,33	45,04
7	47,60	46,95
8	48,54	47,93
9	46,64	45,82
10	43,65	43,61
11	42,41	42,80
12	43,79	46,88
13	39,59	39,41
14	38,47	38,16
15	37,45	38,44
16	34,51	36,24
17	31,42	32,73
18	25,15	24,03
Total	706,68	714,25

É nesta secção modelada do rio Arunca que a correlação entre as áreas resultantes da aplicação das duas metodologias é mais forte ($R^2 = 0,956$), como se observa na Figura 5.4-2.

Figura 5.4-2 - Correlação entre áreas inundáveis por talhão na Secção D (Ponte Mocate/V.N. Anços).



Tal facto poderá encontrar explicação na maior homogeneidade morfológica existente no curso inferior do rio, com vastas áreas aplanadas e margens do leito maior relativamente bem definidas por um incremento brusco no declive. Na margem direita, o limite da área inundável nas duas metodologias é feito não raras vezes pelo aterro da via férrea – elemento que contribui para regularizar e confinar a extensão da área inundável. O gráfico de dispersão confirma que o talhão 12 é aquele onde a diferença entre as áreas inundáveis é superior.

6. CONCLUSÕES

O presente capítulo apresenta as principais conclusões obtidas ao longo do trabalho realizado, bem como alguns aspectos que merecem uma investigação mais aprofundada relativamente à interligação entre as duas metodologias para a obtenção de cartografia de áreas inundáveis.

6.1. DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARUNCA

A BHA é uma bacia relativamente pouco estudada, sobretudo quanto ao tema das cheias/inundações, mas igualmente quanto às suas características biofísicas e sócio-económicas. A presente tese procurou contribuir para o aprofundamento deste conhecimento ao nível da divisão hidrográfica, reconhecendo o sistema “bacia hidrográfica” como unidade estruturante do planeamento dos recursos naturais.

A recolha bibliográfica e de campo realizadas permitiram confirmar que, não obstante existirem situações de cheia que têm como causa directa o transbordo do rio Mondego – cheias que evoluem de jusante para montante e que afectam o sector a jusante de Soure – a bacia hidrográfica do rio Arunca gera por si só importantes e frequentes episódios de cheia. Dos dados recolhidos, ressalta que as situações de cheia/inundação mais graves e mais frequentes são as que resultam de precipitações intensas de curta duração. Destas ocorrências destaca-se pela actualidade e dimensão de danos e áreas afectadas, a sequência de cheias/inundações verificadas no Outono de 2006. As precipitações ocorridas neste período geraram caudais responsáveis por danos materiais visíveis um pouco por toda a bacia, mesmo nas linhas de água de menor hierarquia fluvial, como se representou na cartografia dos pontos críticos de escoamento (capítulo 4).

Os levantamentos de campo não são conclusivos mas deixam antever que os meios cársicos – aflorantes sobretudo nas serras e planaltos calcários – exercem alguma influência nos cursos de água da margem direita do rio Arunca, retardando e atenuando os picos de cheia, com consequências na extensão das áreas inundáveis. O regime perene do rio Arunca justifica-se em parte pelo contributo do escoamento verificado na componente subterrânea do rio Anços e da ribeira de Ourão.

A conclusão do projecto de Aproveitamento Hidroagrícola do Baixo Mondego - iniciado na década de 70 - no vale do Arunca⁶³ ao nível das infra-estruturas de rega e controlo de cheias, traria benefícios não unicamente para a actividade agrícola como também, previsivelmente, para a mitigação dos efeitos das cheias que afectam este sector do rio Arunca. Pela vasta extensão da área inundável e altura da coluna de água correspondente a uma cheia centenária, pode-se antever que qualquer que seja a intervenção, dificilmente evitará a inundação dos campos, porém para ocorrências com períodos de retorno inferiores, a eficácia deste tipo de infra-estruturas poderá ser bastante elevada.

⁶³ O Vale do Arunca constitui o Bloco 11 apresentando uma área de 1384 hectares.

6.2. DOS MÉTODOS DE DEFINIÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS APLICADOS

No capítulo 3 descreveram-se as duas metodologias adoptadas para a de definição de áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Arunca, das quais se apresentam as principais características, diferenças e similaridades.

Método de reconstituição hidrogeomorfológica

O ambiente morfológico constitui todo o cenário onde os processos hidrodinâmicos associados ao escoamento tiveram lugar no passado e onde terão lugar no futuro. Neste sentido, a morfologia foi tomada como a chave para a compreensão das características da inundabilidade, sendo simultaneamente resultado e condicionante das cheias passadas e futuras, respectivamente.

Com a realização dos questionários junto da população constatou-se que as áreas urbanas e as áreas topograficamente mais acidentadas – onde as modificações no leito menor e no perfil longitudinal dos cursos de água, bem como a existência de infra-estruturas e edifícios, se reflectem em alterações às condições de escoamento – necessitaram e necessitarão em trabalhos futuros de um número maior de questionários relativamente às áreas rurais e às áreas de planície aluvial, por exemplo.

A conjugação das observações recolhidas no campo (de índole geomorfológica, sedimentológica, vegetação, uso do solo, registos epigráficos e questionários) com a análise, em gabinete, da fotografia aérea e da altimetria, revelou-se fundamental para a definição da área inundável correspondente à cheia histórica e actual. Contudo, verificou-se que não é pacífica a atribuição de um período de retorno a cada um destes limites de área inundável obtidos.

Uma das principais limitações do método de reconstituição hidrogeomorfológica é que não incorpora a influência que as modificações ocorridas na bacia - na morfologia do leito ou no uso do solo (incêndios, urbanização, etc.), por exemplo - podem significar no comportamento hidrológico-hidráulico dos cursos de água e, conseqüentemente, na extensão das áreas inundáveis.

Em termos de aplicabilidade, o trabalho realizado permite inferir que o método de reconstituição hidrogeomorfológica poderá ser de mais fácil aplicação a grandes áreas, o que está de acordo com LASTRA *et al*, 2008).

Método hidrológico-hidráulico

A precisão planimétrica e altimétrica da cartografia utilizada constituíram um factor crítico para a aplicação deste método. De preferência deve-se utilizar cartografia de escala inferior a 1:10 000 e o mais actualizada possível. Verificou-se durante a modelação das secções que uma diferença centimétrica nas cotas de terreno pode resultar em diferenças significativas na extensão da área inundável.

Apesar da forte dependência de cartografia actualizada (principalmente a altimetria), este método difere substancialmente do anterior na forma como utiliza a informação morfológica. No método hidrológico-

hidráulico a leitura que se extrai da análise das formas fluviais não é relevante. A morfologia é expressa neste método pelo Modelo Digital de Terreno sobre o qual são definidas as secções transversais, sem que se proceda a qualquer leitura relativamente à sua tipologia e localização, ao contrário do que se sucede no método de reconstituição hidrogeomorfológica quanto aos taludes erosivos, por exemplo.

No programa de modelação hidráulica utilizado (HEC-RAS) assume-se que o fluxo do escoamento se faz em regime uniforme (*steady flow*) e de forma unidimensional, condições que não ocorrem em pleno nos sistemas fluviais naturais.

Pode-se concluir também que a modelação dos processos hidrológico-hidráulicos não é isenta de algumas limitações e subjectividade devido aos seguintes motivos: i) estimação de caudais de ponta de cheia realizada a partir de séries de precipitação insuficientemente longas; ii) ausência de dados hidrométricos para a maioria das pequenas sub-bacias e insuficiência de dados hidrométricos mesmo para o rio Arunca; iii) difícil atribuição dos coeficientes de rugosidade a cada tipo de uso do solo.

Um dos principais aspectos positivos da aplicação do método hidrológico-hidráulico - certamente com erros introduzidos na tentativa de modelização - consiste na capacidade de reflectir as condições actuais de escoamento (modificações morfológicas recentes no leito, alterações do uso do solo, etc.) e na capacidade de efectuar cenarizações (modificações no Número de Escoamento, nos coeficientes de rugosidade, nos dados de precipitação, por exemplo).

6.3. DA CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS

Da aplicação do método de reconstituição hidrogeomorfológica resultou a produção de cartografia de áreas inundáveis para a cheia histórica e actual em toda a bacia do rio Arunca, bem como a identificação de pontos críticos de escoamento. Verificou-se que no curso inferior do rio Arunca as diferenças entre cheia histórica e actual são, em extensão, muito reduzidas ou inexistentes. Isto significa que actualmente ocorrem cheias/inundações com a mesma frequência e magnitude com que ocorreram no passado, isto é, as evidências morfológicas concordam com os limites actuais das cheias/inundações indicados pela população nos questionários.

A similaridade entre os limites das duas cheias (histórica e actual) diminui substancialmente a montante de Soure. Os dados recolhidos junto da população revelam que no curso médio e superior do rio Arunca, os limites da cheia actual divergem mais dos limites da cheia histórica, isto é, actualmente não têm ocorrido cheias que atinjam os limites definidos pelas evidências paleo-hidrogeomorfológicas. Este facto pode dever-se a modificações recentes no leito menor dos cursos de água.

A identificação de pontos críticos de escoamento (PCE) constitui outro resultado muito útil a nível do ordenamento do território. Com efeito, a maior parte dos PCE tem origem em acções antrópicas sobre o leito dos cursos de água causadoras de danos materiais - mesmo nos cursos de menor hierarquia fluvial -, para os quais, uma avaliação expedita não faria suspeitar a existência de problemas de escoamento.

A comparação de áreas inundáveis obtidas pelo método de reconstituição hidrogeomorfológica e método hidrológico-hidráulico em várias secções permite as seguintes conclusões:

- obtiveram-se resultados muito idênticos para a cheia histórica e cheia centenária nas secções modeladas mais a jusante (Secções C e D). A explicação para tais resultados pode ser encontrada na análise aos resultados obtidos nas outras duas secções comparadas.

- nas Secções A e B – em particular na Secção B (Pombal) - as diferenças entre as áreas inundáveis das cheias histórica e centenária são maiores nos talhões que abrangem troços fluviais e áreas da planície aluvial mais modificados pela acção humana.

- pode-se concluir que quanto maiores as alterações morfológicas no leito maior, menor a correlação entre as áreas inundáveis obtidas para as cheias histórica e centenária. No sentido oposto, quanto menores as alterações morfológicas maior a aproximação entre a extensão de ambas as áreas inundáveis.

Por outro lado, verificou-se que foi nos talhões de controlo em que houve maiores modificações que os limites da cheia centenária se aproximaram mais dos limites da cheia actual obtida pelo método de reconstituição hidrogeomorfológica. Esta similaridade pode justificar-se pelo facto de a extensão da cheia centenária (proveniente da aplicação do método hidrológico-hidráulico) reflectir um contexto morfológico actual, diferente do contexto que conduziu à definição da cheia histórica pelo método de reconstituição hidrogeomorfológica.

A aplicação das duas metodologias na Secção B (Pombal) mostrou-se interessante também pelo facto de que as diferenças verificadas entre as áreas inundáveis permitiram avaliar a influência das alterações morfológicas e de uso do solo, nas características de inundabilidade naquela secção.

Transversalmente a todas a secções comparadas, pode-se observar que as margens dos cursos de água que recebem mais afluentes – sendo portanto morfológicamente mais complexas, alternando áreas de vertente com áreas de fundos de vale ou vales – são aquelas em que as diferenças entre a área inundável para uma cheia centenária e para uma cheia histórica são maiores.

Ao nível do ordenamento do território podem-se retirar deste trabalho algumas notas:

- as áreas inundáveis resultantes da aplicação do método de reconstituição hidrogeomorfológica - sendo menos reactivas às alterações introduzidas, a um ritmo e magnitude cada vez maiores, pelo Homem – devem definir um enquadramento para o ordenamento do território numa escala temporal mais alargada;

- as áreas inundáveis resultantes da aplicação do método hidrológico-hidráulico podem ter aplicação mais adequada a uma escala temporal mais reduzida, havendo necessidade de as actualizar, quando se considere que os factores biofísicos e sócio-económicos que condicionam o escoamento fluvial sofreram mutações significativas.

- para efeitos de elaboração de cartografia aplicada ao ordenamento do território, a melhor solução passará pela elaboração de um mapa de áreas inundáveis que combine os resultados dos dois métodos, atribuindo porventura maior relevância aos resultados provenientes do método hidrológico-hidráulico, em especial nas áreas onde há poucas evidências geomorfológicas e dados históricos (cf. LASTRA *et al.*, 2008).

No fundo, o trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Arunca permite concluir que ambos os métodos se mostram complementares, mais que antagónicos, contribuindo cada um para a melhoria e explicação do outro. A produção de cartografia de áreas inundáveis surge mais completa e fiável quando se opta pela aplicação simultânea de ambas as metodologias.

6.4. DOS TRABALHOS FUTUROS NESTA ÁREA DO CONHECIMENTO

A temática da cartografia de áreas inundáveis é actual, estimulante e profícua em áreas de investigação por aprofundar, das quais se apontam algumas:

- Aplicação desta metodologia a outros afluentes do rio Mondego, como os rios “de planalto” e “de montanha”, no dizer de MARTINS (1940) - e proceder à comparação de resultados;
- Elaboração de cartografia de áreas inundáveis recorrendo ao programa HEC-RAS mas, modelando episódios de cheia concretos com base em hidrogramas de cheia (regime não uniforme ou *unsteady flow*), comparando a área inundável obtida com a extensão realmente verificada no terreno;
- Elaboração de cartografia de áreas inundáveis recorrendo a programas de modelação hidráulica não uni-direccionais conjuntamente com o método de reconstituição hidrogeomorfológica;
- Avaliação da influência da carsificação nos tempos de concentração e nos caudais de ponta de cheia; aprofundar o conhecimento da circulação subterrânea sobretudo do sistema aquífero Sicó-Alvaiázere que ocupa cerca de 17% da área da BHA; avaliar o modo como os diferentes programas de modelação hidrológica-hidráulica estimam e integram os dados relativos ao escoamento subterrâneo.
- Aplicação do método hidrológico-hidráulico para períodos de retorno inferiores àquele utilizado neste trabalho;
- Realização de estudos hidrológicos-hidráulicos nas pequenas bacias onde se encontraram PCE, porque são bacias onde as evidências paleo-hidrogeomorfológicas são menos evidentes - comparação de resultados entre os dois métodos;
- Estudo da relação entre extensão de área inundável e altura da coluna de água. Esta relação é muito importante para a avaliação do risco. Como referem APEL *et al.* (2009), nas áreas em que o leito de inundação se apresenta morfologicamente plano e confinado por vertentes de forte declive, uma pequena oscilação na extensão de área inundável pode corresponder a uma diferença de vários metros na altura da cheia, com consequências significativas na avaliação do risco e por conseguinte no ordenamento do território.

7. BIBLIOGRAFIA

Fontes Bibliográficas

- AEA (2005) - *Alterações climáticas e cheias fluviais na Europa*, Briefing n.º 2005-01. Agência Europeia do Ambiente.
- ALEXANDRE, J. (1995) – *A Bacia Hidrográfica do Rio Cávado*. Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Hidrologia Continental do curso de licenciatura em Geografia. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J.L.L.; JESUS, M.R.; GOMES, A.J. (2000) – *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*, Instituto da Água, documento electrónico em CD-ROM.
- APEL, H.; ARONICA, G.T.; KREIBICH, H.; THIEKEN, A.H. (2009) – *Flood risk analysis – how detailed do we need to be?* Natural Hazards 49, pp. 79-98.
- BALLAIS, J.L.; GARRY, G.; MASSON, M. (2005) - *Contribution de l'hydrogeomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation: le cas du Midi méditerranéen français*. Comptes Rendus Geoscience 337, pp. 1120-1130.
- BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; COSTA, J.P. (2001) – *Análise de Fenómenos Extremos Precipitações Intensas em Portugal Continental*. Instituto da Água, Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, Lisboa, 57 p.
- CALÇADA, M.; PORTELA, M.M.; MATOS, J.; (2004) – *Análise de Cheias e Delimitação de Zonas Inundáveis em Timor Leste - Abordagem por Modelação Geográfica*. Instituto Superior Técnico, 16 p.
- CAMPAR DE ALMEIDA, A.; SOARES, A. F.; CUNHA, L.; MARQUES, J. F. (1990) – *Proémio ao Estudo do Baixo Mondego*. Biblos, vol. LXVI, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, pp. 17-47.
- CARVALHO, A.C.; MATIAS, S. (2004) – *Índices de Desenvolvimento para as Regiões Portuguesas – 2001*. Prospectiva e Planeamento, n.º 10, Instituto Nacional de Estatística.
- CARVALHO, R.M.R. (2002) - *O Plistocénico da Região Ocidental de Pombal - o contributo dos Conglomerados de Estevães e dos Conglomerados de Ranha*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 144 p.
- CCDRC (2008) – Consulta de indicadores demográficos na página da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região Centro em <http://www.ccdrc.pt/regiao/caracterizacao-indicadores/concelho>.
- CGRM (2007) - *Decreto n.º 258/2007 do Conselho do Governo da Região de Murcia*. Boletín Oficial de la Región de Murcia n.º 173 de 13 de Julho de 2007, pp. 23145-23165.
- CHOW, V.T. (1959) - *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Nova Iorque, 558 p.
- CHOW, V. T. (1964) – *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Nova Iorque, 1563 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (2000) – *Geomorfologia*. 6ª reimpressão, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 83 p.

Bibliografia

- CMP (2007) - *Bacias Hidrográficas e Cheia Centenária - Plano de Cheias para o Concelho de Pombal*. Câmara Municipal de Pombal.
- 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.
- CUNHA, L. (1986) – *As grandes linhas de desenvolvimento do relevo na área de Soure*. Locus, n.º 1, 2º semestre, Associação de Investigação do Território.
- 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, n.º 9, pp. 13-36.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. (1983) – *Hidrologia Subterránea*. Ediciones Omega, Tomo I, 2.ª ed. Corrigida (p. variada).
- DAVEAU, S. (1995) – *Portugal Geográfico*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, 223 p.
- DGRADR (1986) – *Escoamentos até 1984/85 – Portugal Continental*. Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos.
- DGADR (2008) – *Projecto Hidroagrícola do Baixo Mondego*. Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, texto consultado na página www.dgadr.pt.
- DÍEZ-HERRERO; A. LAÍN-HUERTA, L.; LLORENTE-ISIDRO, M. (2008) – *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones – Guía metodológica para su elaboración*. série *Riesgos Geológicos /Geotecnia*, n.º. 1, Instituto Geológico Y Minero de España. 190 p.
- FEMA (2008) – Informação consultada na página do *Federal Emergency Management Agency* em www.fema.gov.
- GORDON, M. (1971), *Evaluating Alternative Techniques of Floodplain Mapping*. Water Resources Research, vol. 7, *An evaluation of the costs and drawbacks of various methods of mapping flood-prone areas*, pp. 1383-1392.
- GOUDIE, A.S. (ed.) (2004) – *Encyclopedia of Geomorphology*. Volume 1, Edições Routledge, 378 p.
- 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.
- IGUC (2008) – *Normal climatológica 1971-2001 da Estação Climatológica Coimbra/Geofísico*. Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra. Dados consultados na página www.uc.pt/iguc.

- IM (2006) – *Informação Climática - Outubro de 2006*. Instituto de Meteorologia.
- INAG (2002a) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego – Volume III – Síntese da Análise e Diagnóstico da Situação Actual*. Instituto da Água.
- INAG (2002b) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego – Anexo 2 – Análise demográfica e socio-económica*. Instituto da Água.
- INAG (2002c) - *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego – Anexo 3 – Recursos Hídricos Superficiais*. Instituto da Água.
- INAG (2002c) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego - Anexo 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos*. Instituto da Água.
- INAG (2002d) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego - Anexo 5 - Ocupação do Solo e Ordenamento do Território*. Instituto da Água.
- INAG (2002e) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego – Anexo 11-A - Situações Hidrológicas Extremas, Análise de Cheias*. Instituto da Água.
- INAG (2007) – *Breve Caracterização das Cheias do Outono de 2006*. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, Instituto da Água, 14 p.
- INE (2001a) – *XIV Recenseamento Geral da População*. Instituto Nacional de Estatística.
- INE (2001b) – *Anuário Estatístico da Região Centro – 2000*. Instituto Nacional de Estatística.
- LASTRA, J.; FERNÁNDEZ, E.; DIEZ-HERRERO, A.; MARQUÍNEZ, J. (2008) – *Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula*. *Natural Hazards* 45, pp. 277-293.
- LENCASTRE, A.; FRANCO, F.M. (2006) – *Lições de hidrologia*. Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 3ª ed., 451 p.
- MANUPPELLA, G.; ZBYSZEWSKI, G.; FERREIRA, O.V. (1978) – *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal (1:50 000), folha 23-A (Pombal)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 62 p.
- MARSH, W.M., coord. (1978) – *Environmental Analysis for Land Use and Site Planning*. Capítulo 5 “Floods and Floodplains”, Peter Van Dusen, Jeff Dozier e William M. Marsh). McGraw-Hill, Nova Iorque, pp. 135-162.
- MARTINS, A.F. (1940) - *O esforço do homem na bacia do Mondego*. Coimbra, 299 p.
- MARTINS, F.J.P. (2000) – *Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de Passagens Inferiores Rodoviárias para Águas Pluviais*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos, Coimbra, 204 p.
- MASSON, M. ; GARRY, G. ; BALLAIS, J.L. (1996) - *Cartographie des zones inondables. Approche hydro-géomorphologique*. Paris La Défense, Les Editions Villes et Territoires, 100 p.
- MATOS M.R. (1987) - *Método de Análise e de Cálculo de Caudais Pluviais em Sistemas de Drenagem Urbana*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Bibliografia

- PEIXINHO DE CRISTO, F. (1998) – *Águas Subterrâneas no Baixo Mondego*. Projecto Praxis XXI 2/2.1/CTA – 156/94.
- PENNING-ROUSELL, E.; FORDHAM, M. (ed.) (1994) - *Floods Across Europe – flood assessment, modelling and management*. Middlesex University Press, Londres.
- PNPOT (2007) - *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território*. Lei n.º 58/2007 de 4 de Setembro.
- PORTELA, M.M. et al (2000) – *Hietogramas de Projecto para a Análise de Cheias Baseada no Modelo do Hidrograma Unitário do Soil Conservation Service (SCS)*. Comunicação apresentada ao 5º Congresso da Água.
- QUINTELA, A.C.; PORTELA, M.M. (2002) - *A modelação hidrológica em Portugal nos últimos 25 anos do século XX, nas perspectivas determinística, probabilística e estocástica*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n.º 4, pp. 51-64.
- RAMOS, C.; AMARAL, I.; SIRGADO, C.; SALGUEIRO, T.B. (1988) - *Enciclopédia Geográfica*. Selecções do Reader's Digest, p. 556.
- RAMOS, C.; DUARTE, A.; BORGES, B.; PEDRO, P. PANCADA, R. (2005) – *Cheias rápidas em áreas urbanas e sua percepção: o caso da bacia da ribeira de Odivelas*. Comunicação apresentada no X Colóquio Ibérico de Geografia. 22 a 24 de Setembro de 2005. Évora. 15 p.
- RAMOS, P.N. (1998) - *Estimativa do PIB per capita para os Concelhos do Continente Português*. Revista de Estatística, 3º Quadrimestre de 1998, Instituto Nacional de Estatística.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M.T.; FERREIRA, M. P.; ROCHA, R.B.; SOARES, A.F.; ZBYSZEWSKI, G.; ALMEIDA, F M.; CARVALHO, D.; MONTEIRO, J.H. (1979) – *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 p.
- ROCHA, R.B.; MANUPPELLA, G.; MOUTERDE, R.; RUGET, C.; ZBYSZEWSKI, G. (1981) - *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal (1:50 000), folha 19-C (Figueira da Foz)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 126 p.
- RODRIGUES, M.L. (coord. e autora); CUNHA, L.; RAMOS, C.; PEREIRA, A.R.; TELES, V.; DIMUCCIO, L. (2007) – *Glossário Ilustrado de Termos Cársicos*. Edições Colibri, pp. 31-33.
- SANCHES, R. (1996) - *O Problema Secular do Mondego e a sua Resolução*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 208 p.
- SANTOS, P. (2005) – *Caracterização de Bacias Hidrográficas. Breve estudo comparativo de duas sub-bacias do rio Lizandro*. Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Recursos Hídricos do curso de mestrado em Geociências – ramo de Ambiente e Ordenamento do Território. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra.
- SCS (1973) – *A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds*. U. S. Department of Agriculture, Washington.

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.

SOARES, A.M.S. (1971) - *A freguesia de Soure no período de 1725-1764*. Tese de licenciatura em História apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.

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

TEIXEIRA, C. e ZBYSZEWSKI, G. (1968) – *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal (1:50 000), folha 23-C (Leiria)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 99 p.

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

UE (2007) – Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2007 relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. Jornal Oficial da União Europeia, 6.11.2007, L-288/27 a L-288/34.

Fontes Cartográficas

AEA (2001) – *Corine Land Cover 2000 – Portugal*. Agência Europeia do Ambiente, Centro Comum de Investigação.

APA (2008) – *Atlas do Ambiente*. Agência Portuguesa do Ambiente.

IGEOE (2002) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 239 (Figueira da Foz)*. Instituto Geográfico do Exército.

IGEOE (2002) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 240 (Montemor-o-Velho)*. Instituto Geográfico do Exército.

IGEOE (2001) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 249 (Marinha das Ondas - Figueira da Foz)*. Instituto Geográfico do Exército.

IGEOE (2002) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 250 (Soure)*. Instituto Geográfico do Exército.

IGEOE (2001) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 251 (Condeixa-a-Nova)*. Instituto Geográfico do Exército.

IGEOE (2003) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 262 (Redinha - Pombal)*. Instituto Geográfico do Exército.

IGEOE (2003) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 263 (Espinhal - Penela)*. Instituto Geográfico do Exército.

Bibliografia

- IGEOE (2003) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 273 (Monte Redondo - Leiria)*. Instituto Geográfico do Exército.
- IGEOE (2003) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 274 (Pombal)*. Instituto Geográfico do Exército.
- IGEOE (2003) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 285 (Marrazes (Leiria))*. Instituto Geográfico do Exército.
- IGEOE (2003) – *Carta Militar de Portugal (1:25 000), Série M888, folha 286 (Albergaria-dos-Doze (Pombal))*. Instituto Geográfico do Exército.
- IGP (2005) – *Carta de Portugal Continental (1:500 000)*. Instituto Geográfico Português.
- IGP (2008) – *Carta Administrativa Oficial de Portugal - versão 2008*. Instituto Geográfico Português.
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. (2006) – *World Map of Köppen-Geiger Climate Classification updated*. Meteorol. Z., 15, pp. 259-263.
- SGP (1966) – *Carta Geológica de Portugal (1:50 000), folha 23-C (Leiria)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SGP (1974) – *Carta Geológica de Portugal (1:50 000), folha 23-A (Pombal)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SGP (1976) – *Carta Geológica de Portugal (1:50 000), folha 19-C (Figueira da Foz)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SGP (1988) – *Carta Neotectónica de Portugal Continental (1:1 000 000)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SGP (1992) – *Carta Geológica de Portugal (1:500 000)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa

8. ANEXOS

Anexo A – Séries de precipitação mensal.

350.0 Lacuna Preenchida

Albergaria-dos-Doze

ANO	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
1979/80	350.0	74.4	125.5	73.6	82.4	86.8	98.5	111.7	64.7	16.7	47.2	25.1	1156.5
1980/81	90.7	181.2	74.4	5.4	91.3	133.7	96.6	88.2	19.0	0.1	0.8	101.6	883.0
1981/82	72.4	2.0	427.9	41.6	44.0	4.2	26.4	22.0	2.4	11.6	9.0	37.2	700.7
1982/83	75.6	131.2	173.3	3.2	13.3	12.3	280.9	194.1	38.7	3.6	14.8	0.5	941.5
1983/84	52.4	390.5	168.9	146.1	49.1	267.5	62.9	115.6	93.4	3.8	19.3	23.0	1392.5
1984/85	140.1	170.7	116.4	170.7	269.1	65.1	167.9	75.1	30.9	0.8	2.5	2.5	1211.8
1985/86	1.0	76.2	260.4	189.2	286.0	32.8	86.4	24.2	14.0	0.0	3.1	47.4	1020.7
1986/87	40.4	101.4	69.1	157.9	142.8	105.1	183.4	0.6	28.9	12.1	18.2	95.8	955.7
1987/88	186.7	71.8	198.4	247.5	82.9	8.5	327.2	178.0	119.6	46.0	0.0	2.5	1469.1
1988/89	121.7	95.7	31.5	56.8	154.0	52.8	204.1	131.3	4.0	3.2	6.2	19.9	881.2
1989/90	137.3	216.6	368.8	217.7	118.7	20.5	148.1	46.9	14.9	15.1	3.1	44.3	1352.0
1990/91	309.3	175.8	121.1	89.2	229.4	196.0	81.9	1.2	3.9	2.8	20.0	58.1	1288.7
1991/92	102.0	106.1	51.0	46.9	39.6	33.0	119.7	0.0	70.1	18.8	38.7	45.9	671.8
1992/93	93.4	60.1	151.2	51.3	64.2	64.7	188.6	205.4	64.2	3.0	27.2	113.2	1086.5
1993/94	232.7	195.8	48.2	188.4	188.7	7.8	55.5	202.4	3.5	2.1	6.0	17.8	1148.9
1994/95	129.5	107.7	80.5	137.9	138.6	41.2	31.0	20.1	11.1	0.0	3.8	41.8	743.2
1995/96	67.5	224.6	289.6	429.7	228.4	138.7	64.9	174.2	0.0	11.6	0.3	57.8	1687.3
1996/97	70.0	80.7	302.7	222.5	26.5	0.0	69.8	147.2	102.1	6.0	30.2	46.3	1104.0
1997/98	155.0	447.2	203.3	131.7	97.5	80.7	149.6	123.7	74.4	12.0	11.4	72.6	1559.1
1998/99	38.0	62.4	74.2	95.6	31.9	141.4	102.6	98.0	11.4	11.4	41.3	137.8	846.1
1999/00	192.8	61.7	101.0	26.0	34.9	51.5	263.4	147.2	13.0	45.2	18.1	37.3	992.2
2000/01	88.2	232.6	462.2	313.0	143.6	208.9	32.1	82.1	20.0	36.7	17.2	62.4	1699.1
2001/02	186.4	37.2	19.2	107.6	40.1	113.9	45.9	44.8	24.1	13.8	17.4	138.5	788.8
2002/03	127.1	151.8	192.7	133.4	142.5	101.3	97.8	15.3	28.3	20.7	40.8	54.3	1106.1
2003/04	224.7	109.8	126.8	89.7	65.7	38.2	45.4	107.9	4.9	1.3	53.3	31.1	898.8
2004/05	156.6	22.6	51.6	8.4	39.9	55.3	47.1	30.0	12.4	22.5	13.1	21.8	481.3
2005/06	174.4	130.1	98.4	63.9	86.9	127.3	68.5	2.8	49.1	15.9	26.3	91.8	935.4
Média	133.9	137.7	162.5	127.6	108.6	81.1	116.5	88.5	34.2	12.5	18.1	52.9	1074.2

Caxarias

ANO	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
1979/80	297.11	56.59	101.2	55.92	63.53	67.42	77.6	89.1	48.13	6.2	32.82	13.52	909.1
1980/81	47.80	100.30	22.10	0.00	55.90	94.20	81.60	71.30	16.80	0.00	0.00	43.60	533.6
1981/82	32.00	1.80	396.00	85.00	87.30	15.80	62.00	40.70	27.00	12.20	14.80	68.80	843.4
1982/83	29.30	134.00	79.80	4.20	70.00	6.80	139.00	80.40	26.00	7.70	6.70	2.50	586.4
1983/84	64.10	303.00	134.30	94.30	12.20	148.50	82.10	85.60	66.50	9.30	7.80	3.80	1011.5
1984/85	93.50	156.10	99.30	175.10	241.10	58.10	120.50	46.10	28.60	1.30	0.00	5.90	1025.6
1985/86	8.00	148.80	164.80	144.30	172.40	20.80	65.80	17.30	10.00	0.00	2.60	113.10	867.9
1986/87	46.70	77.80	60.70	163.10	159.80	55.80	85.80	16.80	17.40	4.10	24.10	95.30	807.4
1987/88	149.80	54.00	160.50	163.90	52.80	2.60	68.30	140.40	123.90	28.30	0.00	3.30	947.8
1988/89	95.40	112.50	18.70	49.10	95.90	36.30	97.20	76.80	2.40	1.60	1.00	14.20	601.1
1989/90	132.10	248.10	351.80	127.30	39.60	17.40	119.70	16.40	3.40	6.80	5.30	20.00	1087.9
1990/91	262.20	128.00	84.40	65.30	168.10	181.90	34.70	0.70	27.20	2.50	14.90	25.70	995.6

Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico.
Estudo comparativo na bacia hidrográfica do rio Arunca.

1991/92	86.90	63.10	85.40	57.90	32.60	23.60	82.60	28.80	75.00	17.10	15.40	33.20	601.6
1992/93	97.50	21.20	98.10	60.00	51.40	52.50	101.30	119.70	15.50	0.00	18.80	78.10	714.1
1993/94	220.80	156.10	21.10	127.60	150.80	7.90	40.20	195.80	1.70	2.30	7.30	8.80	940.4
1994/95	74.10	88.90	48.20	89.90	95.20	26.70	43.90	9.90	19.30	0.10	0.00	34.00	530.2
1995/96	71.70	195.80	219.50	436.90	144.10	98.70	35.20	148.20	0.00	4.50	0.00	53.00	1407.6
1996/97	70.00	80.70	302.70	187.20	10.20	0.00	53.80	117.70	72.70	24.10	22.80	31.50	973.4
1997/98	128.20	389.20	171.40	107.40	76.90	61.90	123.40	100.30	56.20	0.50	0.00	54.60	1270.0
1998/99	23.70	45.50	56.10	75.20	18.30	116.10	81.40	77.30	0.00	0.00	26.70	112.90	633.2
1999/00	162.00	44.90	80.00	13.00	21.00	35.80	225.00	121.30	1.40	30.20	6.00	23.10	763.7
2000/01	68.60	197.50	402.60	269.30	118.00	176.40	18.50	63.10	7.70	22.60	5.20	45.50	1395.0
2001/02	156.30	23.00	6.90	85.90	25.60	91.50	30.80	29.80	11.30	2.10	5.30	113.50	582.0
2002/03	103.30	125.40	161.90	108.90	117.10	80.30	77.10	3.50	15.10	8.30	26.20	38.30	865.4
2003/04	157.10	93.00	89.70	61.10	53.00	20.60	29.50	19.00	4.30	1.00	22.10	28.60	579.0
2004/05	192.40	25.10	55.40	8.50	19.60	68.60	34.60	25.10	1.60	15.10	2.60	14.10	462.7
2005/06	143.50	93.70	50.20	43.60	81.90	108.80	48.40	0.60	31.00	1.20	10.50	69.30	682.7
Média	111.6	117.2	130.5	105.9	82.8	62.0	76.3	64.5	26.3	7.7	10.3	42.5	837.7

Degracias

ANO	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
1979/80	301.0	85.5	130.5	76.7	94.5	95.9	41.4	114.7	42.6	12.1	26.5	32.5	1053.9
1980/81	86.7	120.0	75.1	9.5	50.2	134.6	89.5	82.2	20.0	13.2	1.1	82.5	764.6
1981/82	105.4	3.5	376.4	132.6	163.4	25.0	76.2	36.7	48.5	14.2	19.3	95.9	1097.1
1982/83	92.2	166.0	192.8	43.2	147.7	12.3	186.6	265.5	30.3	12.7	17.2	14.7	1181.2
1983/84	53.5	255.4	181.8	173.9	35.7	176.0	139.8	145.0	83.6	3.0	22.2	18.0	1287.9
1984/85	151.6	370.4	129.3	245.0	261.0	161.2	170.0	81.0	68.2	26.5	3.0	5.0	1672.2
1985/86	21.5	230.4	215.1	228.1	284.8	73.0	94.2	38.5	17.0	0.0	3.3	120.4	1326.3
1986/87	63.8	106.1	108.0	192.5	259.3	77.2	162.2	9.9	39.4	15.5	8.5	133.9	1176.3
1987/88	366.0	228.4	212.8	263.9	108.8	13.0	112.7	148.5	233.7	70.0	0.0	12.3	1770.1
1988/89	112.1	86.9	49.4	55.7	195.0	48.7	202.8	108.5	8.0	2.0	9.8	19.1	898.0
1989/90	121.2	261.6	334.4	171.9	56.4	14.0	123.6	36.3	14.7	7.3	13.3	88.3	1243.0
1990/91	293.3	154.3	128.1	108.5	193.4	195.9	40.2	4.3	40.3	6.4	21.6	52.6	1238.9
1991/92	130.2	123.8	80.4	62.1	40.9	53.9	107.3	86.7	65.4	10.8	47.9	45.3	854.7
1992/93	161.9	68.1	165.7	53.5	62.9	43.4	177.8	176.9	60.7	2.3	3.2	154.4	1130.8
1993/94	355.0	222.2	125.7	196.3	194.9	11.9	61.7	215.4	5.5	5.2	22.0	33.7	1449.5
1994/95	99.5	142.6	116.9	215.9	174.6	68.0	84.9	48.6	6.5	3.5	0.0	44.4	1005.4
1995/96	63.4	200.0	357.0	378.8	231.5	138.6	55.0	200.4	4.0	21.5	6.7	90.3	1747.2
1996/97	95.8	151.5	310.2	205.7	39.0	0.0	51.0	144.4	97.1	22.0	52.4	38.0	1207.1
1997/98	166.6	613.8	228.1	173.4	71.5	58.5	244.5	148.1	62.5	8.1	0.0	113.5	1888.6
1998/99	76.4	85.7	82.1	110.6	43.8	129.4	107.9	98.7	11.5	6.8	49.2	191.0	993.1
1999/00	213.0	64.6	228.8	15.2	35.5	32.5	310.0	117.1	6.6	42.9	9.7	47.0	1122.9
2000/01	119.6	289.0	434.3	573.4	142.1	269.1	61.6	100.7	10.5	44.6	41.5	19.9	2106.3
2001/02	223.7	29.0	7.4	95.5	67.7	148.6	67.2	71.5	64.6	7.2	14.9	145.5	942.8
2002/03	229.0	319.7	243.6	317.0	168.3	129.7	161.7	9.7	27.8	24.9	28.8	25.8	1686.0
2003/04	287.1	157.0	39.8	146.3	76.6	71.1	91.2	118.8	19.1	8.8	105.6	39.2	1160.6
2004/05	32.4	6.4	86.0	20.9	29.3	83.7	59.5	31.4	1.3	9.0	8.9	27.6	396.4
2005/06	163.4	114.3	119.5	57.3	92.9	121.6	75.0	3.6	42.1	7.9	41.3	115.4	954.3
Média	155.0	172.5	176.3	160.1	123.0	88.4	116.9	97.9	41.9	15.1	21.4	66.9	1235.4

Anexos

Freixianda

ANO	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
1979/80	311.0	58.0	104.9	57.3	65.3	69.4	80.1	92.2	49.1	5.0	33.0	12.7	938.0
1980/81	86.9	115.1	41.4	0.4	66.0	102.6	96.7	76.0	30.0	0.9	0.0	39.3	655.3
1981/82	48.8	3.3	310.2	83.5	66.7	11.1	60.1	40.9	30.3	2.6	15.8	76.6	749.9
1982/83	42.6	126.7	95.4	3.4	68.8	5.0	131.2	86.7	32.3	10.5	9.3	0.5	612.4
1983/84	46.0	218.8	79.2	187.8	19.2	163.3	59.4	48.1	54.9	31.2	11.0	9.8	928.7
1984/85	127.3	203.5	91.9	169.5	238.5	71.6	64.3	78.5	29.6	0.0	0.0	4.5	1079.2
1985/86	14.8	162.0	165.6	160.1	243.1	21.2	86.1	17.3	13.4	0.0	1.6	106.9	992.1
1986/87	25.0	70.5	52.4	154.3	140.1	46.8	114.4	7.2	28.7	3.8	33.3	93.6	770.1
1987/88	161.1	55.8	163.1	196.6	50.2	3.9	76.5	220.3	98.7	43.8	0.0	5.1	1075.1
1988/89	140.5	83.8	20.4	46.4	57.8	60.6	55.7	76.8	7.0	0.8	2.3	16.6	568.7
1989/90	162.5	223.8	402.2	140.7	39.0	9.1	115.7	9.9	0.5	6.2	18.5	11.9	1140.0
1990/91	280.7	137.2	106.7	76.4	184.5	177.3	32.2	0.0	7.6	3.6	12.5	39.7	1058.4
1991/92	81.2	79.7	69.8	49.9	27.9	33.5	115.8	27.5	87.6	23.3	15.9	41.3	653.4
1992/93	119.7	23.1	119.8	66.7	49.7	36.5	99.6	137.2	21.7	0.0	19.5	99.2	792.7
1993/94	202.0	131.7	29.4	154.0	170.0	3.4	40.7	202.7	1.5	0.0	8.0	18.5	961.9
1994/95	85.1	76.1	52.3	86.5	119.7	20.5	57.5	5.6	13.0	0.0	0.0	42.5	558.8
1995/96	66.4	175.0	273.4	434.5	135.3	91.6	34.5	160.7	0.0	2.8	0.0	48.4	1422.6
1996/97	63.1	90.0	287.9	165.9	6.6	0.0	45.2	104.1	75.8	18.0	21.4	18.7	896.7
1997/98	122.9	382.6	190.0	118.2	50.1	56.2	142.3	118.1	58.7	0.0	0.0	59.3	1298.4
1998/99	21.7	48.8	55.7	57.2	16.0	108.2	70.3	65.0	0.5	2.0	24.2	127.5	597.1
1999/00	198.5	44.3	51.7	12.6	18.5	25.2	238.8	66.3	2.0	23.4	10.6	24.2	716.1
2000/01	64.7	266.3	364.1	347.1	162.4	185.1	14.5	65.0	2.5	43.7	5.7	46.0	1567.1
2001/02	196.7	12.0	9.0	92.0	47.5	130.8	27.9	41.4	15.5	0.0	2.0	108.7	683.5
2002/03	126.3	168.7	176.4	162.8	145.8	98.9	88.0	4.3	18.7	10.9	14.2	24.1	1039.1
2003/04	141.4	80.1	79.1	57.8	50.8	24.2	32.7	29.5	3.4	0.8	23.6	4.6	528.0
2004/05	86.9	14.6	42.4	10.1	17.5	41.4	27.1	16.6	0.4	15.9	25.2	15.7	313.8
2005/06	205.0	94.6	74.3	50.3	107.1	116.2	48.4	1.5	62.6	0.2	12.5	92.0	864.7
Média	119.6	116.5	130.0	116.4	87.6	63.5	76.1	66.6	27.6	9.2	11.9	44.0	869.0

Pombal

ANO	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
1979/80	324.8	75.8	100.9	49.3	67.3	98.1	45.9	80.8	21.0	8.4	16.4	23.3	912.0
1980/81	82.5	95.4	40.6	2.9	66.1	89.8	86.7	82.5	11.1	0.7	0.0	75.7	634.0
1981/82	49.7	0.9	394.6	78.5	120.8	12.8	69.2	33.6	20.1	11.4	13.8	66.5	871.9
1982/83	68.2	166.1	119.4	7.2	79.6	9.1	155.8	125.3	23.0	14.4	12.7	4.5	785.3
1983/84	67.4	174.9	155.2	135.3	25.9	167.2	88.5	126.6	86.8	6.5	10.4	15.0	1059.7
1984/85	113.7	259.1	108.0	230.5	282.7	111.9	131.8	77.2	40.2	4.6	0.6	3.7	1364.0
1985/86	17.9	165.9	202.2	169.7	212.6	33.8	67.5	14.9	9.2	0.4	14.2	70.3	978.6
1986/87	42.1	112.6	64.9	91.0	129.9	70.1	109.2	1.0	29.5	8.1	19.3	76.0	753.7
1987/88	180.4	75.0	172.8	163.7	70.0	7.7	80.0	107.1	79.8	40.7	0.6	5.0	982.8
1988/89	95.7	53.9	28.3	42.1	109.5	43.4	89.2	91.9	1.4	2.2	3.4	12.7	573.7
1989/90	86.8	170.8	272.8	133.0	42.2	4.0	125.5	20.4	2.2	9.9	30.2	38.7	936.5
1990/91	181.1	131.2	79.6	84.7	152.5	157.4	40.2	0.3	53.6	1.9	9.5	46.0	938.0
1991/92	90.3	73.9	53.0	42.3	27.9	35.9	77.2	71.3	41.8	2.0	18.1	41.2	574.9
1992/93	95.4	34.3	85.3	57.7	39.3	34.0	135.4	136.6	92.6	0.4	7.8	95.9	814.7
1993/94	246.6	157.9	41.0	144.8	123.6	4.8	41.0	133.1	2.0	11.1	11.4	12.2	929.5
1994/95	90.9	111.3	45.3	106.2	118.0	32.0	58.3	13.9	7.1	1.0	0.9	27.2	612.1
1995/96	40.6	130.5	278.7	311.7	185.5	44.0	31.3	117.3	0.0	0.0	0.0	30.2	1169.8

Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico.
Estudo comparativo na bacia hidrográfica do rio Arunca.

1996/97	53.0	101.4	240.3	134.3	5.0	0.0	23.5	113.5	77.6	19.6	33.2	33.0	834.4
1997/98	152.4	457.7	174.2	99.5	40.7	32.5	181.4	111.9	19.6	0.0	0.0	103.2	1373.1
1998/99	22.9	51.7	81.4	76.0	16.4	99.1	98.8	34.9	13.2	0.0	28.5	144.9	667.8
1999/00	220.2	5.9	152.9	4.0	0.0	69.7	272.4	76.6	0.0	17.2	0.0	15.7	834.6
2000/01	106.8	176.0	404.4	393.9	124.0	206.7	38.0	57.7	0.0	60.0	0.0	0.0	1567.5
2001/02	196.7	0.0	0.0	115.0	82.3	99.4	39.9	36.5	5.0	0.0	0.0	111.4	686.2
2002/03	124.8	272.1	175.8	205.8	121.0	122.5	73.8	0.0	20.0	9.5	18.2	11.0	1154.5
2003/04	183.4	91.3	77.2	66.3	54.4	30.6	38.5	57.5	2.0	1.4	44.3	26.8	673.7
2004/05	140.1	19.0	52.0	7.0	21.2	34.7	28.8	22.6	2.9	5.4	10.6	24.8	369.1
2005/06	214.3	123.9	112.3	63.0	58.3	219.9	125.1	2.4	45.2	3.6	51.1	144.6	1163.7
Média	121.8	121.8	137.5	111.7	88.0	69.3	87.1	64.7	26.2	8.9	13.2	46.6	896.9

Source

ANO	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total
1979/80	274.2	59.9	97.5	64.9	63.2	74.2	39.0	68.7	19.1	7.8	11.5	19.0	799.0
1980/81	64.9	90.3	23.4	2.8	47.0	80.5	75.6	76.3	9.0	4.0	0.2	62.1	536.1
1981/82	122.6	11.8	386.5	83.2	108.0	16.5	37.0	47.5	8.0	15.0	13.0	67.5	916.6
1982/83	65.5	87.5	94.4	3.0	76.7	5.7	110.0	147.7	30.4	12.5	17.0	0.8	651.2
1983/84	45.9	142.4	191.3	124.6	19.9	110.0	99.4	129.7	45.1	4.0	13.0	21.4	946.7
1984/85	72.6	163.7	25.0	97.0	140.0	115.7	124.2	50.6	22.5	1.5	0.0	20.0	832.8
1985/86	20.0	254.3	245.1	257.8	176.7	63.6	91.3	10.5	15.5	0.0	12.0	38.3	1185.1
1986/87	41.0	123.3	80.3	118.6	144.4	65.9	41.0	0.0	3.0	0.0	14.1	84.6	716.2
1987/88	117.6	50.3	97.5	169.5	65.7	1.6	101.2	95.4	111.9	42.0	0.0	0.0	852.7
1988/89	95.4	63.9	0.0	24.7	115.6	4.1	115.3	13.1	0.0	0.0	1.5	28.7	462.3
1989/90	73.7	146.2	234.2	113.5	35.2	15.0	110.8	14.0	3.4	5.0	11.5	30.8	793.3
1990/91	250.1	122.8	86.8	58.9	149.5	191.8	28.3	0.0	18.8	2.9	13.2	38.0	961.1
1991/92	100.0	79.5	30.9	70.6	28.3	0.0	42.6	38.2	22.1	4.0	36.7	47.2	500.1
1992/93	104.0	35.3	29.0	34.6	42.0	49.3	126.7	121.7	22.2	0.0	8.5	160.0	733.3
1993/94	206.7	90.5	80.7	94.3	98.7	14.7	38.2	124.0	1.3	43.0	13.5	22.5	828.1
1994/95	117.7	121.4	47.1	102.7	136.5	39.1	25.6	20.2	4.4	1.4	0	42.4	658.5
1995/96	44.2	149.2	270	399.4	182.3	88.7	56	144.5	0	5.6	3.6	34.3	1377.8
1996/97	51.8	92	180.4	133.8	12.8	0.6	46.8	107.1	72.9	24	37.3	7.7	767.2
1997/98	107	422	168.6	88	37.1	29.4	158.1	86.3	49.1	2.8	0	34.6	1183.0
1998/99	52.5	51.9	54.5	71.1	37.1	96.4	52.3	68.4	1.4	2.7	34.4	114.1	636.8
1999/00	190	8	101.7	12.2	15.5	39.6	222.2	110.1	2.9	14.6	15	36.1	767.9
2000/01	100.6	203.2	350.4	366.3	129.7	228.7	29.7	92.7	2.4	52.3	14.1	18.5	1588.6
2001/02	148.7	8.9	3.4	53.8	32.7	80.5	32.6	28.6	3.4	1.1	0.7	75.6	470.0
2002/03	121.8	169.5	118.9	141.3	94.8	80.9	67.9	6.5	28.2	6.2	22.3	12.6	870.9
2003/04	242.1	119.6	93.5	61.6	59.1	35.9	42.5	49.6	3.9	4.5	49.4	27.1	788.8
2004/05	25.5	6.7	56.1	11.7	22.6	66.7	45.1	47.2	3.1	7.5	3.1	16.4	311.7
2005/06	97.8	82.3	82.1	45.3	78.4	94.9	57.2	13.8	34.9	2.7	33.2	80.8	703.4
Média	109.4	109.5	119.6	103.9	79.6	62.6	74.7	63.4	20.0	9.9	14.0	42.3	808.9

Anexo B – Questionário aplicado no método de reconstituição hidrogeomorfológica.

1. Características do ponto de observação

1.1. Identificação do local

- 1.1.1. Nº _____ 1.1.2. Localização - _____
1.1.3. Carta Militar nº _____ 1.1.4. Ponto GPS nº. _____
1.1.5. Coordenadas M _____ P _____ Cota _____
1.1.6. Concelho - _____
1.1.7. Freguesia - _____
1.1.8 Descrição do local - _____

1.1.9. Linha de água associada - _____

1.2. Enquadramento da linha de água

1.2.1. A linha de água está:

em estado natural - limitada lateralmente - confinada em manilhas -

1.2.2. Tipo de linha de água é: permanente - sazonal -

1.2.3. A área envolvente à linha de água é:

Área rural - Área Urbana – Área Peri-urbana – Área Industrial -

1.2.4. Na área há registos de áreas afectadas por cheias e inundações?

Sim - (Siga para 2.) Não -

1.2.5. Na área há outros registos de problemas de escoamento superficial?

Sim - (Siga para 3.) Não - (Terminou o questionário)

2. Zonas com registo histórico de cheias e inundações

2.1. Dinâmica hídrica

- a) Cheia com caudais elevados -
b) Cheia rápida ou enxurrada -
c) Cheia com arrastamento de pedras, lama e troncos -
d) Transbordo do canal com inundação dos campos -
e) Terrenos alagados ou alagadiços, ou com nível freático elevado -
f) Outra - Qual? _____

2.1.1. A inundação teve relação directa com o transbordo de uma linha de água?

Sim - Não -

2.1.2. Se sim, qual a linha de água? _____

2.1.3. Ocorreram alteração no estado e traçado da linha de água?

Sim - Não -

2.1.4. Se sim, quando? _____

2.1.5. A alteração do estado da linha de água afectou o regime de transbordo?

Sim - Não -

2.1.6. Se a inundação não teve relação directa com nenhuma linha de água, resultou de:

2.2. Características epigráficas das cheias/inundações (confirmar que está respondida a questão 1.2.3.).

2.2.1. Há registos epigráficos das cheias/inundações?

Sim - Não - Data _____ Altura (m) _____

2.2.2. Altura máxima que a água atinge?

< 30 cm	1m – 3 m
30 – 100 cm	> 3 m
Ns/Nr	Valor _____

2.2.3. Altura média da coluna de água na área imersa?

< 15 cm	100 – 200 cm	
15 – 30 cm	> 200	Valor _____
30 – 100 cm	Ns/Nr	

2.2.4. Extensão da área imersa?

< 100 m ² (10 m x 10 m)	2500 – 10000 m ² (100 m x 100 m)
100 – 1000 m ² (aprox. 31 m x 31 m)	> 10000 m ² (100 m x 100 m)
1000 – 2500 m ² (50 m x 50 m)	Valor _____
	Ns/Nr

2.2.5. Há continuidade física da área imersa? Sim - Não -

2.2.6. Tempo médio de permanência em imersão?

< 1 hora	2 a 3 dias
1 a 6 horas	3 a 7 dias
6 a 24 horas	Mais de 1 semana
	Ns/Nr

2.2.7. Período de retorno médio estimado pela população. As cheias/inundações ocorrem:

Sempre que chove muito
Todos os anos: uma vez por ano
várias vezes por ano
Quase todos os anos
Nos anos em que chove muito
Nos anos excepcionais (máximas 3 ocorrências)
Maior registo observado ou resultante de transmissão oral
Ns/Nr

2.3. Causas directas atribuídas pela população para as cheias/inundações:

Muitos dias seguidos de chuva
Chuva muito intensa (tipo tromba-de-água)
Invernos muito chuvosos
Caudal elevado das nascentes
Ns/Nr

2.4. Causas indirectas atribuídas pela população para as cheias/inundações:

Falta de limpeza da linha de água
Falta de conservação do leito e das estruturas associadas
Construções/edifícios no leito da linha de água dificultando o escoamento:
Tipo de obra: Estrada Edifício Outro: _____
Abandono dos terrenos agrícolas
Incêndios florestais
Outras causas
Quais? _____

Ns/Nr

3. Evidências locais para as dificuldades de escoamento superficial:

- Estrangulamento da secção de vazão por aterramento
- Alteração topográfica com alteração das cotas naturais
- Estrangulamento da secção de vazão por elemento hidráulico
- Impermeabilização das áreas circundantes
- Construção de edifícios com pisos negativos
- Falta de limpeza das linhas de água
- Deficiências na drenagem pluvial
- Passagem inferior
- Confluência de linhas de água
- Alteração topográfica provocada por deslizamentos
- Outras causas
- Quais? _____

Ns/Nr

4. Elementos expostos a cheias/inundações ou a deficiente drenagem superficial

- Habitação isolada e recheio Idade: _____
- Habitações várias e respectivo recheio Nº _____
- Construções de apoio agrícola Idade: _____
- Garagens e arrumos Idade: _____
- Lojas e estabelecimentos comerciais Idade: _____
- Espaços industriais Idade: _____
- Estações de captação ou elevação de água Idade: _____
- Estações de tratamento de água Idade: _____
- Outros armazéns e espaços comuns Idade: _____
- Pisos negativos ou subterrâneos Idade: _____
- Bombas de gasolina Idade: _____
- Cemitérios Idade: _____
- Aterros ou antigas lixeiras Idade: _____
- Equipamentos escolares Idade: _____
- Zonas públicas de lazer Idade: _____
- Zonas agrícolas cultivadas
- Zonas agrícolas abandonadas
- Zonas florestais
- Vias de comunicação
- Caminhos não asfaltados Idade: _____
- Caminhos asfaltados Idade: _____
- Arruamentos urbanos Idade: _____
- Estradas Idade: _____
- Outros equipamentos Idade: _____

Quais? _____

Data _____

Recolhido por _____

Anexo C – Coeficiente de rugosidade de Manning em condições normais (n).

Tipo de Revestimento	Valor n
Culturas anuais de regadio	0,04
Leito menor em terra natural	0,03
Pinheiro (coberto >50%)	0,06
Eucalipto e pinheiro (coberto >50%)	0,06
Culturas anuais de sequeiro	0,04
Vinha	0,05
Olival	0,04
Olival e culturas anuais de sequeiro	0,04
Eucalipto (coberto >50%)	0,06
Tecido urbano descontínuo	0,05
Pinheiro e folhosas (coberto >50%)	0,06
Vinha e culturas anuais de sequeiro	0,05
Tecido urbano contínuo	0,06
Arrozais	0,03
Vinha e culturas anuais de regadio	0,05
Olival e culturas anuais de regadio	0,04
Olival e mistos de pomares	0,04
Leito em muro de pedra e gabiões	0,02