

5. RECURSOS HÍDRICOS

5.1. Introdução

Qualquer política de gestão de recursos hídricos deve assentar no conhecimento da distribuição espacial e temporal do recurso água. A descrição quantitativa deste recurso é essencial para responder a questões sobre a quantidade de água disponível e qual o seu padrão de distribuição espacial e temporal. Só com base nessa informação é que é possível identificar as regiões onde a escassez de água é um fenómeno crónico, caracterizar as manifestações dessas situações e conceber os meios para a sua solução. Por outro lado, as questões relativas à qualidade da água não podem ficar dissociadas do aspecto da quantidade, pois só a integração destas duas valências permite responder a questões associadas às variações de concentrações de substâncias e traduzem a segurança em relação à potabilidade e compatibilidade com os usos.

Este tema encontra-se dividido em 5 grandes áreas. Na área 5.2 caracterizam-se as disponibilidades hídricas do continente e, em particular os recursos hídricos de superfície. Os recursos hídricos subterrâneos são analisados na área 5.3 e na área 5.4 apresenta-se o balanço disponibilidades versus necessidades e identificam-se as situações de sobre-exploração de aquíferos. A área 5.5 analisa as situações hidrológicas extremas. Finalmente a área 5.6 aborda a questão das alterações climáticas.

A área dos recursos hídricos de superfície caracteriza as principais variáveis meteorológicas que condicionam o escoamento, fornecendo uma descrição dos contrastes anuais e sazonais da precipitação e evapotranspiração potencial. No ponto 5.2.2.3. é caracterizada a variabilidade anual e sazonal do regime de escoamento superficial em regime natural tendo por base um modelo matemático. No ponto 5.2.2.4. analisam-se as séries de recarga obtidas através do modelo e justifica-se porque é que não podem ser utilizadas na caracterização da recarga de aquíferos. No último ponto são abordados os problemas identificados ao longo do processo de execução da avaliação dos recursos hídricos superficiais.

A área dos recursos hídricos subterrâneos tem como objectivo caracterizar a hidrodinâmica dos sistemas aquíferos aquíferos, avaliar as disponibilidades hídricas subterrâneas e analisar as situações de sobre-exploração a que os aquíferos estão sujeitos.

No ponto 5.3.1.1 são caracterizados os principais mecanismos que regem o funcionamento hidráulico dos sistemas, com especial realce para os fenómenos de drenância quer natural, quer induzida. Neste mesmo capítulo é realçada a importância que a heterogeneidade tem na análise da variabilidade espacial das produtividades sendo esta caracterizada para cada aquífero com base em valores de transmissividade e de caudal específico.

No ponto 5.3.1.2 são avaliadas por sistema aquífero ou formação hidrogeológica indiferenciada as taxas de recarga médias.

No ponto 5.3.1.3 é apresentada simulação por modelo numérico, do escoamento da água subterrânea num sistema aquífero com o objectivo de mostrar a importância que este tipo de ferramenta possui na análise detalhada do funcionamento hidráulico ou na previsão de cenários de exploração desse sistema.

No ponto 5.3.1.4 são avaliadas para Portugal as disponibilidades hídricas subterrâneas.

Finalmente no ponto 5.3.2 são referidos os problemas identificados ao longo do processo de avaliação dos recursos hídricos subterrâneos.

Na área 5.4 apresenta o balanço entre disponibilidades e necessidades e identifica as situações de sobre-exploração de aquíferos.

A área 5.5 analisa as situações hidrológicas extremas, a área 5.6 aborda o tema das alterações climáticas e a área 5.7 sintetiza os conhecimentos em termos da sedimentologia e erosão.



5.2. Recursos Hídricos de Superfície

5.2.1. Enquadramento e Metodologia

A avaliação dos recursos hídricos superficiais, apresentada nesta área, tem como principal objectivo estimar as séries de valores de escoamento em secções da rede hidrográfica que foram seleccionados pelo seu interesse para a gestão dos recursos hídricos. Essas séries de valores são necessárias para a quantificação da capacidade de satisfação das necessidades de água actuais, para a análise de qualidade da água e para a avaliação do estado de preservação de ecossistemas aquáticos ou ribeirinhos.

Nesta análise é fundamental proceder a uma reconstituição do regime natural do escoamento por forma a identificar a situação pristina, não alterada pelas actividades antropogénicas, que constitui o ponto de partida para a avaliação do regime de escoamento na situação actual e para vários cenários de evolução das necessidades de água.

Para estimar as séries de escoamento em regime natural é necessário extrair das séries de observações de escoamento os efeitos da utilização da água. Com efeito, a utilização do recurso água faz com que os valores observados de escoamento correspondam a um regime transitório não estacionário que não podem ser utilizados para caracterizar a situação pristina. A melhor metodologia para estimar as séries de escoamento em regime natural, e simultaneamente completar as observações disponíveis, é a modelação matemática. O recurso à modelação tem a grande vantagem de extrair o máximo de informação dos dados disponíveis, permitindo estimar o escoamento em locais onde não existem registos hidrométricos ou existem lacunas nas séries de medições.

Essa foi a opção tomada, tendo-se recorrido a um modelo hidrológico que calcula as séries de escoamento mensal em regime natural a partir de séries de precipitação e de evapotranspiração potencial mensais. Para além das séries de escoamento, o modelo apresenta ainda estimativas das séries de evapotranspiração real e de recarga dos recursos subterrâneos.

As séries de escoamento em regime natural correspondem aos recursos superficiais potencialmente utilizáveis numa bacia. A utilização da água tem, no entanto de estar associada a uma certa garantia de disponibilidade, sem a qual o valor económico dessa utilização se torna diminuto. A elevada variabilidade do escoamento em Portugal Continental implica que os valores de escoamento associados a níveis de garantia elevados são bastante inferiores aos valores médios da séries em regime natural, pelo que os recursos realmente disponíveis são francamente inferiores aos valores médios dessas séries. A variabilidades do escoamento e a falta de sincronização entre as disponibilidades e as necessidades faz com que seja necessário recorrer a albufeiras para regularizar as aflúncias naturais e adequar a sua variabilidade à evolução das necessidades abastecidas por origens superficiais. A avaliação do regime de escoamento resultante da operação das albufeiras e a utilização da água para vários usos exige a realização de um balanço hídrico que considere a capacidade de armazenamento existente na bacia e compare o escoamento com as necessidades de água, de modo a estimar os volume de água efectivamente consumidos e a percentagem da água utilizada que volta aos cursos de água sob a forma de retorno. Esse exercício foi parcialmente realizado no capítulo 5.4

Os resultados apresentados neste Plano têm por base os resultados da 1ª Fase dos PBH. No âmbito da realização do PNA tentou-se dar consistência e homogeneidade aos resultados obtidos pelos vários PBH completando sempre que necessário e possível as conclusões aí apresentadas. A compatibilização e completamento dos resultados exigiu a avaliação das opções tomadas na realização de cada um dos PBH, de modo a verificar os seus impactes na homogeneidade do resultado final. Em alguns casos foi necessário refazer parte do trabalho de modo a completar análises ou obter resultados intermédios.

As opções tomadas para ultrapassar as dificuldades encontradas foram condicionadas pelo tempo disponível, pelo que alguns dos valores deste estudo podem merecer reservas ou comentários. Por essa razão procurou-se explicitar com clareza a metodologia utilizada e as opções tomadas de modo a permitir ao leitor uma análise crítica deste trabalho.

A avaliação dos recursos hídricos superficiais não termina com este trabalho. O Capítulo 5.2.4. aponta os passos que é necessário realizar para o aprofundamento de um conjunto de questões que ainda se encontram por responder.

5.2.2. Disponibilidades em Regime Natural

5.2.2.1. Regime de Precipitações

A caracterização do regime de precipitação recorreu aos valores medidos nos postos da rede de monitorização, depois de avaliada a homogeneidade e consistência dos seus registos. As séries de dados observados foram completadas de modo a obter o registo completo no período entre os anos hidrológicos de 1941/42 a 1990/91.

Para colmatar a ausência de informação pluviométrica em zonas de altitude foram definidos postos virtuais, localizados principalmente em cumeadas de encostas com desníveis de altitude superiores a 300-400 m e sem postos de observação. Os valores anuais nesses postos virtuais foram obtidos por extrapolação dos valores da precipitação anual observados em postos da região próxima do posto virtual, em que a altitude foi a variável independente. Os valores mensais foram posteriormente calculados por desagregação da série anual.

Dos 775 postos utilizados nos PBH para a caracterização espacial e temporal da precipitação 211 são postos virtuais, estando estes últimos localizados na sua grande maioria a norte do rio Tejo, onde o relevo é mais irregular (Figura 5.2.1).

A precipitação anual média em Portugal Continental é cerca de 960 mm, o que corresponde um volume anual médio cerca de 85,7 km³. De um modo geral, verifica-se que as regiões situadas a norte do rio Tejo têm precipitações anuais médias superiores à média do País, enquanto que as regiões a sul do referido rio apresentam valores inferiores à média (Figura 1.2.1.. e Figura 5.2.2.). As características mais marcantes da distribuição espacial da precipitação foram apresentadas no ponto 1.2.1.1..

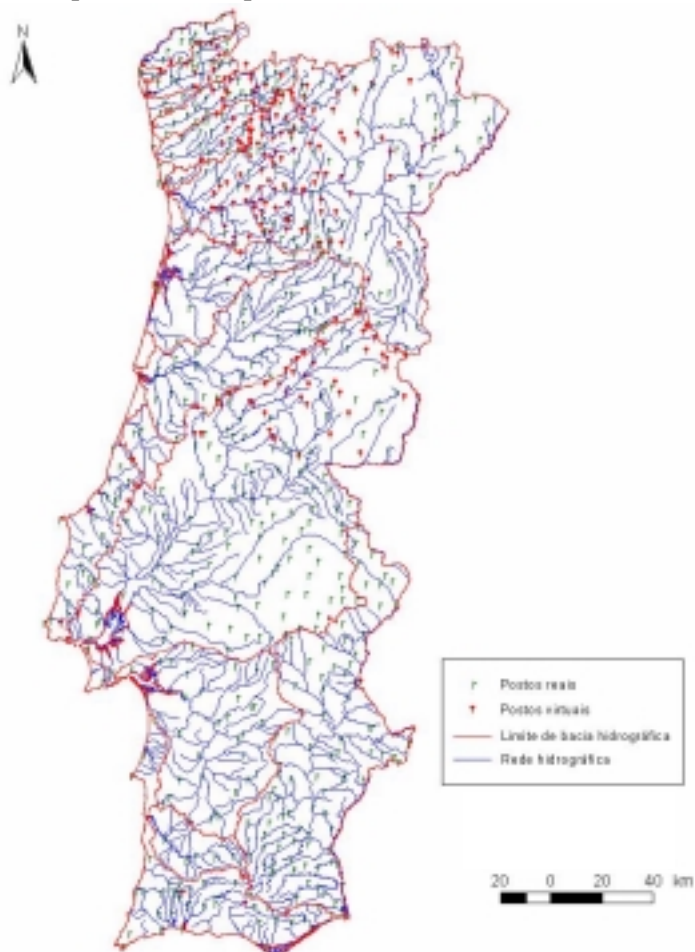


Figura 5.2.1 - Identificação dos Postos de Precipitação



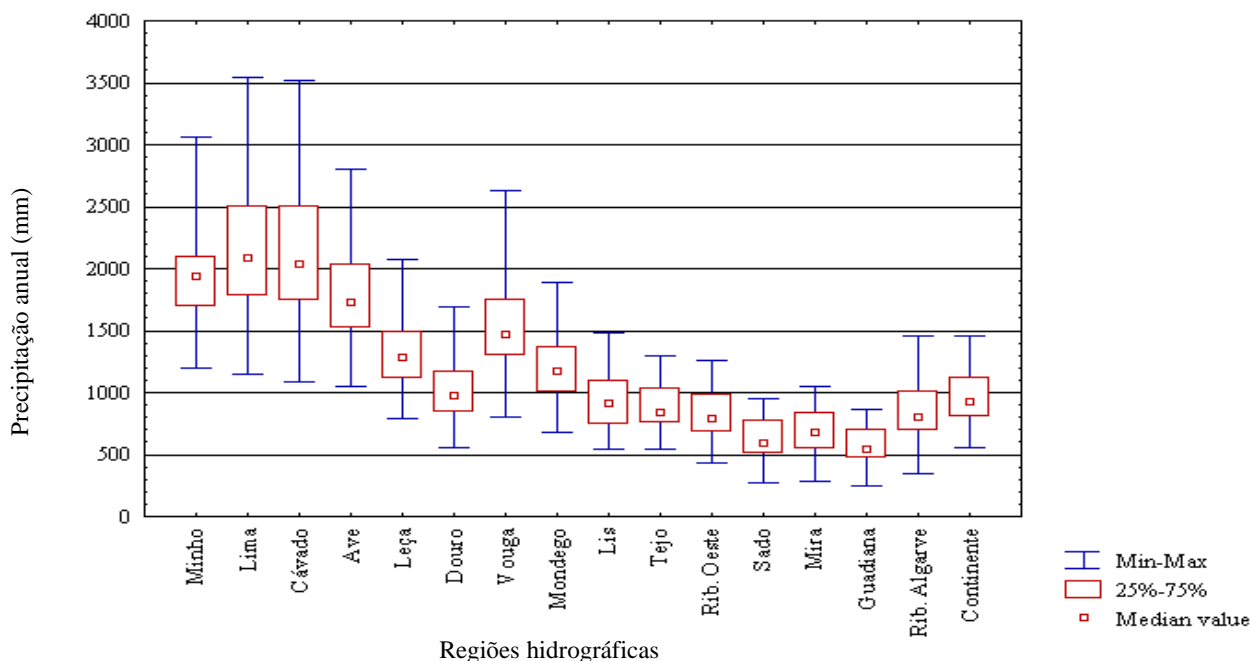


Figura 5.2.2 - Precipitação Anual Média por Região Hidrográfica

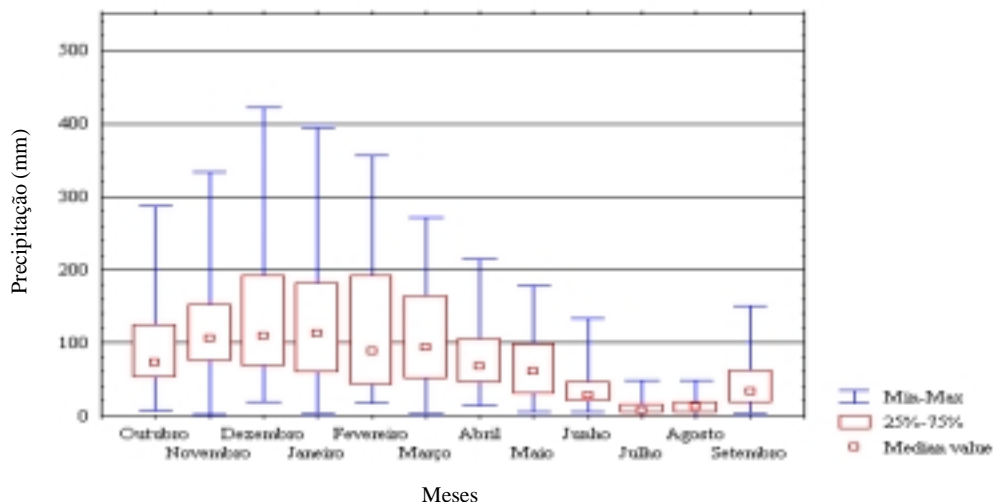


Figura 5.2.3 - Gráfico Box-Whiskers Para a Precipitação Média Mensal em Portugal Continental

Os valores elevados de precipitação obtidos para a bacia do rio Lima (que pontualmente chegam a ultrapassar os 4000 mm) chamam à atenção para a influência que a utilização de postos virtuais tem na estimativa das superfícies de precipitação. A utilização de postos virtuais para colmatar as falhas de monitorização em regiões de maior altitude é uma medida que visa obter uma melhor descrição da variabilidade espacial e altimétrica da precipitação. É natural que as estimativas obtidas com inclusão de postos virtuais sejam mais elevadas que os valores estimados sem esses postos. No entanto, a diferença entre as estimativas obtidas, com e sem postos virtuais, é em certos locais da região noroeste muito significativa, pelo que se justificam algumas reservas aos valores apresentados.

À irregularidade da distribuição espacial junta-se também uma elevada irregularidade sazonal. De acordo com a Figura 5.2.3 e Quadro 5.2.1. os máximos de precipitação observam-se entre os meses de Dezembro e Janeiro, concentrando-se no mês de Fevereiro a maior dispersão de valores. Por outro lado, os valores

mínimos verificam-se entre os meses de Julho e Agosto e cerca de 70% da precipitação concentra-se durante o semestre húmido. Esta sazonalidade tende a ser mais acentuada a sul da bacia do rio Tejo onde cerca de 80% da precipitação se concentra nos meses do semestre húmido (Outubro a Março), contra os 73% nas bacias hidrográficas situados a norte dessa bacia.

Quadro 5.2.1 - Distribuição da Precipitação Mensal Média por Região Hidrográfica

Região Hidrográfica	Precipitação (mm)												
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Ano
Minho	185	232	275	265	248	206	145	141	77	31	46	103	1954
Lima	205	257	316	318	278	241	153	152	84	34	50	120	2208
Cávado	200	255	309	306	277	244	156	151	88	33	46	107	2172
Ave	170	205	258	252	227	198	137	134	81	36	44	88	1830
Leça	134	166	192	189	159	145	101	95	51	17	24	61	1334
Douro	96	122	140	131	129	108	82	76	47	17	17	51	1016
Vouga	142	186	220	216	204	170	119	109	58	18	25	66	1533
Mondego	131	153	153	145	128	99	86	56	21	16	43	93	1124
Lis	97	122	141	136	124	109	79	67	31	7	11	40	964
Tejo	88	116	125	120	112	101	74	61	31	8	8	40	884
Rib. Oeste	84	114	119	113	101	90	71	55	26	5	8	35	821
Sado	64	82	93	85	81	75	56	38	17	4	3	24	622
Mira	73	98	108	94	88	85	59	40	15	2	3	24	689
Guadiana	60	75	83	73	70	70	53	36	19	3	3	23	568
Rib. Algarve	85	122	138	120	111	102	70	44	17	2	4	25	840
Continente	94	121	136	129	122	108	79	67	37	11	13	44	962

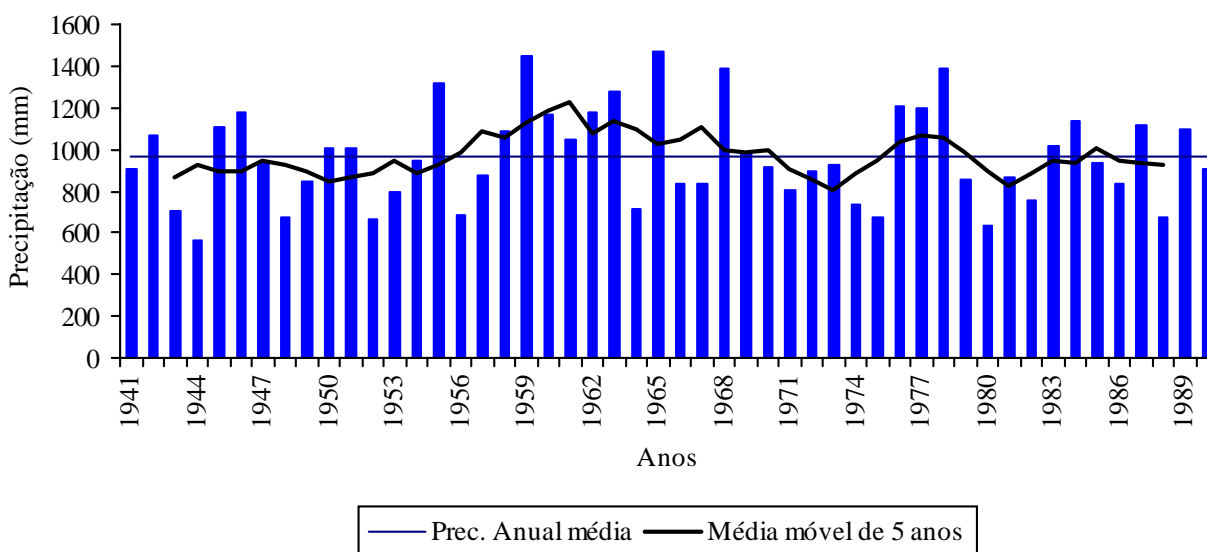


Figura 5.2.4 - Série de Precipitação Anual Média em Portugal Continental no Período 1941/42 a 1990/91

A irregularidade temporal da precipitação é outro dos traços marcantes do clima em Portugal Continental. Verifica-se que a precipitação anual média para o período dos anos hidrológicos de 1941/42 a 1990/91 variou entre os 564 mm (1944/45) e os 1466 mm (1965/66). A década de 40 foi particularmente seca, contrastando com a década de 60 que correspondeu a um período mais húmido (Figura 5.2.4).

Apesar da precipitação média no Continente ser de 960 mm, cerca de 25% dos anos tem precipitação abaixo dos 800 mm ou acima dos 1100 mm. A variabilidade da precipitação aumenta de Norte para Sul como mostra a razão G10/G90 apresentada no Quadro 5.2.2, em que G90 e G10 são os valores de precipitação correspondentes aos percentis de 90 e 10%, respectivamente.

Quadro 5.2.2 - Quantis da Precipitação Anual Média por Região Hidrográfica



Região Hidrográfica	Precipitação (mm)						G90/G10
	Garantia						
	5%	10%	20%	50%	80%	90%	
Minho	2825	2392	2048	1695	1496	1311	1.9
Lima	3185	2931	2300	1851	1727	1577	1.8
Cávado	2963	2642	2029	1677	1532	1416	1.9
Ave	2602	2209	1758	1467	1323	1264	2.0
Leça	1946	1603	1298	1045	880	865	2.2
Douro	1476	1261	998	783	674	641	2.2
Vouga	2231	1889	1475	1203	922	889	2.4
Mondego	1597	1302	1105	874	731	703	2.2
Lis	1320	1214	915	723	674	630	2.0
Tejo	1077	991	788	647	564	531	1.9
Rib. Oeste	1181	1034	822	650	607	569	1.9
Sado	831	786	589	483	406	341	2.0
Mira	926	849	663	518	419	354	2.2
Guadiana	767	717	541	419	383	304	2.0
Rib. Algarve	1190	1053	815	651	497	461	2.4
Continente	1368	1181	925	729	674	651	2.0

5.2.2.2. Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial (EVP) não é medida de forma sistemática na rede climatológica nacional, pelo que é necessário estimá-la a partir de outras variáveis climáticas. Entre as várias metodologias disponíveis, o método de Penman-Monteith é aquele que tem vindo a fornecer resultados mais precisos. Este método estima a evapotranspiração potencial em função de valores observados de temperatura, insolação, humidade do ar e velocidade do vento.

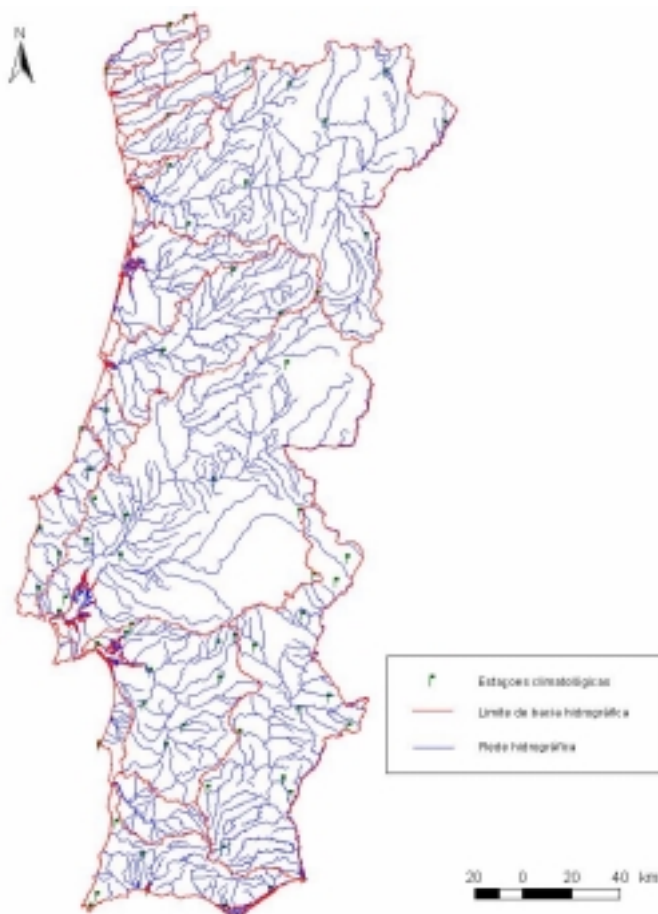


Figura 5.2.5 - Estações Climatológicas

A caracterização do regime de evapotranspiração potencial aqui apresentada foi determinada de acordo com o valor mensal de temperatura média diária, insolação, velocidade do vento e humidade registados em 66 estações climatológicas (Figura 5.2.5).

As séries de observações foram completadas e avaliadas pelo recurso a técnicas estatísticas de modo a obter registos completos no período entre os anos hidrológicos de 1941/42 a 1990/91.

As características gerais espaciais desta variável climática foi apresentada no ponto 1.2.1.3. Observando a Figura 5.2.6. destacam-se de um modo geral três grandes regiões com configuração diferente da observada na precipitação. Um primeira região corresponde às áreas situadas a sul da bacia hidrográfica do rio Sorraia e ribeiras de costa entre Setúbal e Óbidos com valores da EVP superiores a 1100 mm. A segunda região corresponde às áreas litorais da bacia dos rios Sado e Mira com valores de EVP semelhantes ao da terceira região, que corresponde à área a norte da bacia hidrográfica do rio Tejo, onde o valor anual médio da EVP é inferior a 1000 mm.

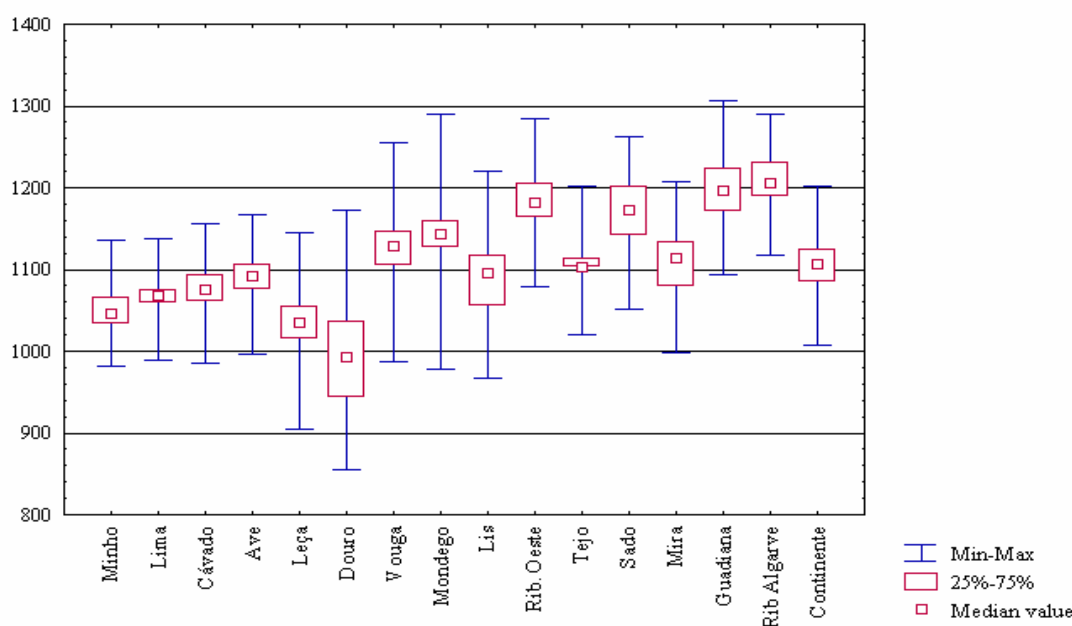


Figura 5.2.6 - Gráfico Box-Whiskers Para a Evapotranspiração Potencial por Região Hidrográfica

Quadro 5.2.3 - Distribuição da Evapotranspiração Potencial Mensal Média por Região Hidrográfica

Região hidrográfica	Evapotranspiração potencial (mm)												Ano
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
Minho	70	40	29	30	40	65	92	129	150	172	159	105	1081
Lima	68	40	29	30	40	66	93	124	144	164	150	102	1050
Cávado	62	35	25	25	35	61	86	113	135	156	141	97	971
Ave	62	36	26	26	35	62	87	111	131	149	134	95	954
Leça	62	37	29	29	37	62	86	107	125	140	127	91	932
Douro	64	35	24	24	34	62	88	117	144	172	156	105	1025
Vouga	71	42	31	31	44	66	89	116	139	162	150	106	1047
Mondego	75	46	34	33	45	63	84	111	135	162	154	110	1052
Lis	109	80	58	48	95	49	65	83	115	144	153	130	1129
Tejo	80	48	34	33	43	65	88	120	146	181	167	119	1124
Rib Oeste	104	73	53	45	52	54	71	94	125	163	161	131	1126
Sado	74	40	29	31	42	71	98	133	158	184	168	117	1145
Mira	76	44	33	35	44	72	97	129	151	177	159	117	1134
Guadiana	80	43	29	32	42	74	103	142	174	206	187	130	1242
Rib Algarve	85	51	40	40	49	79	104	137	158	186	174	126	1229
Continente	72	40	29	30	40	69	94	126	151	177	162	112	1102



Tal como a precipitação, a evapotranspiração potencial é também caracterizada por uma acentuada variabilidade sazonal. Verifica-se que o valor da evapotranspiração potencial é mínimo nos meses de Dezembro a Janeiro e é máximo entre os meses de Julho a Agosto (Quadro 5.2.3).

De acordo com a Figura 5.2.7., verifica-se que a variabilidade interanual da evapotranspiração potencial é menor que a da precipitação. A razão G10 e G90 ronda 1.1, valor francamente inferior ao valor obtido para a precipitação (2.0). No período de referência a década de 40 foi aquela que apresentou um maior valor de evapotranspiração potencial, contrastando com as décadas de 70 e 80 que apresentaram valores sistematicamente inferiores à média.

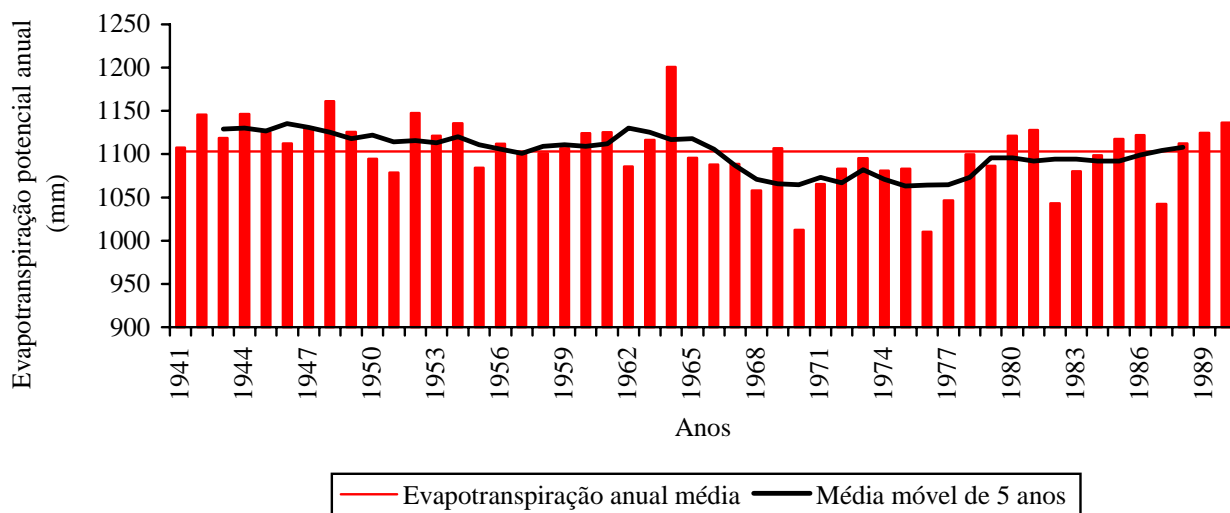


Figura 5.2.7 - Série de Evapotranspiração Potencial Anual Média em Portugal Continental no Período 1941/42 a 1990/91

Quadro 5.2.4 - Quantis da Evapotranspiração Potencial Anual Média por Região Hidrográfica

Região Hidrográfica	Evapotranspiração potencial (mm)						G10/G90
	Garantia						
	5%	10%	20%	50%	80%	90%	
Minho	1092	1073	1046	1028	1009	1004	1.08
Lima	1099	1079	1069	1057	1047	1039	1.05
Cávado	1124	1102	1075	1055	1031	1010	1.09
Ave	1132	1123	1093	1065	1041	1032	1.09
Leça	1073	1059	1035	1002	970	966	1.11
Douro	1080	1042	993	937	929	914	1.16
Vouga	1190	1159	1129	1095	1065	1052	1.12
Mondego	1206	1185	1144	1103	1083	1063	1.11
Lis	1145	1126	1095	1041	1031	1021	1.11
Tejo	1223	1213	1182	1141	1119	1094	1.09
Rib Oeste	1134	1123	1103	1099	1059	1035	1.07
Sado	1226	1206	1172	1127	1107	1083	1.11
Mira	1169	1140	1114	1063	1045	1032	1.12
Guadiana	1226	1211	1173	1139	1110	1089	1.10
Rib Algarve	1279	1236	1206	1178	1161	1152	1.10
Continente	1138	1122	1102	1078	1054	1036	1.08

5.2.2.3. Regime de Escoamento

O regime de escoamento natural foi caracterizado a partir das séries de escoamento mensal calculadas para 196 secções de avaliação distribuídas pelo território continental seleccionadas entre as mais de 500 secções de

avaliação definidas no âmbito dos trabalhos dos PBH. As áreas das bacias hidrográficas próprias¹ dessas secções de avaliação variam entre os 2 km² (albufeira da Estevinha) e os 2280 km² (albufeira de Cabril). Procedeu-se à agregação dos resultados da simulação determinados para as 500 secções de avaliação dos PBH para estimar séries de escoamento em 196 secções de avaliação de recursos hídricos (Figura 5.2.8). Os critérios de selecção das 196 secções de avaliação foram os seguintes:

- Confluência de linhas de água importantes;
- Existência de albufeiras construídas que constituem reservas estratégicas de água;
- Secções de monitorização previstas no âmbito da Convenção Luso-Espanhola, assinada em Albufeira em Novembro de 1998;
- Locais importantes sobre o ponto de vista da aplicação do Decreto Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos principais usos.

O modelo hidrológico utilizado é designado por modelo de Temez, um modelo conceptual e espacialmente agregado, pelo que apenas necessita de séries de tempo de valores médios sobre toda a bacia hidrográfica a simular. A escala temporal adoptada é o mês.

O modelo de Temez possui 4 parâmetros cujos valores é necessário obter por um processo de calibração e os resultados do modelo são ajustados aos valores observados de escoamento. No conjunto dos 15 PBH procedeu-se à calibração de 119 bacias hidrográficas a partir das quais foi possível estimar os parâmetros do modelo para as secções de avaliação.



Figura 5.2.8 - Localização das Secções de Avaliação dos Recursos Hídricos Superficiais do PNA

(¹) Define-se bacia hidrográfica própria de uma secção de avaliação aquela que contendo outras secções de avaliação a montante exclui a área drenada apenas por essas secções.



O regime de escoamento é fortemente influenciado pela variabilidade espacial e temporal das principais variáveis climáticas, sobretudo da precipitação, que conduz necessariamente a um regime de escoamento com elevada irregularidade, muito característica do sul da Europa. Em termos gerais no território continental, o litoral norte húmido contrasta com o interior sul mais seco, concentrando-se o escoamento nos meses de Inverno a que se seguem longos períodos de caudal mais reduzido. A variabilidade interanual é também muito acentuada.

O escoamento anual médio em Portugal Continental é de 385 mm/ano, equivalente a um volume de 30.7 km³. De acordo com a Figura 5.2.9 verifica-se que os 962 mm/ano de precipitação que ocorrem sobre Portugal continental dividem-se em 577 mm/ano de evapotranspiração real e 385 mm/ano de escoamento.

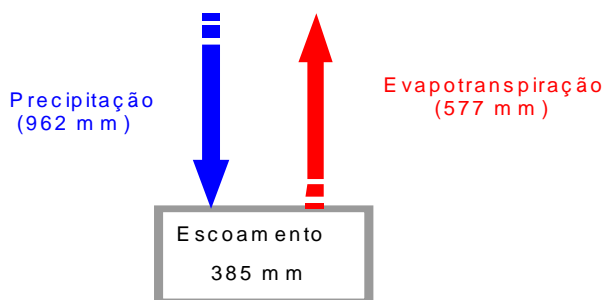


Figura 5.2.9 - Balanço Hidrológico em Portugal Continental

A Figura 5.2.10 mostra a variação média ao longo do ano das várias componentes do balanço hidrológico. É interessante verificar que o máximo da precipitação ocorre em Dezembro e que o máximo do escoamento ocorre em Fevereiro. No início do ano hidrológico o baixo teor de humidade dos solos faz com que as primeiras chuvas do ano contribuam substancialmente para a recarga. Com a saturação dos solos a precipitação tende a provocar um maior escoamento superficial, em detrimento da recarga, dando origem ao desfaseamento de picos observados.

É também possível constatar que a evapotranspiração real tem o seu máximo em Maio, dois meses antes do máximo da evapotranspiração potencial. Apesar das condições climáticas de Julho conduzirem a valores elevados de evapotranspiração potencial, a ausência de água no solo faz com que essa capacidade evaporativa não seja aproveitada.

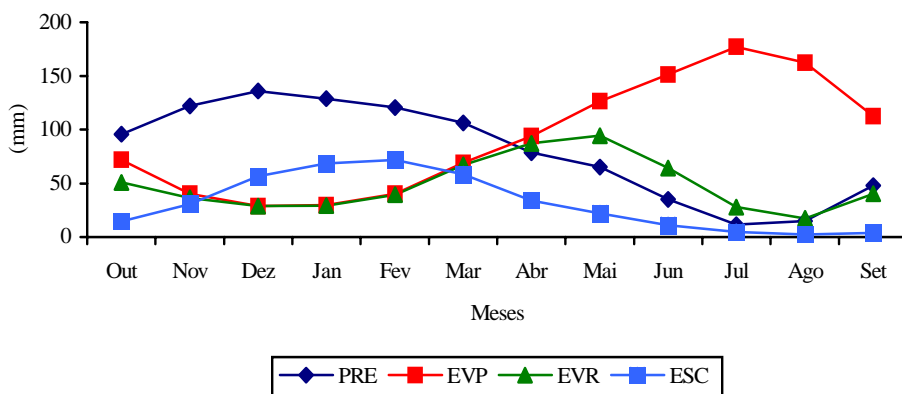


Figura 5.2.10 - Síntese do Balanço Hídrico à Escala Mensal para Portugal Continental

O Quadro 5.2.5 resume os resultados obtidos na modelação matemática dos processos hidrológicos que ocorrem em cada bacia hidrográfica. De um modo geral as bacias hidrográficas que apresentam valores extremos são as bacias hidrográficas do rio Lima com altos valores de precipitação e de escoamento anual médio e a bacia hidrográfica do rio Guadiana com baixos valores de precipitação e de escoamento anual médio. Em consequência do efeito da variabilidade climática, o escoamento segue de um modo geral um comportamento semelhante ao da precipitação, mas com uma variabilidade regional mais acentuada.

Quadro 5.2.5 - Resumo dos Resultados da Simulação



Bacia Hidrográfica	Área agregada (km ²)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração real (mm)	Escoamento (mm)	Escoamento (hm ³)
Mínho	814	1 954	652	1 301	1 059
Lima	1 172	2 208	819	1 390	1 629
Cávado	1 593	2 172	852	1 318	2 099
Ave	1 335	1 830	907	920	1 228
Leça	185	1 334	772	562	104
Douro	18 570	1 016	521	495	9 192
Vouga	2 344	1 532	718	814	1 908
Mondego	6 658	1 181	665	515	3 430
Lis	837	964	654	310	260
Ribeiras do Oeste	1 655	884	639	181	300
Tejo	24 460	821	632	252	6 164
Sado	6 271	622	467	155	972
Mira	1 025	689	496	191	196
Guadiana	11 300	568	401	167	1 887
Ribeiras do Algarve	1 683	840	630	207	348
Continente	79 902	962	577	385	30 779

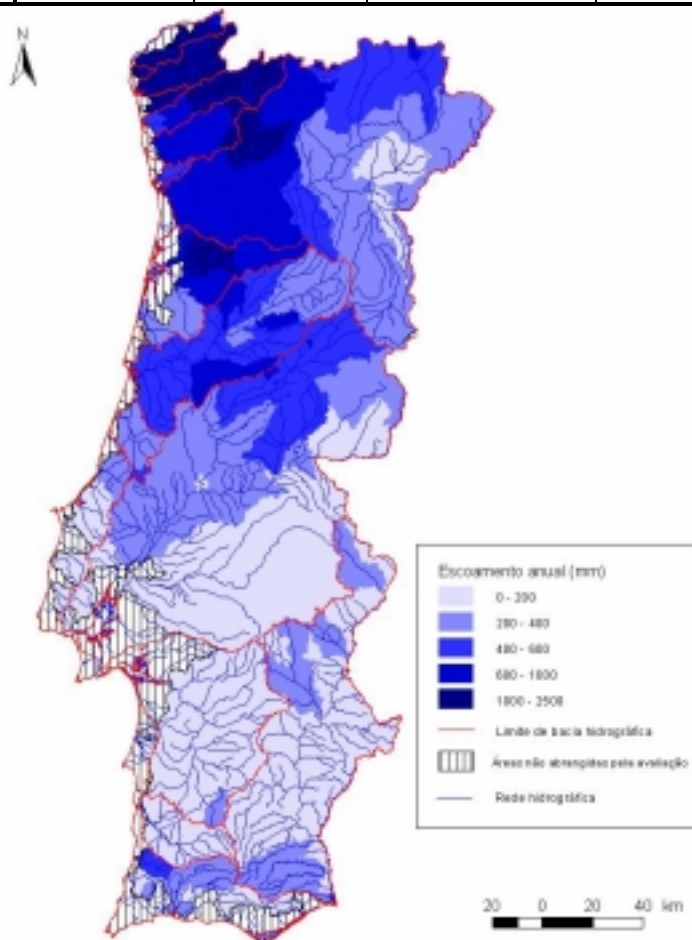


Figura 5.2.11 - Distribuição Espacial do Escoamento Anual Médio em Portugal Continental no Período de 1941/42 a 1990/91⁽²⁾

⁽²⁾ As áreas não abrangidas pela avaliação correspondem a áreas que drenam directamente para estuários ou áreas de pequenas ribeiras de costa, que por falta de registos não é possível a calibração do modelo de cálculo.

Da Figura 5.2.11 destaca-se o contraste dos rios do norte em relação aos rios do sul, apresentando os rios a norte da bacia hidrográfica do rio Tejo disponibilidades anuais médias superiores à média do Continente. Na bacia hidrográfica do rio Tejo é claro o contraste entre a margem norte, com mais disponibilidade de recursos hídricos em regime natural, e a margem sul, mais pobre em recursos hídricos. Também é assinalável a escassez de recursos no interior da bacia hidrográfica do rio Douro.

A bacia hidrográfica que dispõe mais recursos superficiais anuais médios por unidade de área é a bacia hidrográfica do rio Lima, com cerca de 1400 mm, enquanto que a bacia hidrográfica do rio Douro é a que apresenta o maior valor de escoamento na sua foz em termos de volume (Quadro 5.2.6). A bacia hidrográfica do rio Sado, com cerca de 150 mm, é que dispõe menos recursos superficiais anuais médios por unidade de área.

O escoamento total dos rios internacionais tem forte dependência dos escoamentos provenientes de Espanha, o que é também visível no Quadro 5.2.6. Com efeito o escoamento em regime natural dos rios Douro, Tejo e Guadiana nas secções de fronteira é cerca de 68% do seu escoamento na foz. Esta percentagem não engloba os escoamentos afluentes através dos outros dois rios internacionais, o Lima e o Minho, e de um conjunto de afluentes importantes provenientes de Espanha como o Águeda, no Douro, o Erges e o Sever no Tejo, o Chança e o Ardila, no Guadiana. O escoamento médio produzido em Espanha por unidade de área nas bacias hidrográficas internacionais é, no entanto, inferior ao escoamento produzido em território português.

Quadro 5.2.6 - Escoamento Anual Médio por Bacia Hidrográfica

Bacia	Escoamento anual médio (mm)			Escoamento anual médio (km ³)		
	Portugal	Espanha ³	Total	Portugal	Espanha ²	Total
Minho	1301	681	711	1.1	11.05	12.15
Lima	1390	1213	1400	1.5	1.9	3.5
Cávado	1318	-	1318	2.1	-	2.1
Ave	920	-	920	1.2	-	1.2
Leça	562	-	562	0.1	-	0.1
Douro	495	173	289	9.2	13.66	22.86
Vouga	814	-	814	1.9	-	1.9
Mondego	515	-	515	3.4	-	3.4
Lis	310	-	310	0.3	-	0.3
Rib. Oeste	181	-	181	0.3	-	0.3
Tejo	252	195	212	6.2	10.88	17.08
Sado	155	-	155	1.0	-	1.0
Mira	191	-	191	0.3	-	0.3
Guadiana	167	91	110	1.9	5.47	7.37
Rib. Algarve	207	-	207	0.3	-	0.3
Continente	385	223	304	30.7	110.11	140.8

O escoamento em Portugal Continental é caracterizado por uma acentuada sazonalidade, com cerca de 60% do escoamento anual médio a concentrar-se no semestre húmido (Quadro 5.2.7). Este valor é ligeiramente mais baixo que a percentagem da precipitação anual que ocorre no mesmo período, o que pode ser explicado pelo efeito atenuador das descargas dos aquíferos que garantem o escoamento superficial durante os meses de Verão.

A irregularidade temporal da precipitação exerce uma clara influência sobre a evolução temporal do escoamento, exibindo ambas as variáveis um comportamento temporal semelhante. Durante o período de 1941/42 a 1990/91, 25% dos anos têm escoamento anual superior a 550 mm ou inferior a 250 mm (Figura 5.2.12). O ano mais seco ocorreu em 1975/76, com cerca de 77 mm, e o ano mais húmido em 1965/66, com cerca de 882 mm.

(³) De acordo com o “Libro Blanco del Agua en España”



Quadro 5.2.7 - Distribuição Mensal do Escoamento por Bacia Hidrográfica

Região Hidrográfica	Escoamento (mm)												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
Minho	103	160	222	228	210	158	84	66	21	3	8	39	1301
Lima	69	124	200	240	233	197	125	94	50	21	12	26	1390
Cávado	61	112	181	219	221	195	125	94	53	23	12	21	1318
Ave	31	59	113	149	159	145	102	75	45	21	11	10	920
Leça	19	39	71	95	99	91	62	44	24	10	4	4	562
Douro	20	43	76	89	94	73	43	29	14	6	3	4	495
Vouga	31	65	124	151	154	118	67	48	26	14	8	7	814
Mondego	16	36	72	93	99	79	49	33	19	10	5	4	515
Lis	8	17	42	61	69	54	31	17	6	3	1	1	310
Rib. Oeste	10	20	26	28	28	26	19	13	6	2	1	2	181
Tejo	6	14	30	42	49	46	29	19	10	5	2	2	252
Sado	3	9	29	36	39	29	7	2	0	0	0	0	155
Mira	5	14	39	43	43	36	9	3	0	0	0	0	191
Guadiana	6	15	35	36	35	26	8	3	1	0	0	0	167
Rb Algarve	6	16	39	39	41	35	18	8	3	1	0	0	207
Continente	14	30	57	69	73	60	35	23	12	5	3	4	385

A Figura 5.2.13 apresenta a curva de distribuição empírica do escoamento anual em regime natural definido para Portugal Continental.

Verifica-se que embora a variabilidade do escoamento anual nas bacias hidrográficas a norte do rio Tejo seja maior que a das bacias hidrográficas situadas a sul do referido rio (Figura 5.2.14), em termos relativos a irregularidade do escoamento anual aumenta de norte para sul (Quadro 5.2.8). As bacias do Sado, Mira e das ribeiras do Algarve têm os valores de G10/G90 mais elevados, existindo anos em que o escoamento apresenta valores próximos de zero.

Quadro 5.2.8 - Probabilidade Associada ao Escoamento Anual por Bacia Hidrográfica

Região Hidrográfica	Escoamento em regime natural (mm)							G10/G90
	Garantia							
	95%	90%	80%	50%	20%	10%		
Minho	634	779	979	1271	1635	2041	2.6	
Lima	643	758	967	1285	1813	2217	2.9	
Cávado	566	684	899	1188	1799	2149	3.1	
Ave	364	409	541	848	1271	1636	4.0	
Leça	179	202	303	510	841	1093	5.4	
Douro	147	169	273	453	742	851	5.0	
Vouga	253	288	466	750	1203	1435	5.0	
Mondego	116	137	325	519	739	948	6.9	
Lis	41	59	111	271	511	695	11.8	
Tejo	39	42	97	227	400	513	12.2	
Rib. Oeste	39	42	97	222	400	513	12.2	
Sado	1	3	29	131	297	342	114.0	
Mira	0	0	39	174	322	431	-	
Guadiana	49	61	87	172	304	364	6.0	
Rib. Algarve	15	15	62	177	338	428	28.5	
Continente	110	130	230	334	567	685	5.3	



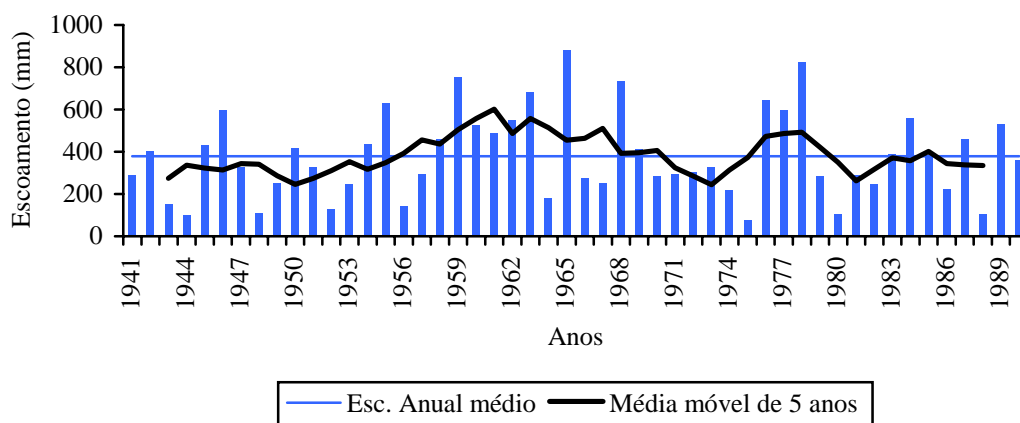


Figura 5.2.12 - Série de Escoamento Anual Médio em Portugal Continental no Período 1941/42 a 1990/91

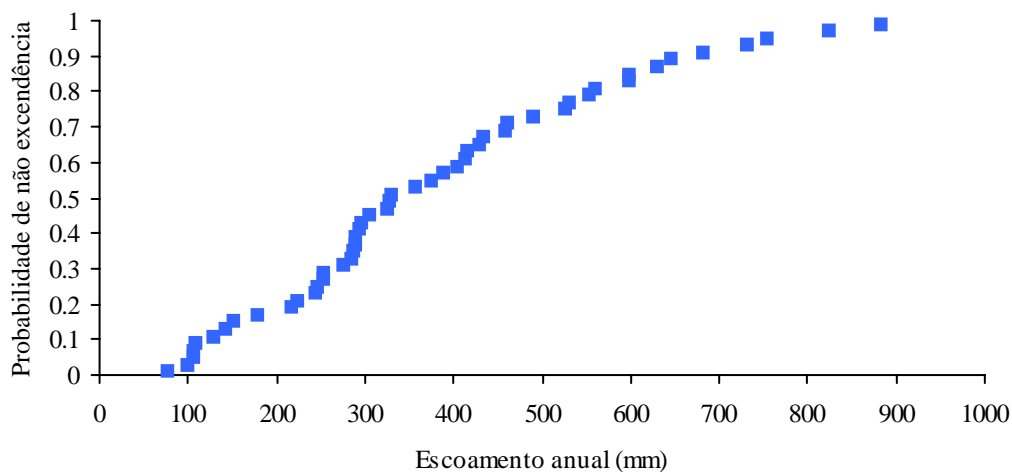


Figura 5.2.13 - Curva Empírica de Escoamento Anual

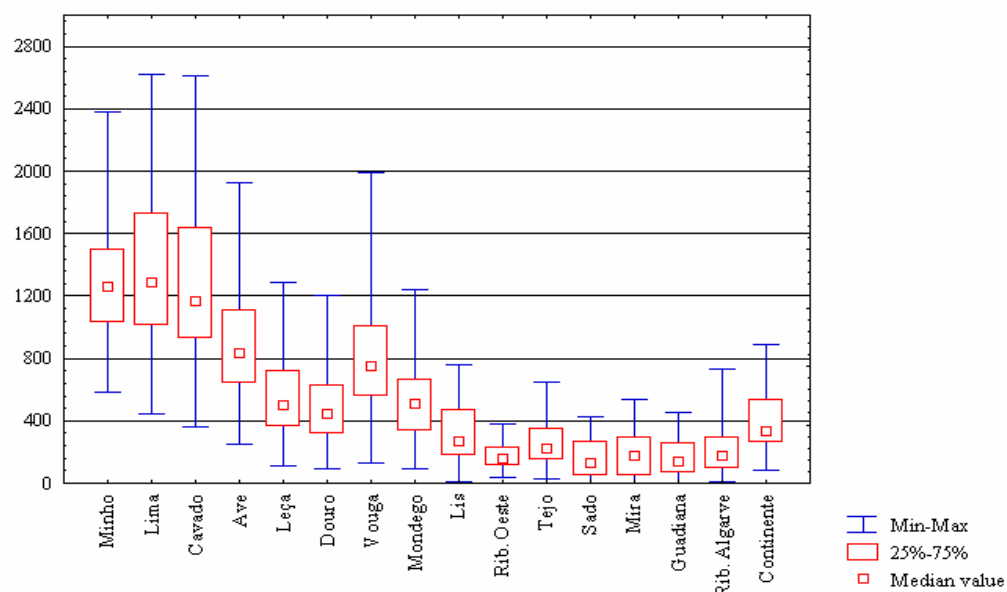


Figura 5.2.14 - Gráfico Box-Whiskers Para o Escoamento Anual Médio em Portugal Continental



5.2.2.4. Recarga de Aquíferos

A modelação matemática dos fenómenos hidrológicos produziu séries de recarga que em princípio poderiam ser utilizadas na caracterização da distribuição espacial e a variabilidade temporal da recarga dos aquíferos. Esses valores não foram, no entanto, confrontados com valores observados pelo que a sua utilização não é aconselhável.

Durante o processo de calibração do modelo procurou-se ajustar as séries de escoamento estimado pelo modelo às séries observadas, mas a impossibilidade de monitorização directa da recarga impede que estas séries também sejam utilizadas na estimativa dos parâmetros do modelo. A recarga funciona assim como uma fuga que pode atenuar os erros de dados e as aproximações resultantes da formulação do modelo.

Uma análise mais aprofundada da formulação do modelo permite constatar que um dos seus parâmetros determina o valor da recarga sem afectar o valor do escoamento. Com efeito, o parâmetro *Imax* determina a divisão entre o escoamento superficial imediato à precipitação e a recarga, as duas componentes do escoamento total. Tal significa que é possível escolher o valor de *Imax* sem prejudicar a qualidade do ajustamento do hidrograma simulado ao hidrograma calculado. Na impossibilidade de confrontar os valores de recarga calculados com valores observados, *Imax* pode assumir qualquer valor e os valores das séries de recarga resultantes da aplicação do modelo não tem significado.

Para ultrapassar este problema propõe-se estimar *Imax* a partir das características hidrogeológicas da bacia em análise, fixar o parâmetro no valor escolhido e excluí-lo do processo de calibração. Adoptando esta solução será possível recorrer às series de recarga estimadas pelo modelo para caracterizar a variabilidade temporal desta variável.

5.2.3. Disponibilidades Hídricas de Superfície

O Quadro 5.2.11 apresenta um resumo do escoamento em regime natural na foz dos principais cursos de água, tendo em atenção o escoamento gerado na área da bacia hidrográfica em território nacional.

Considerando o escoamento gerado na parte espanhola da bacia hidrográfica dos rios internacionais, o escoamento em regime natural na foz é o definido no Quadro 5.2.12.

Quadro 5.2.11 - Disponibilidade Hídricas Anuais em Regime Natural por Bacia em Portugal Continental

Bacia Hidrográfica	Capacidade de armazenamento em albufeiras Portuguesas (hm ³)	Escoamento anual em regime natural (hm ³)					
		Garantia					
		95%	90%	80%	50%	20%	10%
Minho	0.20	516	634	797	1034	1331	1661
Lima	400	754	888	1133	1506	2125	2598
Cávado	1180	901	1089	1432	1892	2865	3422
Ave	100	486	546	722	1132	1697	2184
Leça	0	33	37	56	94	156	202
Douro	1078	2730	3138	5070	8412	13779	15803
Vouga	1	593	675	1092	1758	2820	3364
Mondego	540	774	911	2166	3454	4921	6314
Lis	0	34	49	93	227	427	581
Ribeiras do Oeste	1	96	113	154	267	425	551
Tejo	2750	954	1027	2373	5430	9784	12548
Sado	771	6	19	182	822	1862	2145
Mira	486	0	0	60	266	492	659
Guadiana	460	554	689	983	1944	3435	4113
Ribeiras do Algarve	63	25	25	104	298	569	720
Continente	7830	8776	10364	18402	26694	45281	54786



Quadro 5.2.12 - Disponibilidade Hídricas Acumuladas em Regime Natural nas Bacias Hidrográficas dos Rios Internacionais

Bacia Hidrográfica	Capacidade de armazenamento das albufeiras (hm ³)	Escoamento anual em regime natural (hm ³)					
		Garantia					
		95%	90%	80%	50%	20%	10%
Minho	2810	5749	5938	7276	9997	14411	17411
Lima	550	1037	1605	1947	2730	4048	4614
Douro	8750	9888	12471	16278	22573	33963	37102
Tejo	13890	6833	10004	11845	16695	25438	28503
Guadiana	9680	497	1051	1744	5652	12880	14547
Total	35680	24004	31069	39090	57647	90740	102177

Quadro 5.2.13 – Disponibilidades em Regime Regularizado

Região hidrográfica	Capacidade de armazenamento das bacias hidrográficas em território nacional (hm ³)	Escoamento anual (Regime natural nas BH nacionais e regime actual nas BH Internacionais) (hm ³)			Escoamento anual (Regime regularizado) (hm ³)		
		Garantia 90%	Garantia 80%	Garantia 50%	Garantia 90%	Garantia 80%	Garantia 50%
Minho	0.2	5821	6594	8416	5931	6693	8465
Lima	400	1605	1947	2730	2110	2462	3065
Cávado	1180	1089	1432	1892	1769	1960	2099
Ave	100	546	722	1132	612	794	1048
Leça	0	37	56	94	38	60	94
Douro	1078	8790	11806	17291	9112	11920	17841
Vouga	1	675	1092	1758	721	1108	1732
Mondego	540	911	2166	3454	1452	2324	3430
Lis	0	49	93	227	63	121	225
Rib. Oeste	1	113	154	267	131	163	267
Tejo	2750	1027	2373	5430	6398	8878	14021
Sado	771	19	182	822	612	716	918
Mira	486	0	60	266	268	289	291
Guadiana	460	660	1001	2944	962	1476	3156
Rib. Algarve	63	25	104	298	105	160	327
Continente	7830,2	21367	29782	47021	30284	39124	56979

Para avaliar as disponibilidades hídricas regularizadas de cada bacia apresenta-se no Quadro 5.2.13 estimativas do seu valor na foz de cada bacia, assumindo que a capacidade de armazenamento da bacia se concentra num único ponto localizado foz da bacia hidrográfica. A determinação do escoamento em regime regularizado nas bacias hidrográficas dos rios internacionais teve em linha de conta as aflúncias geradas em regime modificado nas secções de fronteira, de acordo com os dados dos planos de bacia hidrográfica espanhóis. Os valores apresentados constituem, portanto, aproximações dos reais valores regularizados.

5.2.4. Problemas de Conhecimento dos Recursos Hídricos de Superfície e Necessidade de Investigação

A apresentação de resultados sob a forma de quadros, esquemas ou gráficos pode, também, dar a sensação que não existem erros associados aos valores obtidos e que confiamos inteiramente nas estimativas apresentadas.

Ambas estas ideias estão longe de estarem correctas. Existem lacunas de conhecimento e incerteza associada aos valores apresentados que, embora não impeçam a definição de uma política de gestão dos recursos hídricos, convém que sejam melhoradas de modo a fundamentar com mais rigor as opções de planeamento.

A falta de dados ou a existência de erros são sempre apontadas como obstáculos a uma correcta avaliação dos recursos hídricos. Embora estes problemas sejam, por vezes, abusivamente utilizados para justificar trabalhos menos aprofundados, também é verdade que eles existem e que não podem ser ignorados. O tema 10 faz um diagnóstico dos problemas de monitorização existentes em Portugal e apresenta os programas em curso ou previstos para ultrapassar a presente situação. Em particular, é importante ultrapassar as lacunas de informação pluviométrica em zonas de altitude, principalmente no Noroeste onde a consideração de postos virtuais tornou evidente a escassez de dados de altitude.

A determinação da evapotranspiração potencial tem associada duas causas que lhe conferem um elevado grau de incerteza. Estas causas são a baixa densidade de estações climatológicas existente em Portugal e a ausência de medição da radiação solar.

No que respeita a dados hidrométricos é fundamental retomar o esforço de obtenção de medições de caudal que permitam manter curvas de vazão rigorosas e actualizadas. A situação geográfica de Portugal aconselha também um especial cuidado na monitorização das aflúncias provenientes de Espanha.

A monitorização não pode ser dissociada da disponibilização dos dados. A existência de dados em locais de difícil acesso ou em forma de papel desencoraja a sua utilização pela comunidade técnico-científica. O esforço que o INAG tem realizado no campo da digitalização e disponibilização de dados, sendo assinalável, não está concluído.

O PNA apoiou-se nos relatórios dos PBH de modo a garantir a compatibilização entre os resultados de ambos os Planos. Embora a metodologia geral seguida nos vários PBH tenha sido a mesma, estes estudos divergem em algumas hipóteses assumidas ou nas opções tomadas, o que eventualmente pode conduzir a resultados inconsistentes. Tendo presente que não seria possível refazer grande parte dos trabalhos de modo a obter a consistência pretendida, com a análise realizada tentou-se averiguar se as diferenças detectadas conduzem a resultados significativamente diferentes. A esmagadora maioria dos resultados foram aceites como consistentes tendo em conta os objectivos pretendidos. Foram, no entanto, detectados alguns problemas que devem ser destacados para que possam ser corrigidos quando para tal houver condições.

É importante realizar um esforço de modelação padronizado a nível nacional que permita sugerir metodologias e modelos e indicar valores padrão de possam ser utilizados em estudos expeditos ou em situações de faltas de dados. O esforço de modelação hidrológica deve incidir sobre os seguintes vectores fundamentais:

- Regionalização prévia do parâmetro *I_{max}* com base nas características hidrogeológicas das bacias em análise;
- Incorporar dados relativos a anos hidrológicos recentes, que permita a validação da calibração efectuada, dando maior consistência matemática ao processo de calibração do modelo;
- Utilização de várias escalas temporais, nomeadamente a escala diária;
- Integração das componentes superficiais e subterrâneas do ciclo hidrológico, dando uma maior consistência física ao complexo processo de transformação da precipitação em escoamento, incorporando no processo de calibração do modelo a variabilidade hidrogeológica;
- Modelação da totalidade da área das bacias hidrográficas partilhadas com Espanha, permitindo uma base de entendimento comum sobre as disponibilidades existentes em regime natural nas secções de fronteiras e foz dos rios internacionais.

No tratamento desta matéria deparou-se com algumas dificuldades na caracterização da variabilidade espacial das variáveis climáticas que no futuro podem vir a ser superadas com a utilização de técnicas de detecção remota, nomeadamente radares meteorológicos e de satélites. Estas técnicas permitem obter a custos razoáveis boas descrições da variabilidade espacial da precipitação ou da humidade no solo, permitindo a implementação de modelos apoiados em sistemas de informação geográfica.



5.3. Recursos Hídricos Subterrâneos

5.3.1. Disponibilidades em Regime Natural

5.3.1.1. Caracterização Hidrodinâmica dos Sistemas Aquíferos ou Formações Hidrogeológicas

No Quadro 5.3.1 estão descritos os tipos litológicos dos sistemas aquíferos identificados. Em termos de extensão geográfica a Figura 5.3.1 mostra que os aquíferos porosos são os que ocupam uma maior parcela (60%) da área coberta pela totalidade dos sistemas (cerca de 18.000 km²).

Quadro 5.3.1 - Tipos Litológicos em Cada Sistema Aquífero

CÓD.	SISTEMA AQUÍFERO	TIPO
ORLA MERIDIONAL		
M6	Albufeira - Ribeira de Quarteira	poroso-cársico
M2	Almádena – Odeáxere	Cársico
M9	Almansil – Medronhal	Cársico
M12	Campina de Faro	poroso-cársico
M11	Chão de Cevada - Quinta João de Ourém	Cársico
M1	Covões	Cársico
M4	Ferragudo – Albufeira	Poroso-cársico
M15	Luz – Tavira	Poroso-cársico
M14	Malhão	Cársico
M3	Mexilhoeira Grande – Portimão	Poroso-cársico
M17	Monte Gordo	Poroso
M13	Peral – Moncarapacho	Cársico
M7	Quarteira	Poroso-cársico
M5	Querença – Silves	Cársico
M16	São Bartolomeu	Cársico
M8	São Brás de Alportel	Cársico
M10	São João da Venda – Quelfes	Poroso-cársico
BACIA DO TEJO - SADO		
T4	Aluviões de Abrantes	Poroso
T5	Aluviões de Constância	Poroso
T2	Aluviões do Tejo	Poroso
T1	Bacia do Tejo-Sado / Margem Direita	Poroso-cársico
T2	Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda	Poroso

CÓD.	SISTEMA AQUÍFERO	TIPO
ORLA OCIDENTAL		
O19	Alpedriz	Poroso
O6	Aluviões do Mondego	Poroso
O4	Ançã – Cantanhede	Cársico
O24	Cesareda	Cársico
O7	Figueira da Foz – Gesteira	Poroso
O27	Lagoa de Óbidos	Poroso
O10	Leirosa - Monte Real	Poroso
O3	Liásico a Norte do Mondego	Cársico-fissurado
O9	Liásico Penela – Tomar	Cársico-fissurado
O18	Maceira	Cársico
O20	Maciço Calcário Estremenho	Cársico
O17	Nazaré	Poroso
O26	Ota – Alenquer	Cársico
O15	Ourém	Poroso
O23	Paços	Poroso
O16	Pataias	Cársico
O28	Pisões – Atrozela	Cársico
O14	Pousos – Caranguejeira	Poroso-cársico
O11	Sicó – Alvaiázere	Cársico
O2	Subsistema Cretácico de Aveiro	Poroso-cársico
O1	Subsistema Quaternário de Aveiro	Poroso
O5	Tentúgal	Poroso
O25	Torres Vedras	Poroso
O27	Vale de Lobos	Poroso
O21	Vale Tifónico das Caldas da Rainha	Poroso
O8	Verride	Cársico
O12	Vieira de Leiria - Marinha Grande	Poroso
O29	Condeixa-Alfarelos	Poroso-cársico
O30	Viso-Queridas	Poroso
O13	Louriçal	Poroso
MACIÇO ANTIGO		
A8	Bacia de Alvalade	Poroso-cársico
A5	Elvas - Vila Boim	Cársico
A2	Escusa	Cársico
A4	Estremoz – Cano	Cársico
A9	Gabros de Beja	Poroso-fissurado
A3	Monforte	Cársico-fissurado
A10	Moura – Ficalho	Cársico-fissurado
A7	Sines	Poroso-cársico
A1	Veiga de Chaves	Poroso
A6	Viana do Alentejo – Alvito	Cársico-fissurado



Na Orla Ocidental existe uma grande variedade de formações que constituem o suporte de 30 sistemas aquíferos: unidades detríticas de idade terciária e quaternária; arenitos e calcários do Cretácico e calcários do Jurássico. Estas circunstâncias tornam a Orla Ocidental uma paisagem hidrogeológica única no País.

Por sua vez a Orla Meridional é constituída por formações detríticas e carbonatadas de um modo geral muito produtivas na qual foram delimitados 17 sistemas aquíferos de características cársicas ou parcialmente cársicas.

Finalmente, a Bacia do Tejo e Sado é constituída por formações detríticas de idade terciária e quaternária. É aqui que se situa o mais extenso sistema aquífero da Península Ibérica: o sistema da bacia do Tejo e do Sado-Margem Esquerda. Para além deste foram identificados mais 4 sistemas aquíferos todos eles de características porosas, contribuindo pela sua extensão, espessura e produtividade para tornar a Bacia do Tejo e Sado a mais importante unidade hidrogeológica do País.

Como foi referido, a diversidade hidrogeológica do País representada na variedade das formações litológicas onde ocorrem os aquíferos é seguramente responsável pela existência de vários tipos de funcionamento hidráulico, pela multiplicidade de conexões hidráulicas com outros subsistemas, pela variabilidade das produtividades observadas e pela variedade dos sentidos de fluxo.

Da totalidade dos sistemas aquíferos, cerca de metade funcionam como aquíferos mono-camada em regime livre ou confinado enquanto que os restantes são sistemas multicamada apresentando muito deles importantes conexões hidráulicas entre as unidades aquíferas que os compõem (Quadro 5.3.2).

Como é óbvio os mecanismos de drenância desempenham um papel fulcral no escoamento da água subterrânea sendo por esse motivo uma componente de modo nenhum negligenciável nos balanços hídricos desses sistemas. Apesar de em muitos casos ser difícil a estimação dos valores desses caudais é possível identificar os casos onde aquele fenómeno natural é relevante (Quadro 5.3.2). Nesse contexto deve-se enfatizar o papel que a drenância tem no funcionamento hidráulico quer em regime natural quer induzida por exploração intensiva, em aquíferos como o sistema da Bacia do Tejo-Sado (Margem Esquerda) ou o subsistema Cretácico do Aveiro.

As unidades aquíferas com carácter confinante ou semi-confinante apresentavam por vezes artesianismo repuxante em períodos que antecederam o início de da sua exploração como é o caso dos sistemas O23, T4, M15, M7, O12, O5, O10 e O2 (ver Quadro 5.3.2). Alguns desses aquíferos apresentam presentemente esse fenómeno como é o caso do sistema O15, o que pode ser indicador de sub-exploração desses sistemas.

Pela sua importância no funcionamento hidráulico há a referir alguns aspectos hidrodinâmicos relativamente aos sistemas cársicos e aluvionares.

No primeiro caso há que enfatizar o papel relevante das nascentes no funcionamento hidráulico daqueles sistemas. Esses pontos de descarga naturais debitam em geral caudais apreciáveis desempenhando um papel crucial no balanço hídrico do sistema hidrogeológico.

É na unidade hidrogeológica da Orla Ocidental que ocorrem as exurgências mais importantes, associadas aos sistemas cársicos do Liásico a Norte do Mondego (O3) de Anã-Cantanhede (O4), do Liásico Penela-Tomar (O9), de Sicó-Alvaiázere (O11) e do Maciço Calcário Estremenho (O20).

De uma ordem de magnitude menor estão as nascentes do sistema Querença-Silves (M5) da Orla Meridional.

Na figura 5.3.1 está representado um gráfico que pretende dar conta da importância relativa, em termos de caudal, das mais importantes nascentes de sistemas cársicos em 3 unidades hidrogeológicas. A nascente do sistema O20 é a de Alviela que debita um caudal médio de 3800 l/s.

Quanto aos sistemas aluvionares há a referir a importante dependência destes com os cursos de água com os quais estão conectados, revelando características efluentes ou influentes tendo em conta o funcionamento hidráulico sazonal daqueles sistemas hidrológicos. No Quadro 5.3.1 estão identificados os casos mais relevantes. De entre estes salientam-se o sistema O6 em dependência directa com o rio Mondego e os sistemas T2, T4 e T5 com o rio Tejo.

Quadro 5.3.2 – Principais Componentes do Balanço Hídrico dos Sistemas Aquíferos

CÓD.	SISTEMA AQUÍFERO	RECARGA			DESCARGA		Drenância entre Camadas	Artesianismo Repuxante
		Precipitação	Fluxo Inter-Aquíferos	Cursos de Água Influentes	Cursos de Água Efluentes	Nascentes		
M6	Albufeira - Ribeira de Quarteira	x	x		x	X		
M2	Almádena - Odeóxere	x		x	x	X		
M9	Almansil - Medronhal	x						
M12	Campina de Faro	x	x	x			x	x
M11	Chão de Cevada - Quinta João de Ourém	x						
M1	Covões	x					x	
M4	Ferragudo - Albufeira	x						
M15	Luz - Tavira	x	x				x	x
M14	Malhão	x						
M3	Mexilhoeira Grande - Portimão	x		x		X		
M17	Monte Gordo	x						
M13	Peral - Moncarapacho	x						
M7	Quarteira	x					x	x
M5	Querença - Silves	x				X		
M16	São Bartolomeu	x						
M8	São Brás de Alportel	x	x					
M10	São João da Venda - Quelfes	x						
O19	Alpedriz	x						x
O6	Aluviões do Mondego	x		x	x	X		x
O4	Ançã - Cantanhede	x		x	x	X		
O24	Cesareda	x				X		
O7	Figueira da Foz - Gesteira	x		x	x		x	x
O27	Lagoa de Óbidos	x	x					
O10	Leirosa - Monte Real	x				X		x
O3	Liásico a Norte do Mondego	x	x			X	x	
O9	Liásico Penela - Tomar	x	x				x	
O18	Maceira	x						
O20	Maciço Calcário Estremenho	x		x	x	X		
O17	Nazaré	x						
O26	Ota - Alenquer	x				X		
O15	Ourém	x			x		x	x
O23	Paços	x	x					
O16	Pataias	x						
O28	Pisões - Atrozela	x						
O14	Pousos - Caranguejeira	x	x			X		x
O11	Sicó - Alvaiázere	x				X		
O2	Subsistema Cretácico de Aveiro	x	x	x			X	
O1	Subsistema Quaternário de Aveiro	x					X	
O5	Tentúgal	x		x	x	X	X	x
O25	Torres Vedras	x	x					
O27	Vale de Lobos	x						
O21	Vale Tifónico das Caldas da Rainha	x						
O13	Louriçal	x	x	x	x		X	
O8	Verride	x		x				
O12	Vieira de Leiria - Marinha Grande	x			x	X		x
O29	Condeixa-Alfarelos	x			x		X	
O30	Viso-Queridasl	x			X		x	
T4	Aluviões de Abrantes	x		X				x
T5	Aluviões de Constância	x		X	X			
T2	Aluviões do Tejo	x			X		x	x
T1	Bacia do Tejo-Sado / Margem Direita	x		X	X		x	x
T2	Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda	x	x	X	X		x	x
A8	Bacia de Alvalade	x		X	x	x	x	x
A5	Elvas - Vila Boim	x			x	x	x	
A2	Escusa	x	x	X				
A4	Estremoz - Cano	x				x	x	
A9	Gabros de Beja	x			x			
A3	Monforte	x						
A10	Moura - Ficalho	x		X		x	x	
A7	Sines	x		X	x		x	
A1	Veiga de Chaves	x		X			x	
A6	Viana do Alentejo - Alvito	x						



Porque os sistemas aquíferos são geologicamente dependentes, a heterogeneidade é a propriedade mais importante em hidrogeologia. Ela condiciona os fluxos locais com reflexos inevitáveis na circulação de poluentes nos meios aquíferos e na distribuição espacial dos valores de produtividade.

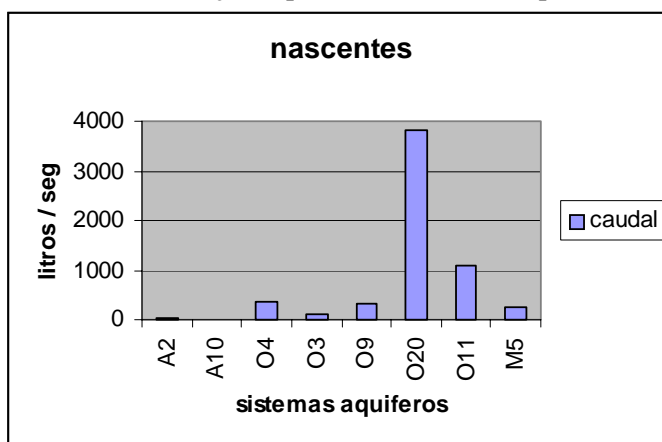


Figura 5.3.2 – Caudais de Nascentes em 8 Sistemas Aquíferos Localizados em 3 Unidades Hidrogeológicas

Quadro 5.3.3 – Intervalo de Transmissividades Observados Para Cada Sistema Aquífero

Cod	SISTEMA AQUÍFERO	Intervalo de transmissividades (m ² /dia)	
		Min	Max
<i>Orla Meridional</i>			
M6	Albufeira - Ribeira de Quarteira	84	3080
M2	Almádena – Odeáxere	25	2100
M9	Almansil – Medronhal	130	2100
M12	Campina de Faro	300	
M11	Chão de Cevada – Quinta João de Ourém	500	600
M1	Covões	500	600
M4	Ferragudo - Albufeira	30	750
M15	Luz - Tavira	25	1938
M14	Malhão	s/ dados	
M3	Mexilhoeira Grande - Portimão	80	6500
M17	Monte Gordo	30	80
M13	Peral – Moncarapacho	s/ dados	
M7	Quarteira	180	3160
M5	Querença – Silves	1200	30000
M16	São Bartolomeu	100	3500
M8	São Brás de Alportel	s/ dados	
M10	São João da Venda – Quelfes	s/ dados	
<i>Orla Ocidental</i>			
O19	Alpedriz	3	169
O6	Aluviões do Mondego	11	5750
O4	Ançã – Cantanhede	6	1200
O24	Cesareda	41	520
O7	Figueira da Foz – Gesteira	66	130
O27	Lagoa de Óbidos	30	70
O10	Leirosa - Monte Real	20	2300
O3	Liásico a Norte do Mondego	15	600
O9	Liásico Penela – Tomar	15	168
O18	Maceira	74	358
O20	Maciço Calcário Estremenho	1	4800
O17	Nazaré	8	570

Cod	SISTEMA AQUÍFERO	Intervalo de transmissividades (m ² /dia)	
		Min	Max
O26	Ota – Alenquer	1000	14700
O15	Ourém	3	527
O23	Paços	22	1250
O16	Pataias	8	3000
O28	Pisões – Atrozela	s/ dados	
O14	Pousos – Caranguejeira	84	3080
O11	Sicó – Alvaiázere	4	570
O2	Subsistema Cretácico de Aveiro	6	800
O1	Subsistema Quaternário de Aveiro	2	1200
O5	Tentúgal	1	1200
O25	Torres Vedras	2.5	400
O27	Vale de Lobos	8.25	
O21	Vale Tifónico das Caldas da Rainha	30	450
O8	Verride	s/ dados	
O12	Vieira de Leiria - Marinha Grande	38	1000
O13	Louriçal (ex- Vermoíl)	8	40
O29	Condeixa-Alfárelos	2	347
O30	Viso_Queridas	11	241
<i>Bacia do Tejo – Sado</i>			
T4	Aluviões de Abrantes	14	3430
T5	Aluviões de Constância	1925	4762
T2	Aluviões do Tejo	6	5794
T1	Bacia do Tejo-Sado / Margem Direita	0.1	4100
T2	Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda	19	4100
<i>Maciço Antigo</i>			
A8	Bacia de Alvalade	1	200
A5	Elvas - Vila Boim	1	171
A2	Escusa	6	776
A4	Estremoz – Cano	600	800
A9	Gabros de Beja	5	450
A3	Monforte	65	540
A10	Moura – Ficalho	617	3514
A7	Sines	1	7407
A1	Veiga de Chaves	1	3000
A6	Viana do Alentejo – Alvito	2.5	30300

Parâmetros como a transmissividade ou o coeficiente de armazenamento são indicadores importantes para avaliar o valor económico de um aquífero.

O estudo da sua variabilidade espacial permitirá identificar as zonas mais produtivas de um aquífero. Na base deste estudo está o facto incontornável de esses parâmetros exibirem em geral uma correlação espacial importante que não se deve desvalorizar. As águas subterrâneas ocorrem em meios aquíferos com graus de heterogeneidade diversos e estes devem tanto quanto possível ser quantificados.

Para tal utilizou-se sempre que possível o variograma, como ferramenta de análise estrutural geoestatística, para medir não só, o grau de aleatoriedade presente em cada unidade aquífera como também, o grau de dependência espacial das variáveis hidrogeológicas. No final é possível comparar os sistemas aquíferos pelo seu grau de heterogeneidade.

O êxito da aplicação desta tecnologia está obviamente condicionado à escolha de uma variável hidrogeológica, que pela quantidade de valores disponíveis num número significativo de sistemas aquíferos permita um exercício de comparação minimamente representativo da realidade hidrogeológica do País. Por esse motivo foi seleccionado o caudal específico como parâmetro indicador da maior ou menor capacidade que as formações aquíferas possuem para transmitir a água que armazenam. Estes valores obtidos a partir de



caudais de ensaio foram escolhidos em detrimento da transmissividade de mais difícil estimação. A realidade crua do conhecimento hidrogeológico em Portugal mostra que infelizmente, valores de transmissividade estão ausentes em muitos sistemas aquíferos o que inviabiliza uma comparação em termos de avaliação da sua variabilidade espacial.

Não obstante apresenta-se no Quadro 5.3.3 o intervalo de valores de transmissividade encontrado para os sistemas aquíferos onde foram realizados ensaios de caudal ou de bombagem. De notar a grande variabilidade de valores em alguns sistemas reflexo da heterogeneidade existente. Deve por exemplo enfatizar-se o grande intervalo de valores encontrado para os sistemas M5:Querença-Silves, O26:Ota-Alenquer e A10:Moura-Ficalho típico de sistemas altamente heterogéneos como são os sistemas cársicos. Por insuficiência de dados não foi possível apresentar uma tabela semelhante com valores de coeficiente de armazenamento.

Por sua vez a análise variográfica do caudal específico em alguns sistemas aquíferos mostra igualmente funções exibindo padrões de estrutura espacial bastante diversos, reflectindo uma grande variedade de graus de heterogeneidade presente naqueles sistemas, entre exemplos de grande continuidade espacial como é o caso do sistema O15 (Figura 5.3.3) e casos de aleatoriedade pura como aquele que caracteriza o sistema M6 (Figura 5.3.4).

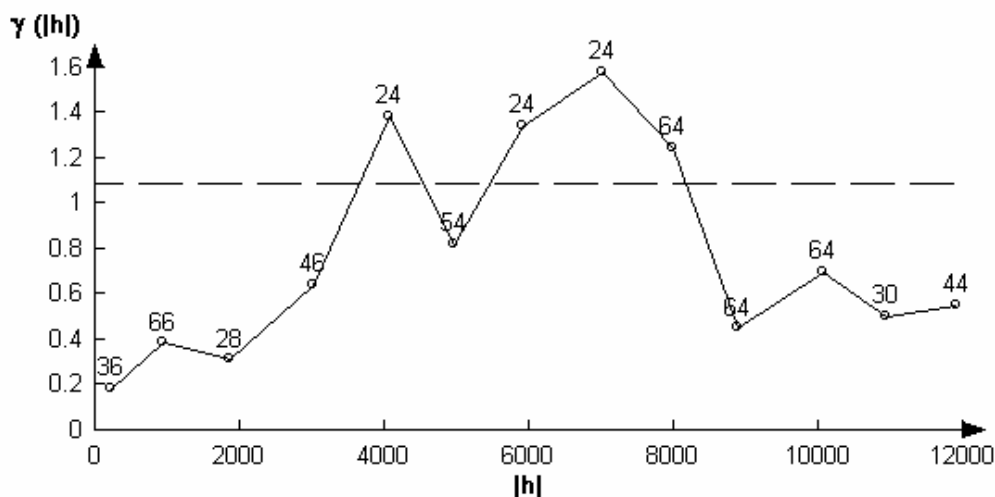


Figura 5.3.3 – Variograma do Caudal Específico (Valores em l/s/m) do Sistema Aquífero O15: Ourém

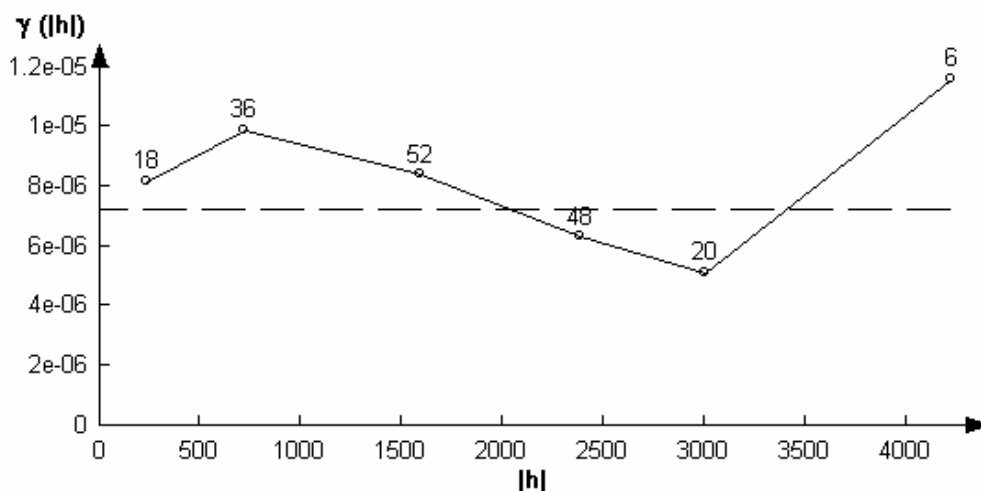


Figura 5.3.4 – Variograma do Caudal Específico (Valores em m³/s/m) do Sistema Aquífero M6: Albufeira-Quarteira

Para uma caracterização estatística das produtividades dos sistemas aquíferos foram utilizados caudais de exploração quer obtidos directamente quer estimados a partir de outras variáveis (rebaixamentos, posição de ralos,...).

Nas figuras 5.3.5 a 5.3.9 apresentam-se por unidade hidrogeológica, gráficos onde se pode observar a mediana e o grau de dispersão (a partir dos respectivos quartis 25% e 75%) dos valores de produtividade. Por insuficiência de dados só é possível apresentar em alguns sistemas a mediana desses valores.

Deve referir-se que os sistemas T1 e T3 foram divididos respectivamente em 2 e 3 grupos de forma a considerar os diferentes níveis produtivos correspondentes a unidades litológicas diferenciadas. Os subsistemas são: T1a – Calcários de Almoester ; T1b – Grés da Ota; T3a – Pliocénico; T3b – Grés da Ota e T3c – Miocénico.

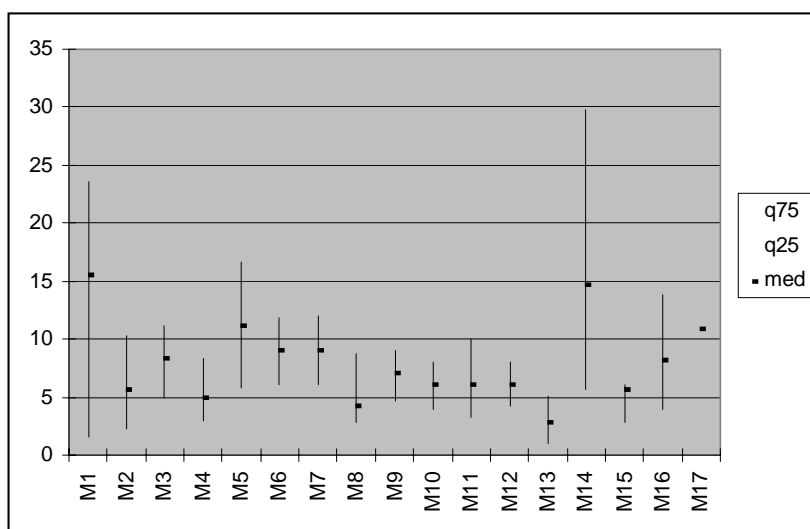


Figura 5.3.5 – Valores Estatísticos das Produtividades (em l/s) dos Sistemas Aquíferos da Orla Meridional

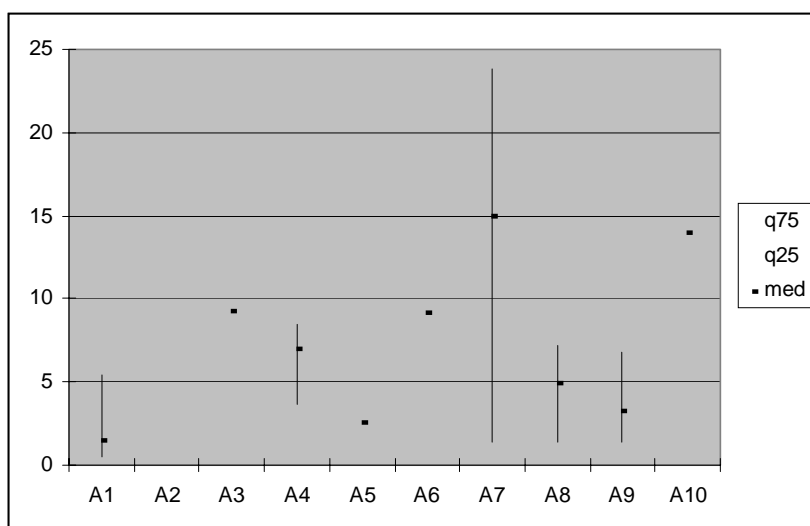


Figura 5.3.6 – Valores Estatísticos das Produtividades (em l/s) dos Sistemas Aquíferos do Maciço Antigo



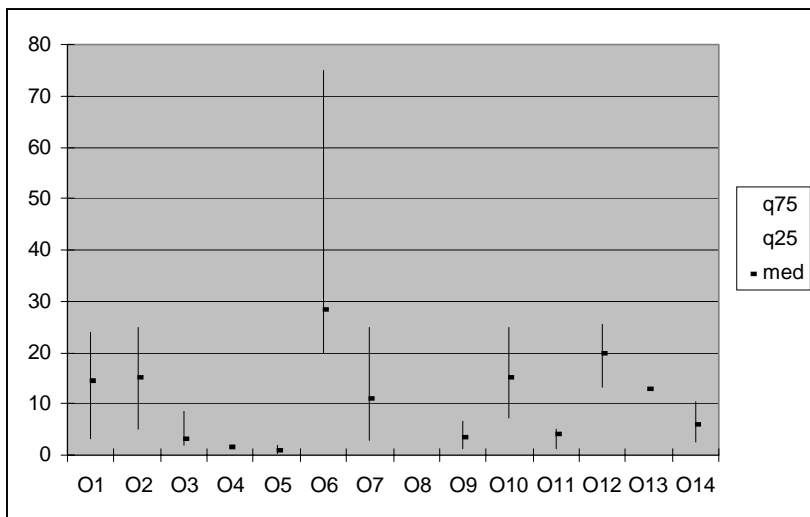


Figura 5.3.7- Valores Estatísticos das Produtividades (em l/s) dos Sistemas Aquíferos da Orla Ocidental (I)

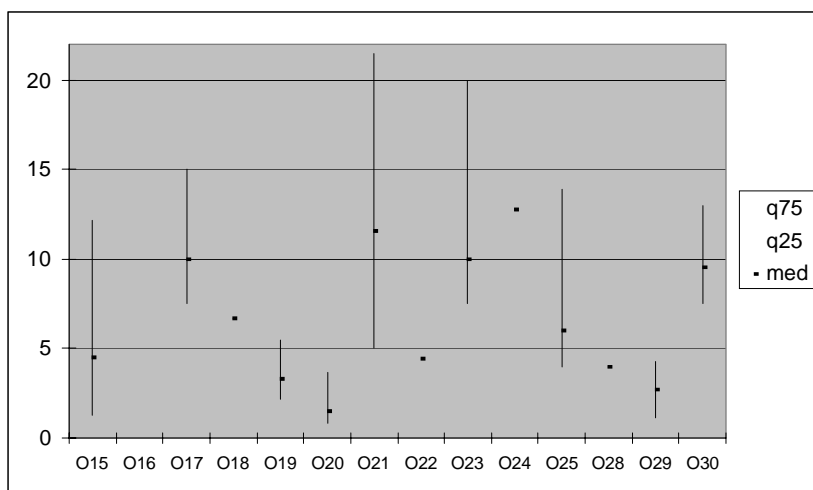


Figura 5.3.8 – Valores Estatísticos das Produtividades (em l/s) dos Sistemas Aquíferos da Orla Ocidental (II)

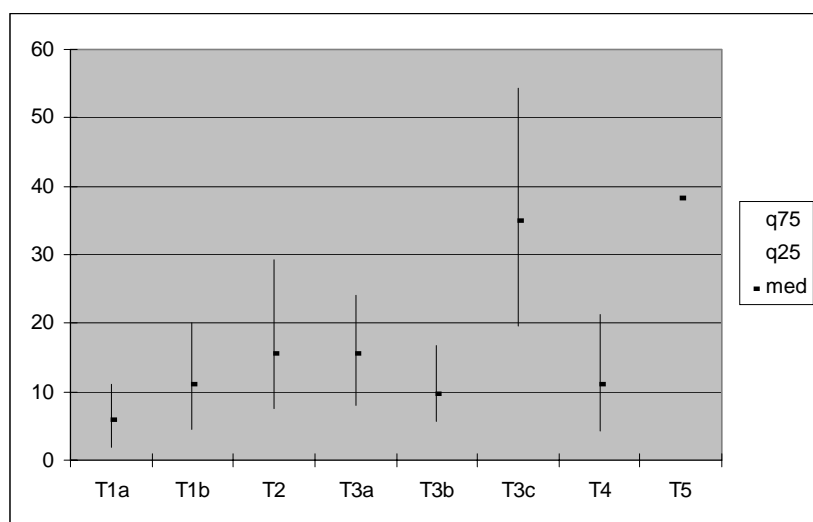


Figura 5.3.9 – Valores Estatísticos das Produtividades (em l/s) dos Sistemas Aquíferos da Bacia Tejo-Sado

Os aspectos mais relevantes que decorrem da leitura destas figuras são:

- No Maciço Antigo o sistema A7 é aquele que apresenta a maior dispersão de valores sendo o sistema A10 aquele que tem a mediana maior
- Na Orla Meridional a maior dispersão encontra-se nos sistemas M1 e M14 que se caracterizam igualmente por ter os maiores valores de mediana.
- Na Orla Ocidental a maior dispersão encontra-se nos sistemas O6 e O21. O primeiro sistema caracteriza-se igualmente por ter a maior mediana.
- Na bacia do Tejo-Sado a maior dispersão encontra-se no sistema T3c. Os maiores valores de mediana ocorrem nos sistemas T3c e T5.

A figura 5.3.10 mostra a mediana dos valores de produtividade dos sistemas aquíferos agrupados por tipos litológicos. Ela mostra claramente que os sistemas de características porosas são em média os mais produtivos com um valor de mediana de 13,3 l/s. Seguem-se os sistemas mistos carsico-porosos com um valor de 7,15 l/s e os cársicos com 6,7 l/s. Nesta figura não está representada a mediana dos valores de produtividade dos sistemas fissurados que formam a maior parte das formações hidrogeológicas indiferenciadas e que se estima em 1 l/s.

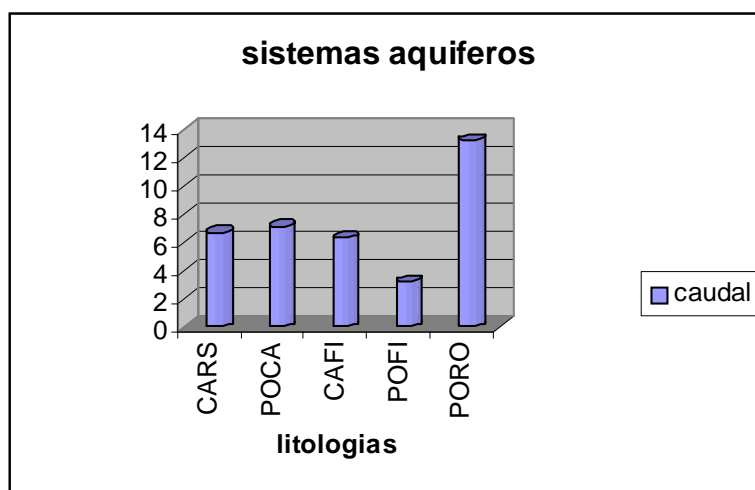


Figura 5.3.10 - Mediana dos Valores de Produtividade (em l/s) dos Sistemas Aquíferos Agrupados por Tipos Litológicos

5.3.1.2. Recarga Efectiva dos Sistemas Aquíferos ou Formações Hidrogeológicas

A estimação da recarga revela-se regra geral de grande dificuldade já que não existe uma metodologia segura para a sua correcta avaliação.

A recarga pode-se definir como a água infiltrada que escoando verticalmente vai atingir a superfície freática.

Trata-se da parcela de água infiltrada que resta depois de deduzida a quantidade evapotranspirada.

Identificam-se em geral as seguintes fontes de recarga num sistema hidrogeológico:

- precipitação
- cursos de água e lagos
- fluxos inter-aquíferos incluindo fenómenos de drenância
- retornos por regas
- urbanas

Em virtude da escassez de dados e de informação disponível só é possível estimar valores médios de recarga efectiva por precipitação. Para esse efeito foram utilizadas valores que foram calculados utilizando metodologias muito díspares tais como o de balanços hídricos a nível do solo, o de balanços geoquímicos como o de cloretos, o de decomposição de hidrogramas e ainda métodos expeditos baseados em critérios puramente litológicos.



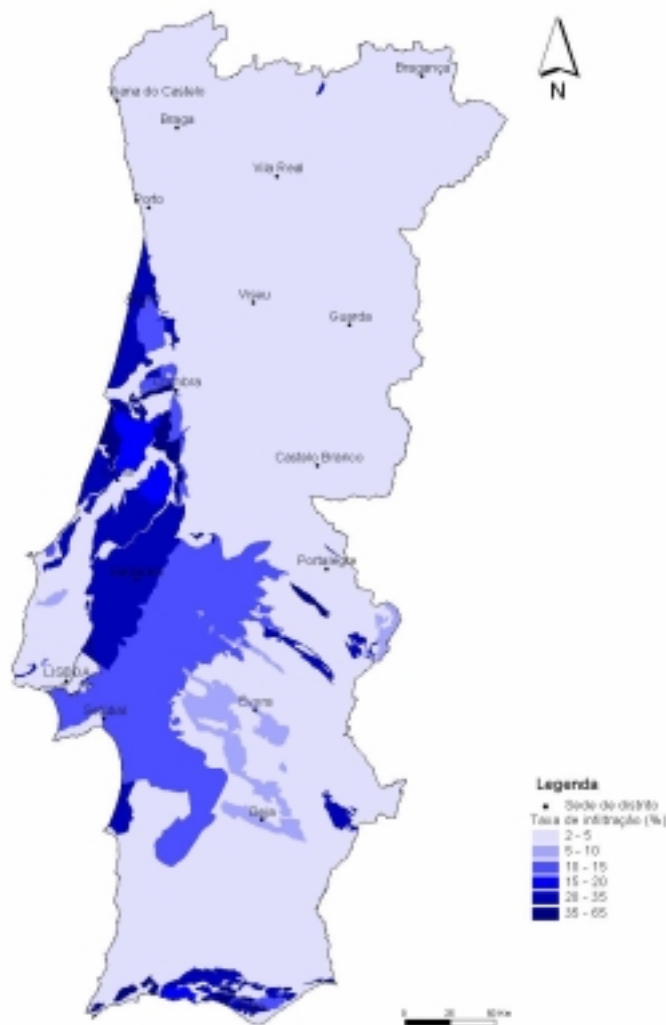


Figura 5.3.11 - Taxas de Recarga Média Anual em Portugal Continental

No que diz respeito às outras componentes de recarga a sua estimação reveste-se de maior dificuldade sendo só possível identificar os sistemas aquíferos onde ocorrem recargas do tipo b) e c) (Quadro 5.3.2).

Na figura 5.3.11 estão representadas as taxas de recarga média anual estimadas para os sistemas aquíferos e formações hidrogeológicas indiferenciadas. Os valores estimados oscilam entre os 5% para os xistos até valores superiores a 50% para as formações cársicas.

5.3.1.3. Importância da Avaliação Detalhada de Sistemas Aquíferos Através da Modelação Numérica

O objectivo geral da modelação numérica de um sistema aquífero é compreender o seu funcionamento hidráulico de modo a prever o seu comportamento face a cenários de exploração.

Para modelar de modo adequado o aquífero é necessário uma boa caracterização geológica e hidrogeológica daquele em termos de conhecimento da sua geometria (forma, limites), das suas propriedades físicas (condutividade hidráulica ou transmissividade, porosidade eficaz ou coeficiente de armazenamento, factores de drenância) e das grandezas que podem variar no tempo como é a piezometria.

O conhecimento da variabilidade espacial destas variáveis é pois crucial, fundamentalmente no que diz respeito à avaliação da heterogeneidade do aquífero, já que na fase de modelação é sempre necessário proceder a um exercício de discretização.

É igualmente importante conhecermos os factores hidrológicos e climáticos que agem com o sistema (precipitação, caudais de rio, etc..) assim como factores antropogénicos (caudais de exploração).

É portanto necessário um conjunto muito completo de dados hidrológicos e hidrogeológicos que na maioria dos casos não se encontra disponível para efeitos de modelação de um sistema aquífero.

Como ferramenta privilegiada na simulação do escoamento subterrâneo a 2D ou a 3D os modelos apresentam uma flexibilidade para analisar sistemas aquíferos com fronteiras complexas, heterogeneidades e taxas de bombagem e de recarga altamente variáveis. A simulação numérica utiliza não só representações equi-prováveis da realidade desconhecida como igualmente cenários plausíveis de situações de exploração do sistema.

Uma das etapas incontornáveis neste processo é o estabelecimento do modelo conceptual da situação hidrogeológica a simular que inclui todo o nosso conhecimento do aquífero, os principais mecanismos de funcionamento hidráulico (leis físicas), as principais opções de simulação sugeridas nesta etapa pré-modelação.

No decurso da elaboração do PNA foi desenvolvida modelação numérica de escoamento em 3 sistemas aquíferos de Portugal: O sistema multiaquífero Cretácico de Aveiro, o sistema multiaquífero da Bacia do Tejo-Sado e o sistema aquífero de Escusa, cujos recursos hídricos subterrâneos desempenham um papel fundamental no balanço hídrico das bacias hidrográficas a que pertencem sendo os 2 últimos importantes origens de água subterrânea para abastecimento público. Estes sistemas representam muito bem a diversidade hidrogeológica existente no País, quer do ponto de vista litológico (poroso, cársico), quer dos tipos de funcionamento hidráulico (sistemas mono e multicamada), quer nas características de interacção com outros subsistemas (rio, mar, estuário). Em seguida apresentam-se sinteticamente as principais etapas em que se desenvolveu a modelação do Sistema Multiaquífero do Cretácico de Aveiro

A modelação numérica do sistema multiaquífero do Cretácico de Aveiro foi realizada por Maria Teresa Condesso de Melo no âmbito da sua tese de doutoramento.

Na figura 5.3.12 está representado o modelo conceptual adoptado para o sistema multiaquífero do Cretácico de Aveiro sugerido pelo conhecimento geológico e a hidrodinâmica do sistema.

Da definição das unidades hidroestratigráficas do aquífero Cretácico de Aveiro resultou um modelo conceptual formado por oito camadas, das quais cinco correspondem a níveis aquíferos, duas a aquitardos e uma, que devido à sua reduzida permeabilidade, se pode considerar como tendo um comportamento confinante. Aquelas unidades hidroestratigráficas são entendidas aqui como unidades estratigráficas com propriedades hidrogeológicas semelhantes.

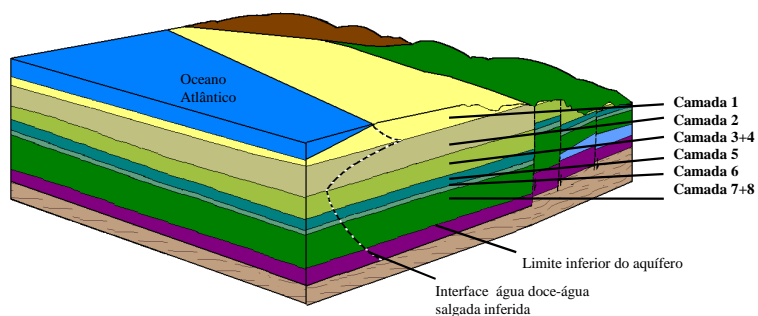


Figura 5.3.12 - Modelo Conceptual do Sistema Multiaquífero Cretácico de Aveiro

Para a definição da geometria dos sistema e da disposição tridimensional destas camadas na área de estudo recorreu-se à informação contida em logs litológicos de 183 furos que exploram o aquífero Cretácico de Aveiro, e sempre que disponíveis, às correspondentes diagrfias (potencial espontâneo, resistividade e radiação gamma natural). Para cada um dos logs procedeu-se à definição da cota da base de cada uma das camadas que constituem o sistema aquífero (Figura 5.3.13).



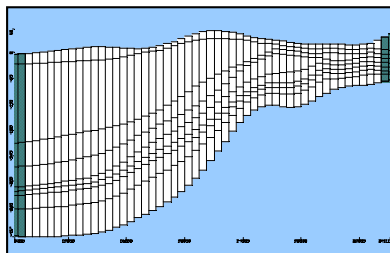


Figura 5.3.13 - Secção Transversal W-E do Modelo do Sistema Multiaquífero Cretácico de Aveiro

Na etapa de desenho do modelo começou por se definir a malha e as zonas inactivas da área a modelar, zonas essas onde o fluxo de água subterrânea não é simulado. A malha definida é uma malha quadrada de 75 colunas x 158 linhas e onde cada célula tem uma área de 500 m x 500 m (Figura 5.3.14).

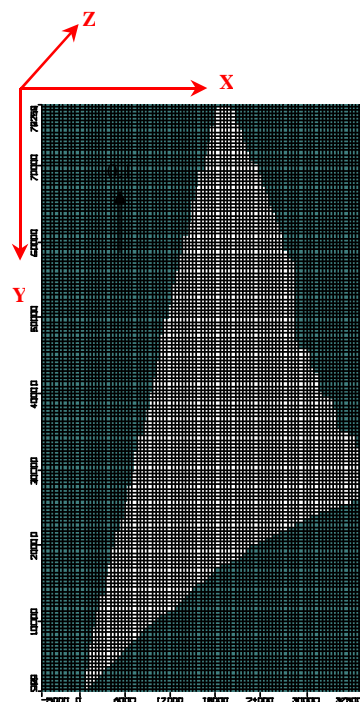


Figura 5.3.14 - Malha Definida Para o Modelo de Fluxo

Após a definição das condições iniciais e de fronteira atribuíram-se valores das propriedades hidráulicas a cada uma das malhas em que está discretizado o sistema. Este modelo uma vez calibrado com dados piezométricos disponíveis no espaço e no tempo permitiu simular 2 cenários: um, em regime natural, permanente e anterior ao início da exploração do aquífero; outro em regime transitório com período de simulação de 45 anos até Setembro de 2000. Nas figuras 5.3.15 e 5.3.16 estão representadas os fluxos subterrâneos resultantes desses 2 cenários.

As principais conclusões destas 2 simulações são as seguintes:

- 1 - Em regime natural o aquífero Cretácico de Aveiro alimentaria o aquífero superficial não confinado em metade da zona considerada e a Ocidente o aquífero descarregaria para o mar.
- 2 - Em regime transitório e para um período de simulação de 45 anos verifica-se que na zona Norte da área de estudo há uma clara inversão do fluxo natural, com entrada de água através da interface água doce - água salgada. Há a formação de um cone de depressão que atinge níveis piezométricos de -20 m na zona a norte de Aveiro. Os fluxos verticais através da camada confinante são muito mais significativos.

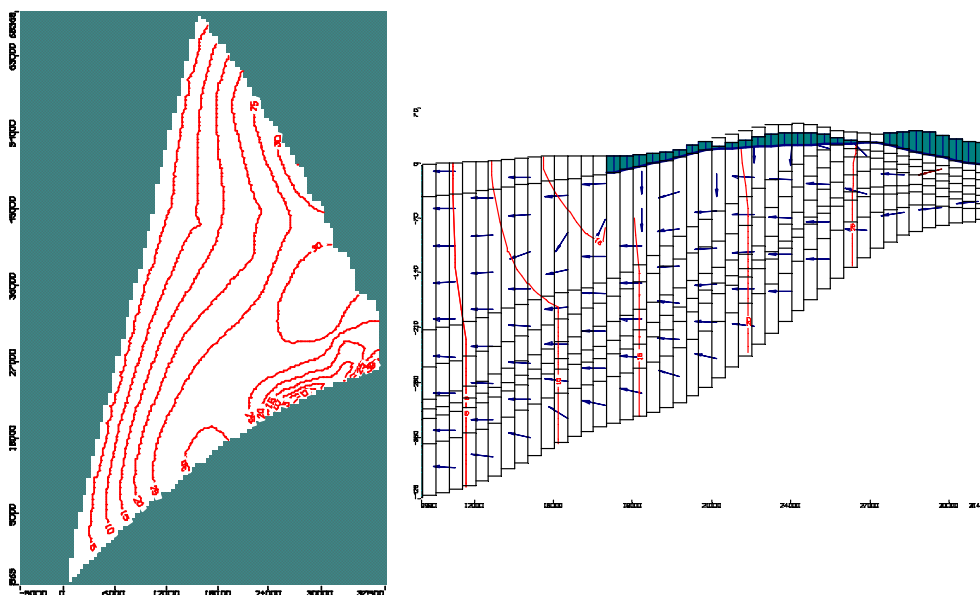


Figura 5.3.15 - Resultados da Simulação do Fluxo Subterrâneo em Regime Estacionário (t= 14 Dias, Ano 1955, Anterior ao Início da Exploração do Aquífero) no Principal Nível Aquífero (C₃) Com Indicação da Direcção de Fluxo (Sobreelevação: 30x).

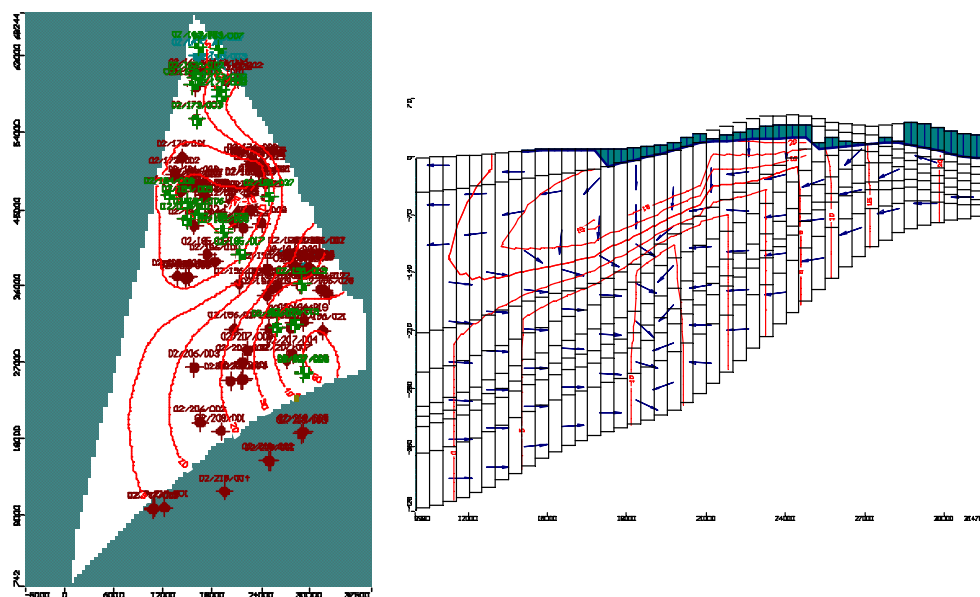


Figura 5.3.16 - Resultados da Simulação do Fluxo Subterrâneo em Regime Transitório (t= 17155 Dias, Ano 2000) no Principal Nível Aquífero (C₃) Com Indicação da Direcção de Fluxo (Sobreelevação: 30x). Os Círculos a Vermelho Representam os Furos de Bombagem Considerados, Enquanto os Círculos a Verde Correspondem aos Piezômetros de Observação de Níveis Piezométricos

Os resultados da modelação confirmam a necessidade de uma redução significativa dos caudais de exploração do aquífero Cretácico de Aveiro e demonstra o risco que a actual gestão dos seus recursos representa para a qualidade das suas águas.



5.3.1.4. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas

Entende-se aqui Disponibilidade Hídrica Subterrânea (DHS) como aquele volume de água subterrânea que o aquífero ou formação hidrogeológica pode fornecer em condições naturais, parcela que está associada à recarga por infiltração da chuva.

Na sua avaliação não foram deste modo contemplados os volumes provenientes de fenómenos de recarga induzida ao longo de cursos de água, lagos, aquíferos, etc..

Esta componente está associada ao caudal de segurança, isto é, a extracção de água que não excede a recarga média.

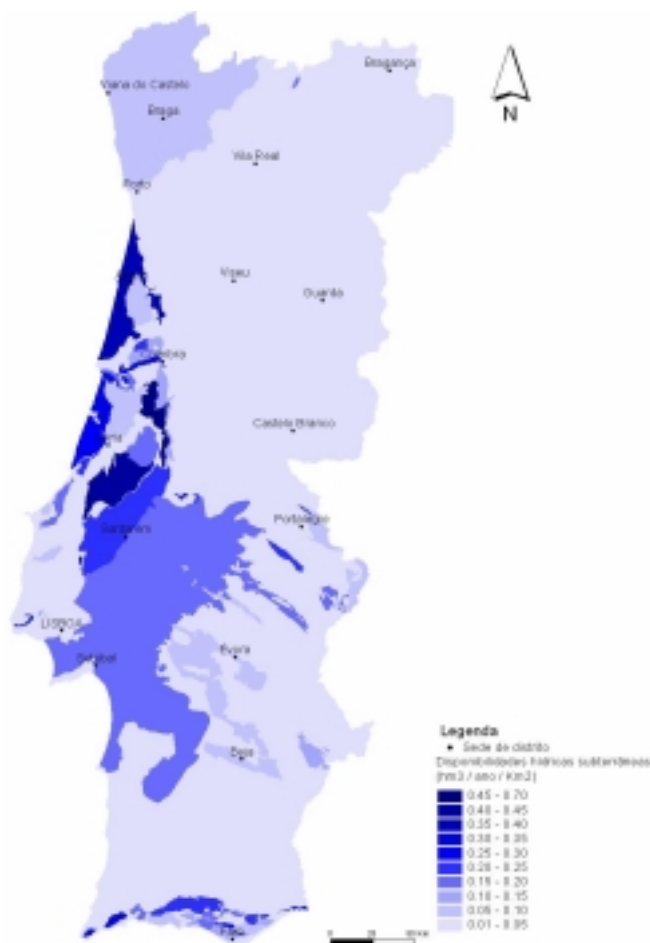


Figura 5.3.17 - Disponibilidades Hídricas Subterrâneas de Portugal

Na avaliação das DHS reveste-se de particular importância a estimação da recarga média. Esta etapa revela-se, regra geral, de grande dificuldade já que não existe uma metodologia segura para a sua correcta avaliação agravado ainda pelo facto de que, na maioria de casos, não existir informação suficiente para esse fim.

No presente estudo foram utilizadas estimativas resultantes da aplicação de métodos como o de balanços hídricos a nível do solo, o de balanços geoquímicos como o de cloretos, o de decomposição de hidrogramas e ainda métodos expeditos baseados em critérios puramente litológicos.

Os valores de DHS apresentam-se em $\text{hm}^3/\text{ano}/\text{km}^2$, tendo-se utilizado para o efeito um valor de recarga média anual e a área de afloramento do aquífero ou formação hidrogeológica. Note-se que esta área pode por razões óbvias, ser diferente da área preferencial de recarga.

A Figura 5.3.17 mostra que os maiores valores de DHS estão associados a aquíferos cársicos (Ota-Alenquer, Sicó, Maciço Calcário Estremenho) e os menores às formações cristalinas (Maciço Antigo das Bacias Hidrográficas).

5.3.2. Problemas de Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Necessidade de Investigação

A avaliação dos recursos hídricos subterrâneos de Portugal Continental revelou evidentes lacunas de conhecimento das águas subterrâneas que estão associadas na sua grande maioria à escassez de dados resultantes da quase ausência de planos de monitorização e do reduzido número de estudos hidrogeológicos regionais efectuados.

De modo a colmatar estas lacunas deve proceder-se á:

- a) Implementação de redes de monitorização de referência e específicas que permitam recolher dados piezométricos, caudais de nascente e caudais de exploração de forma sistemática com representatividade espaço-temporal adequada aos diversos objectivos, o que já se encontra em curso.
- b) Avaliação da recarga efectiva por precipitação, quer espacial, quer temporal, utilizando técnicas indirectas tais como: balanços hídricos a nível do solo, balanços geoquímicos, modelos numéricos baseados na equação de Darcy.
- c) Aplicação de metodologias específicas para estimar os valores do caudal rio-aquífero, os volumes de fluxos inter-aquíferos e os caudais de drenância entre camadas aquíferas.
- d) Execução de ensaios de caudal nos aquíferos onde existe ausência de informação de forma a colmatar as lacunas de conhecimento no que diz respeito a características hidráulicas.
- e) Realização de vários estudos de prospecção geofísica com o intuito de melhor caracterizar a geometria 3D dos sistemas aquíferos.
- f) Realização de estudos hidrogeológicos regionais à escala local ou regional, que incluam:
 - I - Inventário e cartografia hidrogeológica;
 - II - Aplicação de abordagens metodológicas de natureza multi-disciplinar com vista a melhor caracterizar a heterogeneidade dos sistemas aquíferos.
 - III - Implementação e aplicação de modelos de simulação do escoamento subterrâneo nos principais sistemas aquíferos.

5.4. Balanço Hídrico

5.4.1. Situações de Escassez de Água

A aparente riqueza hídrica do nosso país, onde as disponibilidades anuais médias excedem várias vezes as necessidades de água, esconde situações de escassez hídrica de carácter localizado que ocorrem ciclicamente durante períodos secos. Com efeito, e como foi demonstrado no Capítulo 5.2, a variabilidade das disponibilidades de água em Portugal continental é extremamente elevada, quer em termos anuais quer em termos sazonais, o que dá origem a períodos mais ou menos prolongados em que a precipitação é significativamente inferior à média. Nessas situações a capacidade de armazenamento disponibilizada pelas albufeiras e pelos aquíferos explorados não é suficiente para garantir a manutenção de abastecimento a todas as utilizações de água.

No sentido de identificar e caracterizar as situações de escassez hídrica, em que as disponibilidades de água não são suficientes para suprir as necessidades, realizaram-se balanços hídricos à escala anual, tendo-se comparado os valores associados a vários percentis de disponibilidades hídricas com os valores de necessidades de água.

Entende-se por disponibilidade hídrica a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração real, que constitui o volume disponível para escoamento superficial imediato à precipitação e para recarga de aquíferos. À escala anual a disponibilidade hídrica é sensivelmente igual ao escoamento pois, de um modo geral, a maioria dos aquíferos não têm capacidade de regularização interanual do escoamento, isto é, toda a recarga de um dado ano hidrológico contribui para escoamento fluvial nesse mesmo ano.

A realização do balanço com base nas disponibilidades hídricas anuais permite analisar de forma integrada as necessidades de água supridas por origens subterrâneas e por origens superficiais e identificar as situações graves de escassez de água que só podem ser resolvidas através de um incremento significativo da capacidade de armazenamento que proporcione uma regularização interanual. Em contrapartida, esta análise



ignora as situações de escassez hídricas derivadas da variabilidade sazonal dos recursos hídricos ou da desadequação dos sistemas de abastecimento às disponibilidades e necessidades de água. As bacias que aqui forem identificadas como deficitárias ou quase deficitárias deverão ser objecto de estudos mais pormenorizados com um enfoque especial nestes aspectos.

O balanço aqui apresentado tem por base os valores de necessidades a satisfazer por águas de superfície apresentados no tema 4 – Usos, Consumos e Necessidades de Água e os das disponibilidades apresentadas no início do tema 5 – Recursos Hídricos. No entanto, tal como se referiu os valores referentes à utilização da água no sector agrícola foram corrigidos de modo a reflectir as necessidades para o sector agrícola estimados pelo IHERA.

A inventariação das necessidades de água foi realizada ao nível do concelho, pelo que a afectação das necessidades para os vários sectores utilizadores de recursos hídricos a cada uma das bacias de avaliação de recursos hídricos foi determinada de acordo com os seguintes critérios apresentados.

Agricultura – Através de metodologias de SIG, cruzou-se a informação referente às necessidades de água para o sector agrícola à escala do concelho, e as bacias de avaliação de recursos hídricos superficiais, obtendo-se a distribuição das necessidades de água por bacia de avaliação para o sector agrícola. As transferências de água entre as sub-bacias de avaliação para abastecer a agricultura foram determinadas a partir do inventário das origens de água para abastecimento da agricultura e do inventário das áreas. Considerou-se que os retornos gerados pela agricultura constituem 20% das necessidades de água, sendo devolvidos na secção de avaliação de recursos hídricos.

Urbano, Indústria e Turismo - Considerou-se que as necessidades para estes sectores utilizadores estão concentradas nas sedes de freguesia. Assim, tendo por base os valores à escala do concelho das necessidades de água para os diferentes sectores utilizadores, procedeu-se à afectação dessas necessidades às sedes de freguesia multiplicando as necessidades do concelho pelo ratio entre a população da freguesia e a população do concelho. A determinação das transferências de água para consumo urbano, turismo e indústria, baseou-se na análise das origens de água que abastecem mais de 10000 habitantes de acordo com o Inventário Nacional de Saneamento Básico de 1994, que define os concelhos abastecidos por cada origem. Assumiu-se que os retornos gerados pelas necessidades urbanas, do turismo e da indústria constituem 80% das necessidades de avaliação.

Numa primeira análise comparou-se os valores de escoamento gerados em cada bacia de avaliação com os valores de necessidades. A fim de simular o efeito regularizador das albufeiras estimaram-se os valores de escoamento anual garantido, assumindo que a capacidade de armazenamento das albufeiras se concentrava na foz da bacia hidrográfica (quadro 5.4.1). O incremento de volume garantido é maior nos níveis mais elevados de garantia que estão associados aos valores mais reduzidos de disponibilidades. É nesta gama de valores que a existência de capacidade de armazenamento permite atenuar assimetrias e elevar o valor de disponibilidades dos anos mais secos. Esse efeito é particularmente evidente nas bacias hidrográficas dos rios Sado, Mira e Ribeiras do Algarve onde o coeficiente de regularização das albufeiras é maior. O Quadro 5.4.1 compara as necessidades de água nas diferentes bacias com vários quantis de disponibilidades em regime regularizado. Os valores do ratio disponibilidades/necessidades inferiores à unidade sugerem situações em que os recursos disponíveis anualmente não são suficientes para garantir a satisfação da totalidade das necessidades. A bacia das ribeiras do Algarve está nessa situação em 10% dos anos. Existe, no entanto, um conjunto de outras bacias que apresenta valores próximos da unidade, o que sugere que, embora não haja situações de escassez à escala anual, poderá haver situações de escassez de água devido à variabilidade sazonal das disponibilidades. As bacias dos rios Leça, Sado, Mira e Guadiana e das ribeiras do Oeste estão nessa situação. Na determinação das necessidades tomou-se em linha de conta as transferências actualmente existentes e excluiu-se as necessidades para o sector da energia, por se considerar que é um sector predominantemente não consumptivo.

O balanço à escala anual e à escala da bacia hidrográfica confirma que as bacias sujeitas a maior stress hídrico são as bacia do Leça, Lis, Ribeiras do Oeste e Ribeiras do Algarve (Quadro 5.4.2).

Quadro 5.4.1 – Quadro Comparativo Disponibilidades Versus Necessidades

Bacia Hidrográfica	Disponibilidades anuais em regime regularizado (hm ³)	Necessidades Totais	Ratio Disponibilidades / Necessidades
--------------------	---	---------------------	---------------------------------------



	Garantia 90%	Garantia 80%	Garantia 50%	(hm ³)	Percentil 10	Percentil 20	Percentil 50
Minho	5931	6693	8465	89	66.63	75.19	95.10
Lima	2110	2462	3065	228	9.28	10.82	13.47
Cávado	1769	1960	2099	310	5.70	6.32	6.77
Ave	612	794	1048	370	1.65	2.15	2.83
Leça	38	60	94	31	1.25	1.96	3.08
Douro	9112	11920	17841	1 224	7.44	9.74	14.57
Vouga	721	1108	1732	447	1.61	2.48	3.87
Mondego	1452	2324	3430	869	1.67	2.67	3.95
Lis	63	121	225	73	0.85	1.65	3.07
Rib. Oeste	131	163	267	193	0.68	0.85	1.38
Tejo	6398	8878	14021	2 096	3.05	4.24	6.69
Sado	612	716	918	655	0.79	0.94	1.40
Mira	268	289	291	90	2.99	3.21	3.23
Guadiana	962	1476	3156	358	2.69	4.18	8.81
Rib. Algarve	105	160	327	256	0.40	0.67	1.28

Quadro 5.4.2 – Balanço Hídrico por Bacia - Águas de Superfície

Bacia Hidrográfica	Balanço mensal dos recursos hídricos superficiais	
	Garantia mensal	Garantia anual
Minho	1.00	1.00
Lima	1.00	1.00
Cávado	1.00	1.00
Ave	0.92	0.58
Leça	0.74	0.04
Douro	1.00	1.00
Vouga	0.94	0.58
Mondego	1.00	1.00
Lis	0.64	0.00
Rib. Oeste	0.71	0.00
Tejo	1.00	1.00
Sado	0.88	0.56
Mira	1.00	1.00
Guadiana	1.00	1.00
Rib. Algarve	0.96	0.80

A Figura 5.4.1 apresenta os resultados obtidos em termos de percentil abaixo dos qual o ratio disponibilidade versus necessidades é inferior a 1. Apesar de não considerar a variação sazonal das disponibilidades nem a capacidade de regularização interanual proporcionada por algumas albufeiras, é interessante analisar a Figura 5.4.1 para avaliar a distribuição espacial das situações de escassez hídrica.

As zonas a norte do Tejo apresentam valores inferiores a 5%, o que significa que apenas em anos extremamente secos (com períodos de retorno superiores a 20 anos) é que podem vir a ocorrer situações de escassez de água. Exceptua-se a zona a cabeceira da bacia do Mondego, que reflecte o efeito do abastecimento a partir da albufeira da Aguieira. Contudo, parece subsistirem algumas dúvidas, que não é possível ainda esclarecer sobre o resultado a que se chegou nesta zona.

A sul do Tejo, a situação é bastante diferente, com vastas áreas indicando situações de escassez de água para percentis entre os 10 e os 20%, o que corresponde a períodos retorno da ordem dos 5 a 10 anos. Algumas áreas das cabeceiras do Sado, Mira, Caia e ribeiras do Algarve apresentam valores que sugerem situações de escassez de água com períodos de retorno da ordem entre os 2 e os 5 anos. A maioria das situações de escassez de água identificadas na Figura 5.4.1 resultam da necessidade de satisfazer consumos agrícolas significativos em relação à dimensão das respectivas.



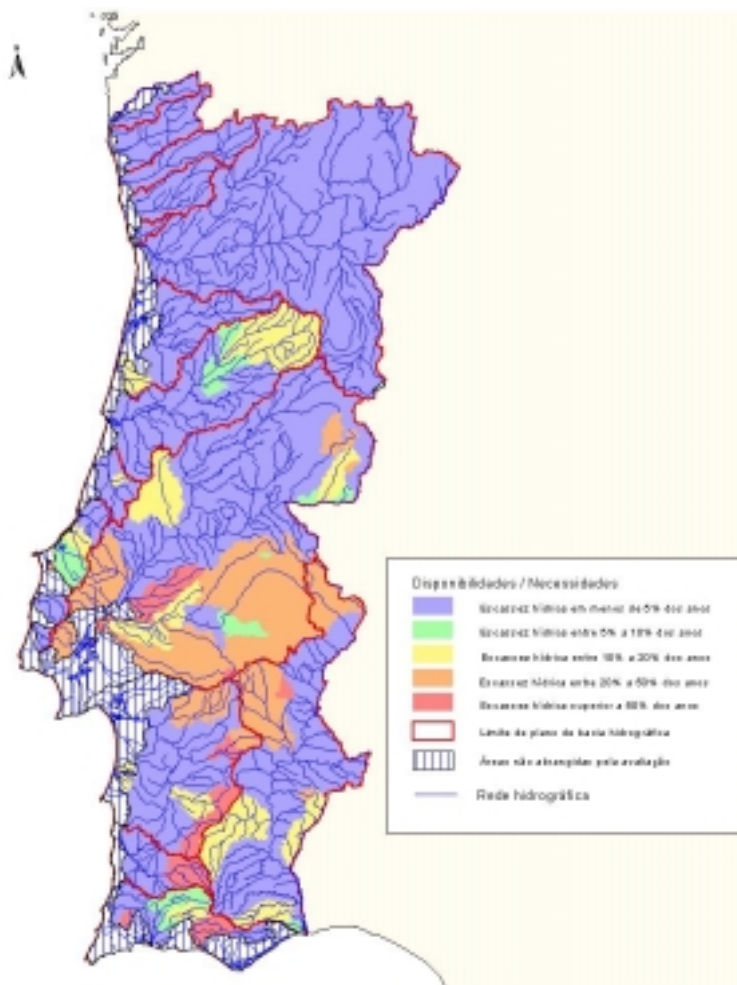


Figura 5.4.1 - Situações de Escassez Hídrica - Águas de Superfície

As análises aqui apresentadas permitiram identificar as bacias mais sujeitas a stress hídrico e permitiram caracterizar sumariamente as condições em que tais situações ocorrem. Para aprofundar os estudos já realizados e melhor quantificar as conclusões já obtidas é necessário realizar balanços à escala mensal e à escala de cada bacia, que considerem os principais cursos de água de cada bacia e as suas principais infra-estruturas.

5.4.2. Situações de Sobre-Exploração de Aquíferos

5.4.2.1. Considerações Gerais

De modo geral, podemos dizer que existe sobre-exploração quando os recursos hídricos subterrâneos são explorados de forma contínua acima dos recursos médios renováveis ou quando dessa exploração resultam consequências indesejáveis, sejam económicas, ecológicas, legais, ou outras. Isto significa que o diagnóstico de uma situação de sobre-exploração ou é feito quando, em resultado das extracções, são ultrapassadas determinadas imposições de gestão, por exemplo a drenagem de uma zona húmida, a diminuição do escoamento de base além de dado limiar, etc., ou encontra-se intimamente ligado ao conceito de recursos subterrâneos renováveis. Dada a dificuldade em estimar estes últimos, a sobre-exploração pode ser diagnosticada através de certos indicadores como sejam a evolução dos níveis piezométricos, a evolução dos caudais de nascentes e do escoamento de base, mudanças no comportamento de zonas húmidas, mudanças na qualidade induzidas pelo abaixamento dos níveis, avanço da interface salina em aquíferos costeiros, etc.

No entanto, esse diagnóstico é complexo devendo ser tidos em conta variadíssimos factores que o podem falsear.

Por exemplo, a diminuição dos caudais das nascentes ou do escoamento de base podem não ser indicadores de sobre-exploração, já que a exploração dos recursos hídricos subterrâneos desses sistemas particulares implica uma diminuição da descarga natural podendo em última análise implicar a cessação total daquela.

A manutenção das descargas naturais constitui uma opção de gestão devendo ser condicionada por constrangimentos de ordem ambiental (manutenção de caudais ecológicos, manutenção de zonas húmidas), económica, legal, etc. Assim, o aproveitamento total, ou parcial, dessas descargas naturais, através da captação de águas subterrâneas, deverá estar sujeito aos referidos constrangimentos, não sendo a diminuição do caudal, até aos valores impostos, uma indicação de sobre-exploração.

A evolução dos níveis piezométricos constitui porventura o melhor indicador de sobre-exploração, contudo na análise da sua evolução devem ser considerados alguns aspectos.

Em primeiro lugar deve ser tido em conta que se existir um aumento das extracções haverá concomitantemente uma diminuição dos níveis, como resposta dinâmica do sistema, sem que tal implique necessariamente uma situação de sobre-exploração. Esta pode ser indicada por uma descida geral dos níveis, em termos médios, sem ser acompanhada de aumento das extracções. Não deverão ser confundidas variações de período curto, por exemplo numa situação de seca, com uma verdadeira tendência generalizada. Esta só poderá ser detectada dispondo-se de uma série suficientemente longa de observações. No entanto, deve-se ter em conta que aquíferos muito extensos, poderão ser caracterizados por uma inércia elevada, pelo que a adaptação a mudanças no padrão de exploração faz-se através de um período de regime transitório, que poderá ser muito longo, dependendo da distância dos pólos de extracção às zonas de recarga, da condutividade hidráulica, etc. Esse período, em que se verificam descidas dos níveis piezométricos, pode ter uma duração de dezenas ou mesmo centenas de anos, mesmo numa situação em que as extracções não ultrapassem os recursos renováveis.

Isto não significa que não se verifiquem carências de abastecimento a partir das águas subterrâneas em alguns sistemas. Essas carências são no entanto devidas na maioria dos casos à fraca capacidade de alguns dos reservatórios subterrâneos nomeadamente os que têm por suporte rochas cristalinas não carbonatadas (rochas ácidas, básicas e metassedimentares). Nestes casos, dá-se o que se pode considerar como uma sobre-exploração temporária, nalguns casos de tipo sazonal.

5.4.2.2. Análise das Tendências de Evolução dos Níveis Piezométricos

De modo a analisar de forma adequada a evolução das séries piezométricas de alguns aquíferos das 4 unidades hidrogeológicas foi utilizado um teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall que possui a capacidade de medir o grau de significância da tendência detectada, com correcção de sazonalidade, com base num conjunto de valores representativo.

Tendo em conta a disponibilidade de séries piezométricas nos sistemas aquíferos de Portugal, só foi possível analisar a evolução temporal da piezometria em 16 sistemas da Orla Meridional e 10 da Orla Ocidental.

Refira-se que as séries analisadas correspondem a períodos de monitorização distintos. Em alguns casos essas estações pelo seu número reduzido e pela sua distribuição espacial, podem não ser representativas do estado piezométrico do sistema.

Regra geral o período estende-se desde os meados da década de 70 até meados do ano 2000.

Nas Figuras 5.4.2 e 5.4.3 encontram-se expressos os resultados finais deste estudo e a sua repartição espacial pelas duas unidades hidrogeológicas.

Orla Meridional

Registaram-se no período em análise tendências significativas de descida de níveis piezométricos na maior parte dos pontos dos sistemas aquíferos Almádena – Odeáxere, Mexilhoeira Grande – Portimão, Ferragudo-Albufeira, Albufeira-Ribeira da Quarteira, Quarteira, Campina de Faro, São Bartolomeu e Monte Gordo. Tendo em conta a localização destas estações de monitorização, perto da costa associado aos problemas de salinização causados pela intrusão marinha detectados aí, leva-nos a concluir que aqueles sistemas se encontravam numa situação de sobre-exploração no período em análise resultado da utilização intensiva dos seus recursos hídricos.



Pelo contrário, em outros sistemas, como no aquífero de Querença-Silves e considerando as características específicas de seu funcionamento cársico, que é diferenciado por sectores, registaram-se tendências diversas de comportamento reveladoras de que o sistema se encontra em equilíbrio entre entradas e saídas, considerando os fenómenos climáticos extremos (períodos de seca) e as solicitações externas (bombagens). Numa situação análoga está o aquífero da Luz de Tavira (maioria de subidas nas tendências detectadas), e o sistema de Almansil-Medronhal (nenhuma tendência significativa detectada).

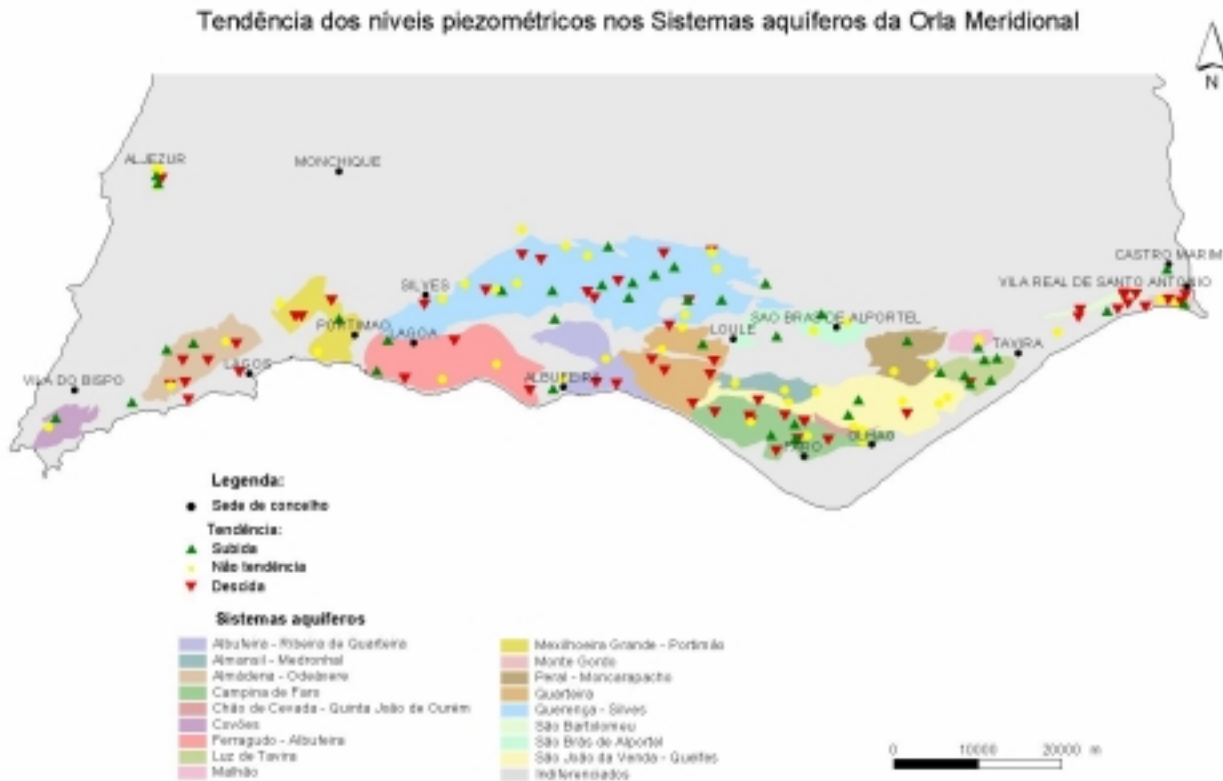


Figura 5.4.2 - Tendências dos Níveis Piezométricos nos Sistemas Aquíferos da Orla Meridional

Orla Ocidental

É reduzido o número de sistemas aquíferos estudados para os quais existe informação piezométrica com representatividade espaço-temporal relevante.

O sistema aquífero Cretácico de Aveiro é o único onde se registou um número significativo de tendências de sinal negativo (90%) para o período que decorreu entre Janeiro de 1981 e Dezembro de 1998. Nesse período as descidas do nível piezométrico oscilaram entre os 0.5 cm/mês e os 7.2 cm/mês, fruto das bombagens intensivas que ocorreram nesse tempo. Esta situação associada ao facto de haver indícios de intrusão salina localizada leva-nos a concluir que o aquífero se encontrava em situação de sobre-exploração, facto que já tinha sido detectado no processo de modelação numérica (ver ponto 5.3.1.3). Uma situação idêntica foi detectada no mesmo período para o sistema aquífero do Liásico a Norte do Mondego (50% de tendências negativas).

Nos outros sistemas analisados observou-se em geral uma subida generalizada de níveis como é o caso do sistema Leirosa-Monte Real (67% de tendências de sinal positivo).

Tendência dos níveis piezométricos nos Sistemas aquíferos da Orla Ocidental

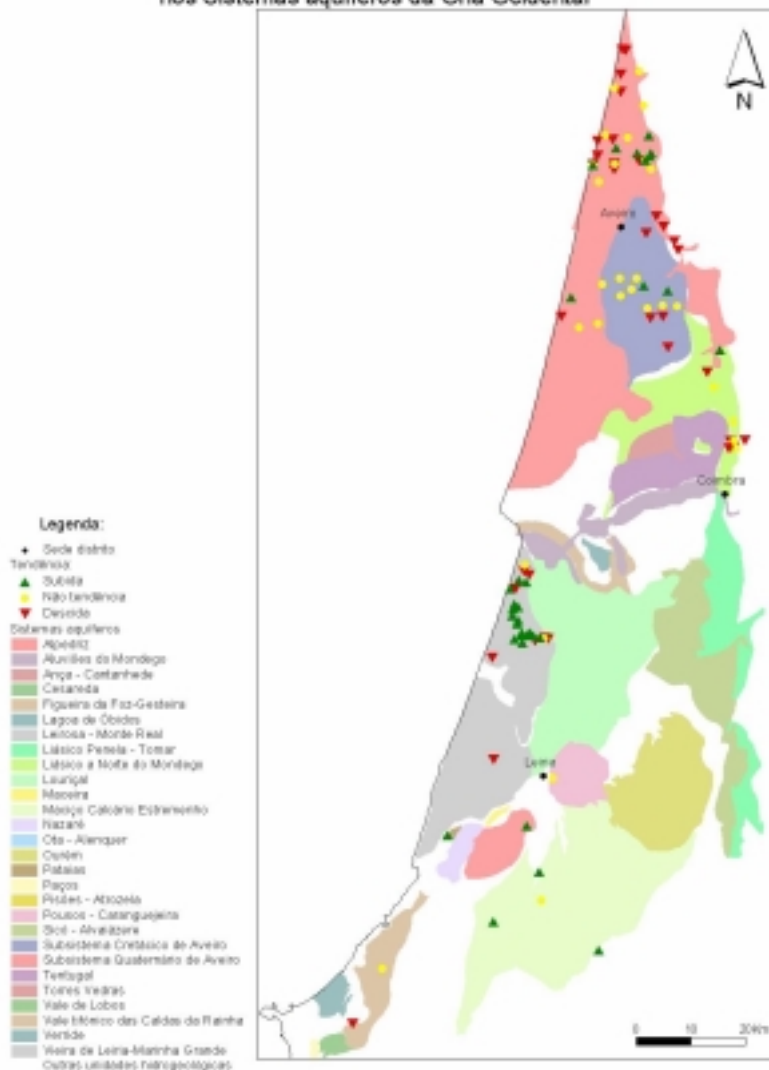


Figura 5.4.3 - Tendências dos Níveis Piezométricos nos Sistemas Aquíferos da Orla Ocidental

O Subsistema Quaternário de Aveiro revelou por sua vez no período em análise, tendências diferentes conforme os sectores monitorizados, com o predomínio de uma situação de equilíbrio (cerca de 50% das séries piezométricas não revelaram tendência).

5.5. Situações Hidrológicas Extremas

5.5.1. Secas

As secas são um fenómeno natural, ciclicamente sentido em muitas regiões do Globo, que, infelizmente, se têm tornado mais frequentes devido ao aumento das necessidades de água resultantes do crescimento da população e da sua qualidade de vida. O conceito de seca tem uma definição lata que designa situações de escassez de água de longa duração que abrangem áreas extensas e tem repercussões negativas nas actividades sócio-económicas e nos ecossistemas. As consequências sociais e económicas dos períodos de escassez de água são enormes, o que justifica a sua caracterização com o objectivo de obter dados que permitam adoptar medidas de redução dos seus efeitos negativos.

A variabilidade climática do nosso país induz com alguma frequência situações de seca. No período de 1940/41 a 1994/95 destaca-se a seca de 1943/44-1944/45, a que está associado um período de retorno de 50



anos no norte do país e de 400 anos no sul (Santos 1998). Outros períodos de seca incluem 1974/75-1975/76 e o final da década de 80 e início da década de 90. Em Portugal existe uma tradição já com 20 anos de estudos de secas que incluem Santos (1981), Cunha (1982), Santos et al. (1983), Correia et al. (1988), Rodrigues et al. (1993), Vaz (1993), Santos (1996, 1998) e Pimenta e Cristo (1998). Os PBH vieram aumentar este conhecimento com estudos regionais que fazem utilização de metodologias comuns. No tema 9 - Situações de Risco e Protecção Civil retoma-se o tratamento desta matéria.

5.5.2. Cheias

5.5.2.1. Enquadramento

A irregularidade climática em Portugal provoca situações de pluviosidade intensa que dão origem a problemas de cheias e de inundações quando a capacidade de escoamento dos leitos menores dos cursos de água é insuficiente para drenar o volume de água afluente, forçando ao seu extravasamento para áreas ribeirinhas, infelizmente ocupadas por actividades humanas. Os problemas de cheias e de inundações estão, portanto, associados a fenómenos climáticos extremos que ocorrem de forma natural, a uma deficiente capacidade de vazão dos cursos de água, por vezes originada por construções junto a linhas de água, e também à ocupação das zonas de inundações naturais dos cursos de água.

Dependendo da dimensão da bacia, as situações de cheia desenrolam-se no espaço de algumas horas ou de vários dias ou semanas. Uma chuvada intensa concentrada sobre uma bacia de pequena dimensão pode provocar um aumento repentino de caudal, conduzindo a situações de inundações em uma ou duas horas. Dada a dimensão destas bacias, os valores de caudal específico são extremamente elevados. A título de exemplo refira-se os valores associados a cheias centenárias de $9 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ e $4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, para bacias hidrográficas da região de Lisboa com 10 km^2 e 100 km^2 , respectivamente (INAG, Síntese do Planos Internacionais).

Em contrapartida, as cheias do vale do Tejo e do Douro são gerados por períodos mais longos de precipitação abrangendo áreas mais vastas. A sucessão de episódios de precipitação que ocorrem no Inverno provoca um aumento do teor de água no solo, a que se associa uma diminuição da sua capacidade de infiltração e um incremento do volume armazenado nas albufeiras existentes, com redução da sua capacidade de regularização do escoamento. Quando este tipo de situação perdura por várias semanas, o caudal aumenta lentamente para valores próximos da capacidade de vazão dos cursos de água, e, neste estágio, um evento pluvioso mais intenso dá origem ao transbordamento do leito dos cursos de água. Pela dimensão das bacias em causa os valores de caudal máximo de cheia são bastantes elevados, podendo ultrapassar os $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ na foz do Douro e do Tejo e os $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ Guadiana, na foz do Guadiana (INAG, Síntese do Planos Internacionais). Os valores de caudal específico são, todavia, bem menores.

Para além da precipitação e da área da bacia, outros factores condicionam a ocorrência de cheias. A origem dos eventos pluviosos, que pode ser a passagem de sistemas frontais pelo território nacional ou a ocorrência de fenómenos convectivos, é um desses factores. As características destes fenómenos meteorológicos são bem diversas assim como a capacidade de previsão da sua ocorrência. A altitude é um outro factor que condiciona a distribuição da precipitação.

As características fisiográficas da bacia, como a forma, relevo e densidade de drenagem, determinam a forma do hidrograma de cheia, e as características físicas, como a geologia, solo e coberto vegetal, condicionam os processos de retenção de água na bacia, e sobretudo no solo. Finalmente, as características geométricas e físicas da secção transversal dos cursos de água, o transporte sólido e a proximidade de zonas com influência de maré determinam a velocidade de escoamento e o nível da água.

A ocorrência de cheias é assim um processo complexo, condicionado por diversos factores, muitos deles com características locais. A sua caracterização para todo o território nacional não pode, portanto, deixar de ter uma caracter genérico e de enquadramento. É fundamental completar e actualizar os estudos existentes a uma escala maior, tendo por objectivo a estimativa de valores de caudal de cheia e a delimitação das zonas de inundações. Com base nesses resultados será possível actuar no campo da prevenção e mitigação das consequências das cheias.



5.5.2.2. Análise das Precipitações Intensas e Caudais Máximos de Cheia

De acordo com o exposto anteriormente, os períodos que interessam para a caracterização de eventos climáticos indutores de situações de cheia variam entre a meia hora e o mês. A análise estatística dos dados provenientes das redes de monitorização tem permitido a vários autores caracterizar a duração, frequência e intensidade da precipitação, uma tarefa em constante actualização à medida que se obtém novos dados ou se prossegue com a leitura e análise dos arquivos nacionais.

Brandão e Rodrigues (1998) propõem os mapas das Figuras 5.5.1 e 5.5.2 apresentados de seguida para os valores de precipitação máxima para uma duração de 30 minutos e período de retorno de 100 anos e para os valores de precipitação diária e período de retorno de 100 anos. Verifica-se que os valores mais elevados de precipitação ocorrem nas serras Algarvias e nas cabeceiras das bacias do Noroeste. Os valores da precipitação máxima para uma duração de 30 minutos e período de retorno de 100 anos variam entre os 26 mm e os 66 mm, enquanto que os valores da precipitação máxima diária variam entre 70 e 310 mm.

A estimativa dos valores de caudal de cheia, consequência dos fenómenos de precipitação intensa já caracterizados, exige a análise estatística das séries de valores observados ou a modelação matemática do processo de transformação da precipitação em escoamento. O dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas, nomeadamente descarregadores, e os projectos de controlo de cheias têm produzido numerosos estudos que propõem valores de caudal de cheia para diversos períodos de retorno. A maioria destes trabalhos tem um carácter localizado, sendo raros os estudos de âmbito nacional que apresentem uma abordagem completa, coerente e consistente.

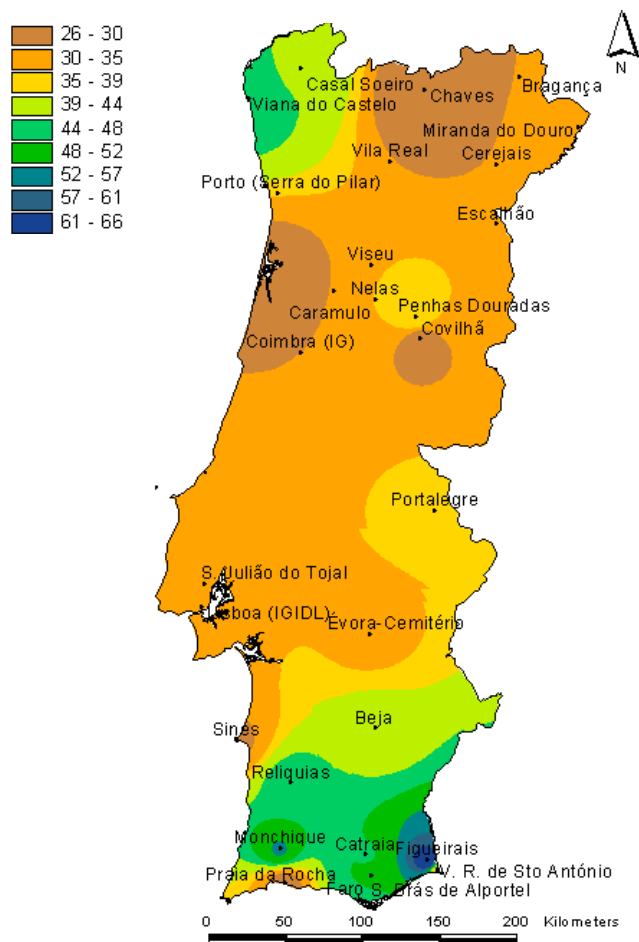


Figura 5.5.1 - Precipitação Máxima em 30 Minutos para um Período de Retorno de 100 anos

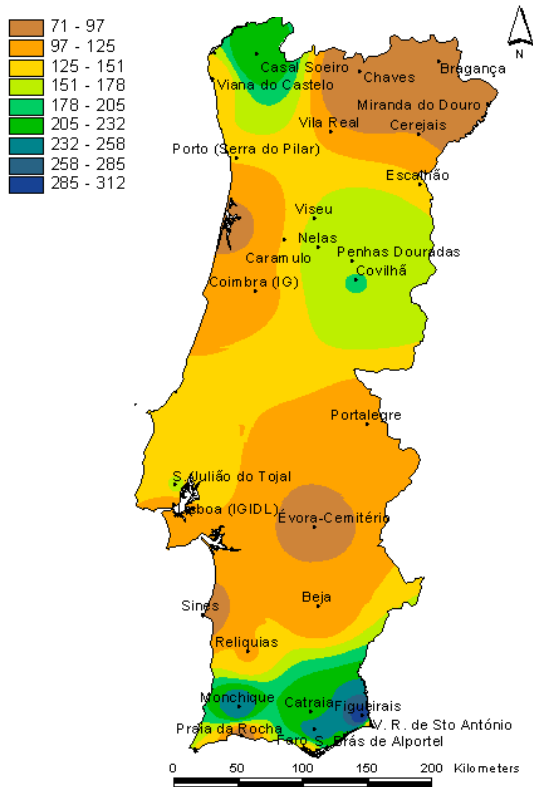


Figura 5.5.2 - Precipitação Máxima Diária Para um Período de Retorno de 100 anos



Figura 5.5.3 - Caudal de Cheia Específico Para um Período de Retorno de 100 anos

Os trabalhos dos PBH avançaram com um conjunto de estimativas de caudal de ponta para cerca de 130 pontos, espalhados pelo território continental (Figura 5.5.3). Embora não seja possível garantir a consistência dos valores apresentados, a sua análise permite caracterizar a ordem de grandeza dos fenómenos de cheia. Os valores de caudal de cheia específicos associados a um período de retorno de 10 anos variam entre 0,1 m³/s/km² e os 4 m³/s/km², valores que correspondem a cerca de 0,4 mm/hora e os 16 mm/hora. Já os valores de caudal de cheia específicos associados a um período de retorno de 100 anos variam entre 0,1 m³/s/km² e os 10 m³/s/km², valores que correspondem a cerca de 0,4 mm/hora e os 40 mm/hora.

O caudal específico depende de forma significativa da dimensão da bacia. A Figura 5.5.4 mostra que os valores acima de 2 m³/s/km² só ocorrem em bacias com áreas inferiores a 2000 km². É também evidente a enorme dispersão das estimativas resultantes da variabilidade de outros factores que não são realçados pela figura. A localização geográfica é um desses factores, mas é interessante verificar que na Figura 5.5.4 apenas se destacam as estimativas das bacias do Noroeste.

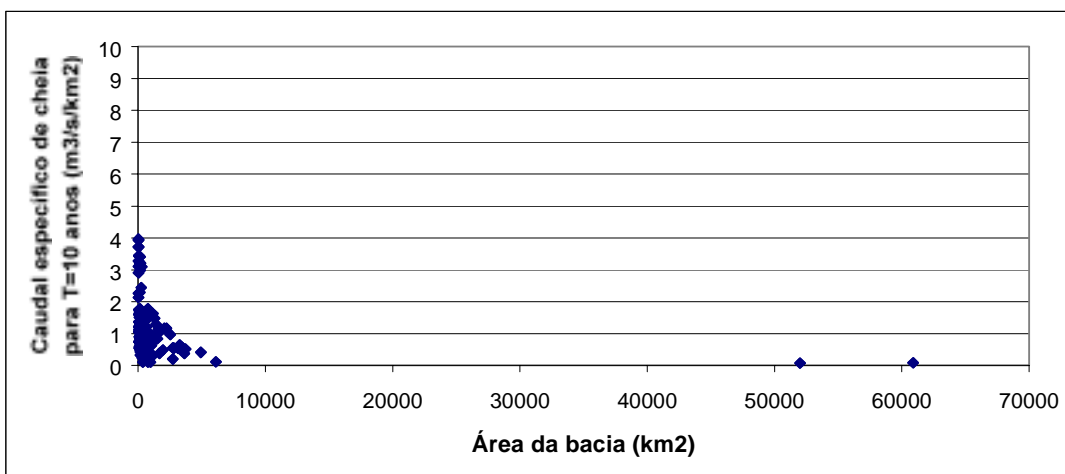


Figura 5.5.4-A – Caudais Máximos de Cheia por Unidade de Área (T=10 Anos)

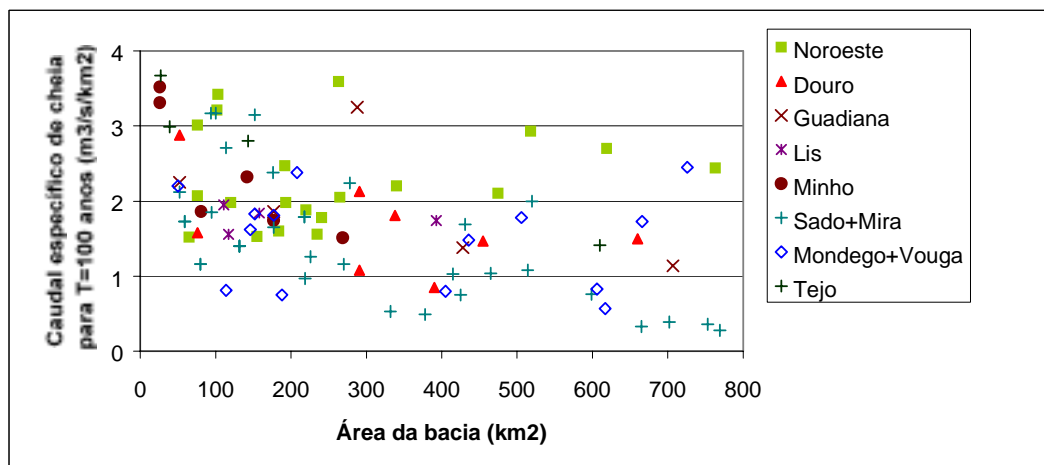


Figura 5.5.4.B – Caudais Máximos de Cheia por Unidade de Área (T=100 Anos)



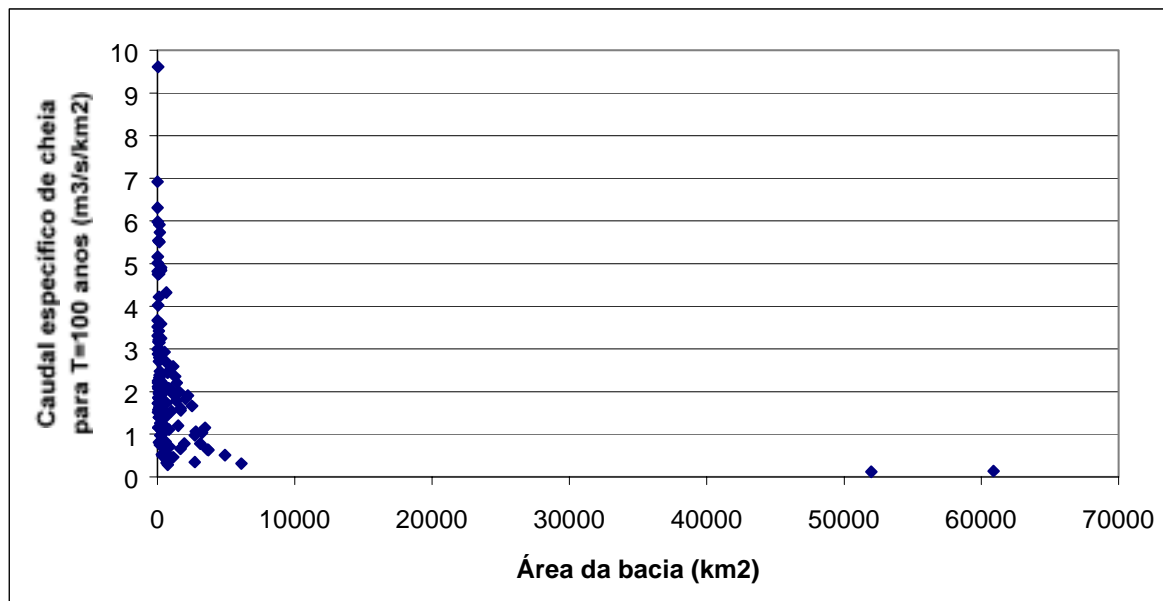


Figura 5.5.5.A - Caudais Máximos de Cheia por Unidade de Área (T=100 Anos)

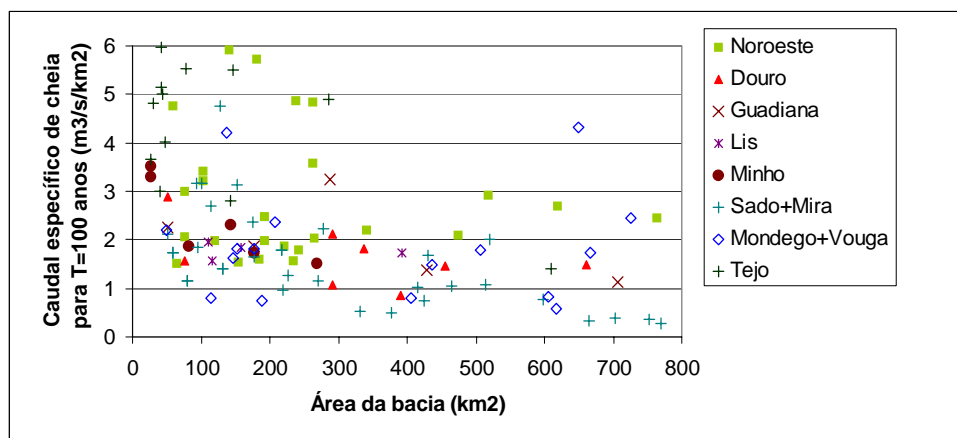


Figura 5.5.5.B - Caudais Máximos de Cheia por Unidade de Área (T=100 Anos)

5.5.2.3. Zonas de Ocorrência de Cheia

No âmbito do PNA, e com a colaboração Serviço Nacional de Protecção Civil e das suas delegações distritais, foi realizado uma compilação dos locais onde ocorreram cheia (Figura 5.5.6). A caracterização destes locais no que diz respeito à frequência, magnitude e consequências de cada situação inventariada ainda está incompleta, mas já é possível avaliar a distribuição espacial deste problema.

Não existe uma estimativa fidedigna dos custos anuais das consequências das cheias em Portugal. Os efeitos mais correntes são o corte de vias de comunicação, a inundação de campos agrícolas, de habitações e de estabelecimentos comerciais e industrias e, infelizmente, por vezes a perda de vidas humanas. A gravidade destas situações não decorre directamente da magnitude das cheias, dependendo também da rapidez do incremento do nível da água, do estado de preparação das populações e do seu grau educação cívica.

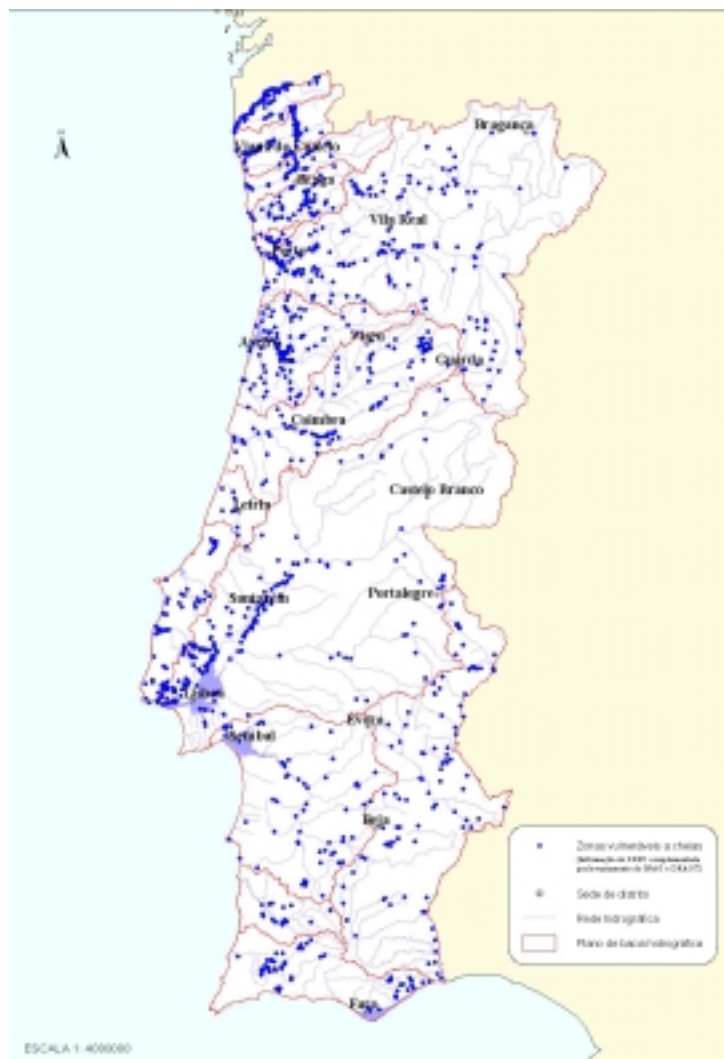


Figura 5.5.6 – Zonas de Ocorrência de Cheia

5.5.2.4. Lacunas de Conhecimento das Cheias e Problemas Associados

Embora a comunidade técnico-científica portuguesa tenha ao longo dos anos produzido vários trabalhos, quer de natureza teórica, testando e propondo metodologias, quer de natureza mais prática, avançando com estimativas para casos específicos, existem ainda lacunas de conhecimento nesta temática que urge colmatar. Duas áreas devem merecer particular atenção:

- A proposta de metodologias expeditas para o cálculo de valores de caudal máximo de cheia em numerosas situações de dimensionamento de infra-estruturas que não justificam um estudo mais aprofundado. Existem vários estudos que constituem componentes importantes desse trabalho, mas é necessário reuni-los, validá-los e completá-los num único documento que sirva de referência a todos os técnicos nacionais.
- A identificação e caracterização das áreas sujeitas a cheias, incluindo a definição de zonas inundáveis para diversos períodos de retorno. Este trabalho é fundamental para o fortalecimento de esquemas de seguros que penalizem a construção em zonas de cheia e, dessa forma, promovam um melhor ordenamento do território.

Para completar os trabalhos propostos é necessário prosseguir com o esforço em curso de recolha e análise de um vasto conjunto de dados que inclui séries de máximos de precipitação, de nível hidrométrico e de caudal, hietogramas de eventos pluviosos intensos, medições de caudal, características geológicas e pedológicas das bacias e topografia das zonas de inundação. Os trabalhos exigem a análise estatística de séries de valores máximos, a monitorização e tratamento de dados de precipitação associados a períodos

curtos, a definição de hietogramas de projecto, a análise das medições existentes de caudal, a definição de curvas de vazão, o levantamento topográfico das zonas de cheia e a modelação hidrológica e hidráulica.

Merece uma referência particular a necessidade de prosseguir e de alargar o âmbito da monitorização de valores elevados de caudal que suportem o estabelecimento de curvas de vazão, passíveis de ser utilizadas em estudos de cheia. Em simultâneo, será necessário continuar o esforço de digitalização das medições existentes de caudal e de re-análise das curvas de vazão em utilização.

5.6. Alterações Climáticas

5.6.1. Introdução

As alterações climáticas constituem um dos maiores desafios científicos da época actual; a comprová-lo estão os grandes programas e projectos de investigação internacionais promovidos e patrocinados pela organização meteorológica mundial e o conselho internacional das uniões científicas, como o programa sobre variabilidade e predictabilidade do clima (clivar), e outros instrumentos como a convenção quadro para as alterações climáticas das nações unidas (unfccc) e o painel intergovernamental para as alterações climáticas (ipcc), cujos relatórios periódicos, apoiados na investigação da comunidade científica, constituem o estado da arte da ciência das alterações climáticas, e servem de base às negociações de escala global para a protecção do ambiente à escala global.

A ciência das alterações climáticas, não sendo embora uma ciência exacta, assenta em conceitos e métodos que importa conhecer com rigor e que se baseiam na física, química e matemática. alguns daqueles conceitos e métodos são apresentados, de forma breve, nas próximas secções.

5.6.1.1. Conceitos de Sistema Climático e de Clima

O sistema climático, que compreende a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a litosfera e a biosfera, é demasiado complexo para poder ser descrito em pormenor, i.e. através da caracterização temporal dos estados instantâneos dos seus cinco componentes; há, assim, que caracterizá-lo por diferentes estatísticas (e.g. Valores médios, desvios padrão, momentos de ordem mais elevada, valores extremos) relativas a determinado período temporal, as quais, em conjunto, definem o clima desse período.

O sistema climático não é isolado e interactua com o universo exterior por meio de transferências radiativas, sendo a radiação solar a principal fonte de energia para o sistema.

O conceito de clima como conjunto de estatísticas do sistema climático é, no entanto, desnecessariamente amplo e pouco prático, ainda mais porque os subsistemas do sistema climático são caracterizados por escalas temporais muito diferentes (e.g. Dias para os movimentos de larga escala da atmosfera e centenas de milhares de anos para a litosfera). Nestas condições, e tendo em conta que o meio ambiente directo da espécie humana é a atmosfera, pode considerar-se o clima como definido por um conjunto de estatísticas da atmosfera global ou limitada a determinada região, calculadas sobre a colectividade de estados instantâneos (estado de tempo) ocorridos num determinado período (com duração de cerca de 30 anos), sobre a região considerada; assim, por exemplo, pode falar-se do clima da Europa no período 1931-60 ou no triénio 1961-90. No período considerado, os estados de tempo constituem anomalias de maior ou menor amplitude, as quais se vão reflectir não nos valores médios mas sim na variância (e outros momentos) e nos valores extremos; por exemplo, o fenómeno enso (“el-niño-southern oscillation”), que provoca anomalias significativas de tempo em várias regiões do globo, faz parte do clima, embora se reflecta nas medidas de variabilidade interna da atmosfera no período considerado.

Nesta concepção mais restrita de clima diz-se que os restantes componentes do sistema climático exercem sobre a atmosfera um efeito forçador, resultante de processos de interacção mútua que têm lugar nas fronteiras comuns com a atmosfera; por ex: o oceano pode forçar a atmosfera através de fluxos de calor (fluxos de calor sensível ou de entalpia) e da evaporação de água (fluxos de calor latente).

Outros mecanismos forçadores do clima podem estar associados a alterações de parâmetros orbitais da terra ou a variações da actividade solar.



5.6.1.2. Variabilidade Climática. Alteração Climática

Se os climas relativos a períodos de tempo diferentes forem significativamente distintos do ponto de vista estatístico (i.e. para um nível de confiança previamente fixado), diz-se que teve lugar uma mudança ou variação climática.

Se as causas de uma variação do clima forem independentes da actividade humana (causas naturais) a mudança climática designa-se por variabilidade climática. Se a variação observada do clima for consequência da actividade humana, modificadora da composição da atmosfera à escala global, a mudança climática designa-se por alteração climática. A variabilidade climática diz-se forçada se for devida a alterações dos mecanismos forçadores do sistema (e.g. alteração da actividade solar) e diz-se livre se resultar da dinâmica interna do sistema, de natureza irregular, instável ou caótica; uma variação natural do clima pode no entanto ser consequência de ambos os mecanismos. O ENSO constitui uma anomalia climática natural, relativamente a um clima de referência definido num período que não contenha aquele em que ocorreu o fenómeno; assim, o ENSO de 1997-98, constituiu uma anomalia climática relativamente ao clima de referência no período 1961-90.

Uma mudança de clima pode resultar da acção conjunta de causas naturais e da actividade humana, factores que não são necessariamente independentes. Se, à mudança observada, se subtrair a componente devida apenas a causas naturais (“ruído climático”), obter-se-á a alteração climática, de origem antropogénica (“sinal climático”).

5.6.1.3. Actividade Humana e Alterações Climáticas

A actividade humana – principalmente a crescente utilização de combustíveis fósseis e a deflorestação tem contribuído para um rápido e substancial aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono e de outras substâncias absorventes da radiação infravermelha, i.e. de gases com efeito atmosférico de estufa (e.g. metano, óxido nitroso, hexafluoreto de enxofre, substâncias depletoras da camada de ozono).

O desequilíbrio radiativo, resultante da alteração da composição da atmosfera de origem antropogénica, manifesta-se por um decréscimo de radiação infravermelha enviada para o espaço na tropopausa, i.e. por um forçamento radiativo da atmosfera e da superfície do globo (reforço do efeito natural de estufa), que vai implicar um aumento da temperatura média global (aquecimento global provocado pela actividade humana). Se, por exemplo, a quantidade de dióxido de carbono presente na atmosfera passasse bruscamente para o dobro (sem que nada mais se alterasse) o forçamento radiativo seria da ordem de 4 Wm^{-2} implicando uma subida da temperatura média da troposfera da ordem de 1.2° C ; no entanto, tendo em conta que com o referido forçamento radiativo outras alterações se verificariam, incluindo a acção de mecanismos de realimentação, o aumento estimado da temperatura média da troposfera seria de 2.5° C .

Este cenário de alteração climática, como aliás qualquer outro cenário, depende do cenário de emissão de gases com efeito de estufa adoptado, o qual condiciona o forçamento radiativo. No entanto, o aumento da quantidade de dióxido de carbono (e de outros gases com efeito de estufa) presente na atmosfera, bem como a rapidez com que se tem processado, leva a considerar como bastante realista a estimativa anterior, de considerável magnitude, e que certamente será acompanhada de anomalias climáticas de grande amplitude à escala global.

5.6.2. Modelos Globais de Clima

Os modelos globais acoplados atmosfera-oceano (AOGCMs), descritos pelas equações da termohidrodinâmica, constituem, apesar das suas limitações por vezes severas, a única ferramenta presentemente disponível para não só reproduzir de forma realista o clima actual como também para quantificar a resposta do sistema climático a forçamentos radiativos decorrentes da actividade humana, i.e. para construir cenários ou projecções válidas do clima futuro.

Com efeito, apenas os AOGCMs têm potencialidade para simular, ainda que imperfeitamente e de forma por vezes rudimentar, os complexos processos não lineares, físicos e dinâmicos, e os mecanismos de realimentação (“feedback”) que têm lugar no sistema climático; esta circunstância decorre do facto de apenas aqueles modelos terem por base os princípios fundamentais da física, que regem o sistema climático, traduzidos por equações matemáticas, susceptíveis de serem resolvidas numericamente, contrariamente ao que acontece com modelos estatísticos ou modelos empíricos.



Os AOGCMs têm uma resolução horizontal típica de poucas centenas de quilómetros, uma resolução vertical da ordem de um quilómetro e possuem representações mais ou menos elaboradas de processos físicos como sejam, por exemplo, os associados à radiação (solar e terrestre), à física das nuvens, à convecção e à turbulência na camada limite planetária.

As simulações do clima actual produzidas por AOGCMs são razoavelmente aceitáveis, no que respeita a algumas variáveis termohidrodinâmicas características do movimento e de processos de larga-escala. No que respeita a fenómenos de pequena escala e a certos elementos de clima, por ex: à precipitação, já a capacidade de representação da realidade observada é mais reduzida.

Outro aspecto de importância crucial é o que decorre do facto de a ciência das alterações climáticas não ser uma ciência exacta; nestas condições, nas representações do clima actual e nas projecções do clima futuro provenientes de diferentes modelos globais há incertezas, por vezes ainda inaceitavelmente grandes. Um esforço considerável de investigação está presentemente em curso no sentido de reduzir incertezas, sabendo-se no entanto que não será possível reduzi-las a zero, uma vez que nos processos que condicionam o clima existe sempre um elemento de aleatoriedade (estocástico).

5.6.3. Regionalização das Alterações Climáticas

Uma eventual alteração climática à escala global assume características regionais muito variáveis de região para região; por exemplo, um aquecimento global da ordem de 2.5° C não se vai manifestar por um aumento de temperatura da mesma ordem de grandeza em todas as regiões do globo; como o indicam os AOGCMs, as diferenças regionais podem ser significativamente elevadas. Assim, cenários globais do clima futuro fornecidos por AOGCMs (os quais, por sua vez, decorrem de cenários de emissões de gases com efeito atmosférico de estufa) têm de ser convertidos em cenários regionais, com recurso a técnicas apropriadas.

A regionalização das alterações climáticas é um requisito para o estudo de impactes em diferentes domínios, desde o hidrológico até ao sócio-económico e ao da saúde.

Por exemplo, no caso da Europa, antecipam-se impactes muito relevantes da eventual alteração climática em curso, principalmente no que se refere a variações nas frequências de ocorrência de fenómenos extremos e na precipitação, com significativas consequências nos recursos hídricos; especificamente, esperam-se mais cheias no norte e mais secas em algumas regiões do sul da Europa, situações que vão afectar a procura e o fornecimento de água e, exigir novas legislações internas e novos acordos entre governos.

As técnicas de regionalização do clima, dividem-se essencialmente em duas categorias: estatísticas e dinâmicas. Na primeira, estabelecem-se relações de natureza estatística, entre elementos do clima regional e parâmetros de larga-escala, característicos da circulação atmosférica e do forçamento oceânico, com base nas quais cenários de alteração climática global são desagregados para a escala regional. Na segunda, o clima regional é deduzido da colectividade de estados gerados por modelos dinâmicos de alta resolução, possuindo representações elaboradas de processos físicos de escala regional/local, operando com condições fronteira fornecidas por modelos globais de larga-escala.

5.6.4. Tendência Observada nos Climas da Península Ibérica e de Portugal

A temperatura média anual em Portugal continental varia entre 7° C nas regiões montanhosas do interior e 18° C na costa sul; o ciclo anual revela uma variação progressiva e regular, com um mínimo em Janeiro e um máximo em Agosto.

Durante o último século, sobre a Península Ibérica, a temperatura média anual aumentou cerca de 1.6°C, tendo os anos mais quentes sido os de 1989, 1995 e 1997.

O referido aumento da temperatura média distribuiu-se desigualmente pelas estações invernal e estival, às quais corresponderam variações médias de aproximadamente 2°C e 1.4°C.

Todos estes valores são relativos ao clima de referência no período 1961-90, caracterizado por uma temperatura média sobre a Península Ibérica da ordem de 13.1°C.

A precipitação média anual em Portugal continental é da ordem de 960 mm; a variabilidade espacial é grande, com valores extremos da ordem de 3000 mm no Minho e de 500 mm no Alentejo; o Inverno é a



estação chuvosa; num ano, o número médio de dias com precipitação superior ou igual a 10 mm varia de entre 15-25 nas regiões costeiras a 50-65 nas regiões montanhosas.

No que respeita à evolução da precipitação de Inverno (Dezembro a Fevereiro) no último século, verifica-se a existência de uma tendência negativa sobre a Península Ibérica, em particular a partir de 1980; secas de inverno, relativamente rigorosas, observaram-se em 1988/89, 1991/92 e 1992/93; a referida tendência negativa observa-se também nas restantes estações do ano.

Em Portugal continental, é notável o decréscimo pronunciado da precipitação, no mês de Março, o qual está associado a uma redução acentuada da frequência de ocorrência, em Março, de sistemas de tempo com precipitação; esta redução está, por sua vez, muito bem anticorrelacionada com o índice da Oscilação do Atlântico Norte (NAO), sendo o coeficiente de correlação de -0.6 ao nível de confiança de 99%.

Deve acentuar-se que as tendências observadas não podem ainda considerar-se como sendo consequência exclusiva da actividade humana; por outras palavras, as anomalias referidas podem ser parcialmente devidas à variabilidade natural do clima da Península Ibérica.

Às variações observadas da temperatura e precipitação estão associadas alterações no ciclo hidrológico, quer na Península Ibérica como um todo, quer em Portugal em particular; aquelas alterações resultam de anomalias verificadas no ciclo anual da precipitação (manifestadas na forma como os totais anuais se distribuem pelos doze meses do ano, nas quantidades de precipitação mensal, nos números de dias com precipitação em cada mês e na intensidade da precipitação), e de anomalias térmicas condicionantes da evaporação e, conseqüentemente da humidade do solo; estas variações vão, por seu turno, reflectir-se no escoamento superficial e na recarga dos aquíferos subterrâneos.

5.7. Regime de Caudais e Sedimentos

5.7.1. Introdução

Os sedimentos constituem uma fonte valiosa de informação ecológica sobre um sistema aquático, permitindo a detecção de fontes poluidoras esporádicas e uma maior exactidão na análise de poluentes metálicos, cujos teores nos sedimentos são muito superiores aos da água. Permitem ainda uma caracterização cronológica da poluição hídrica pela análise comparativa da concentração de poluentes nas diferentes camadas dos sedimentos recolhidos em tubo (Gonçalves, 1987).

Como substrato dos ecossistemas aquáticos, as características dos sedimentos podem condicionar o desaparecimento ou aparecimento e crescimento de determinadas espécies vegetais e animais, pelo que há, neste domínio, uma ponte com a monitorização ecológica e a utilização de indicadores biológicos. Se por um lado, os volumes e qualidade da água e sedimentos afluentes a uma albufeira fazem variar o seu ecossistema, a acumulação de sedimentos nas albufeiras, principalmente naquelas com capacidade de retenção anual ou interanual, provoca erosões a jusante das barragens por libertação de água mais limpa e com maior capacidade de transporte. Esta alteração dos regimes de transporte sólido, leva obviamente a uma modificação da dinâmica natural destes ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, por vezes bastante profunda. Para o conhecimento destes processos a monitorização sedimentológica terá que incluir não só a determinação dos volumes de sedimentos transportados e depositados e a caracterização granulométrica, química e biológica dos sedimentos, como deve também ser acompanhada de uma caracterização ecológica dos ecossistemas.

Com efeito, esta preocupação de monitorização física, química e biológica do leito dos meios lóticos e lênticos, para caracterização dos ecossistemas — que vem contemplada na recente Directiva Quadro da Água, concretamente no Anexo V com o objectivo de fornecer dados da geometria, estrutura e substrato dos fundos, que permitam classificar os estados ecológicos e fixar normas de protecção das comunidades bióticas aquáticas nos sedimentos — está presente na reestruturação das redes de monitorização de recursos hídricos que o Instituto da Água vem a empreender desde 1996. A revitalização da rede sedimentológica nela proposta incidiu primeiro a Sul do rio Tejo (1998), região mais seca e vulnerável à erosão, e foi complementada em 2000 com a região a Norte do Douro. Para dar resposta à crescente necessidade de informação batimétrica de albufeiras e cursos de água, bem como de dados de transporte sólido e das características físicas, químicas e biológicas do leito dos ecossistemas de água interiores, a rede



sedimentológica em implementação compreende estações hidrométricas em cursos de água, onde serão efectuadas amostragens de caudal sólido e de material de fundo, bem como albufeiras, onde são realizados levantamentos batimétricos e recolhas de material de fundo.

5.7.2. Medir Para Conhecer

A necessidade de informação de caudais sólidos transportados, bem como das características e dinâmica do leito dos rios Douro, Mondego e Tejo, principalmente como suporte a grandes obras hidráulicas, esteve na base do início das campanhas de medição de transporte sólido solicitadas pela então Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos (DGSH) ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no final da década de 60 e década de 70.

Na sequência destes trabalhos, e à luz da experiência e conhecimentos adquiridos durante as campanhas de medição efectuadas nos anos 70, foi criada, em 1980, a rede sedimentológica por disposições legais decorrentes das actividades da Divisão de Hidrologia Fluvial da então Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos (DGRAH). Em 1990 deixaram de se recolher amostras de fundo, e em 1993 acabaram definitivamente as medições de caudal sólido em suspensão nas 10 estações que ainda se encontravam em funcionamento.

5.7.3. Da Informação ao Conhecimento

Como foi referido, a rede sedimentológica da DGRAH funcionou durante a década de 80 e princípio dos anos 90. Dessa rede existe informação relativa a caudal sólido em suspensão em 109 estações hidrométricas. Em 28 pontos de amostragem, para além de dados de transporte de sedimentos em suspensão, existem dados de granulometria do material de fundo. Em alguns locais fizeram-se amostragens apenas durante um ou dois anos. Por outro lado, estas recolhas não foram efectuadas de modo regular, pelo que os elementos disponíveis são, muitas vezes, em número muito reduzido. No entanto, em alguns locais de amostragem, o elevado número de dados constitui uma base preciosa para caracterização temporal dessas secções e para a monitorização da rede sedimentológica a implementar. Com base nos dados de caudal sólido em suspensão é possível determinar as Curvas de Caudal Sólido em Suspensão (relação Caudal Líquido – Caudal Sólido em Suspensão) para cada uma das estações. A existência de um número significativo de dados de granulometria de fundo permite uma caracterização física do material de fundo. A partir da relação Caudal Líquido – Caudal Sólido em Suspensão e da série de caudais líquidos para cada secção, são calculados os caudais sólidos em suspensão que passam nessa secção. A inexistência de recolhas simultâneas de material de fundo e de caudal sólido em suspensão e a impossibilidade de recolha de amostras em situações de cheia faz com que, em grande parte dos casos, os dados destas campanhas não sejam representativos de toda a série de caudais, e não permitam a generalização das curvas obtidas, conforme se pode observar na Figura 5.7.1 para a estação de Ómnias no rio Tejo (ÁLVARES, 1997). Embora os dias de recolha de dados de caudal sólido acompanhe, na sua maioria, os momentos de aumento e decréscimo dos caudais de toda a série, não atinge os maiores picos de caudal registados.

Nas Figuras 5.7.2 e 5.7.3 apresentam-se as Curvas de Caudal Sólido em Suspensão, estabelecidos por ÁLVARES (1997), para as estações das bacias do rio Tejo e Guadiana onde existem os melhores conjuntos de dados de transporte sólido da rede em funcionamento até 1993/94.

Estas expressões permitem estimar a ordem de grandeza dos volumes de sedimentos transportados por reconstituição das séries de caudais sólidos ao longo do rio principal.

Com base nos dados de granulometria do material de fundo é possível construir as curvas granulométricas para cada amostra e calcular outros indicadores importantes para cada uma das estações: os diâmetros característicos (Figuras 5.7.4 e 5.7.5 e Quadros 5.7.1 e 5.7.2 - ÁLVARES, 1997).

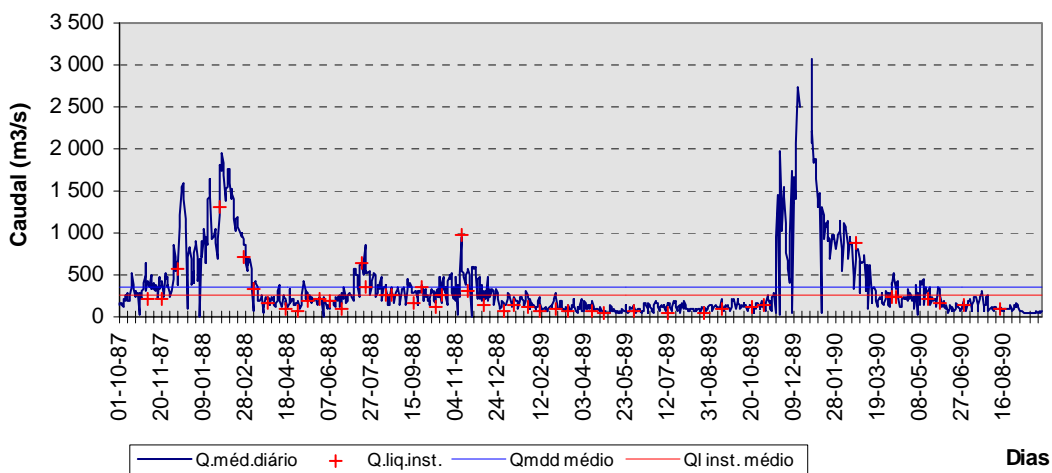


Figura 5.7.1 - Representatividade da Amostra - Estação de Ómnias no Rio Tejo

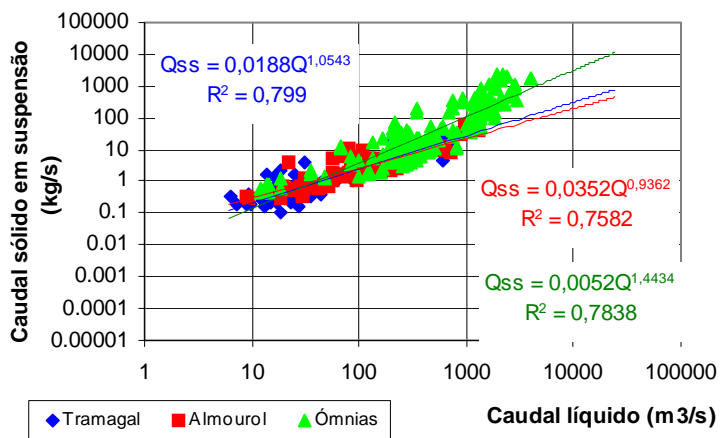


Figura 5.7.2 - Curvas de Caudal Sólido em Suspensão - Estações do Rio Tejo

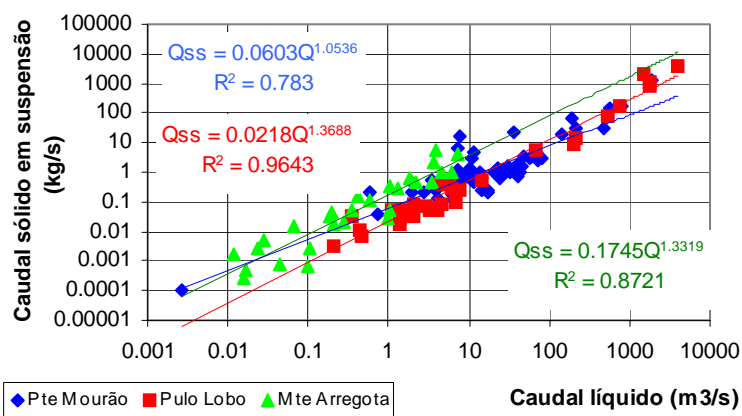


Figura 5.7.3 - Curvas de Caudal Sólido em Suspensão - Estações da Bacia do Rio Guadiana

Como se pode observar, o material aluvionar das secções de medição da bacia do rio Guadiana é bastante mais grosseiro, apresentando também uma maior variabilidade de valores dos diâmetros característicos, o que se explica pela maior torrencialidade dos regimes de escoamento nos cursos de água desta bacia.



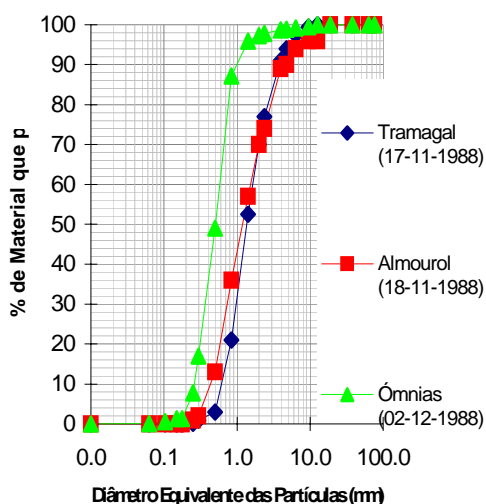


Figura 5.7.4 - Curvas Granulométricas Características Para as Estações do Rio Tejo

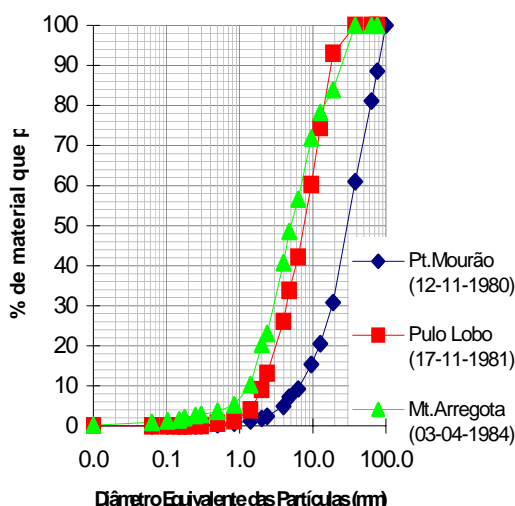


Figura 5.7.5 - Curvas Granulométricas Características Para as Estações da Bacia do Rio Guadiana

Quadro 5.7.1 – Diâmetros Característicos do Material de Fundo nas Estações do Rio Tejo

Estação	Período de recolha	Diâmetro das partículas (mm)							
		Média				Desvio Padrão			
		D5	D20	D50	D90	D5	D20	D50	D90
Tramagal	1984/1990	0.44	0.66	1.34	5.22	0.08	0.11	0.52	3.29
Almourol	1984/1989	0.38	0.64	1.55	6.15	0.07	0.10	0.51	3.39
Ómnias	1984/1990	0.28	0.42	0.69	2.11	0.05	0.10	0.19	1.40

Quadro 5.7.2 - Diâmetros Característicos do Material de Fundo nas Estações da Bacia do Rio Guadiana

Estação	Período de recolha	Diâmetro das partículas (mm)							
		Média				Desvio Padrão			
		D5	D20	D50	D90	D5	D20	D50	D90
Mte. Arregota	1983/1990	0.56	2.18	7.05	27.26	0.66	3.58	10.82	16.95
Pte. Mourão	1979/1985	3.74	10.50	24.08	50.65	4.34	8.59	13.53	19.10
Pulo do Lobo	1980/1985	1.21	4.11	10.86	31.70	1.76	6.17	11.51	20.00

Com base na manipulação em SIG da informação de base relevante para o fenómeno erosivo (precipitações extremas com intensidades em 30 minutos associadas a um período de retorno centenário, tipo pedológico, coberto vegetal e declividade do relevo — Fig. 5.7.6) foi possível mapear a classificar a vulnerabilidade à erosão, onde sobressai o sul do País e, neste, a bacia do Guadiana (Fig. 5.7.7).

A inexistência de recolha de amostras de transporte sólido por arrastamento e, muitas vezes, dos parâmetros hidráulicos necessários ao cálculo desta forma de transporte ou para determinação do transporte total introduz erros significativos no cálculo dos volumes de sedimentos transportados pelo que é imperativo que uma rede de monitorização sedimentológica.

Os relatórios publicados pelo LNEC nos anos 70 e 80 incluem também perfis transversais efectuados na década de 70 no troço do rio Douro: entre a Central Térmica da Tapada do Outeiro e a Foz do rio Sousa (LNEC, 1984); nas secções das estações do rio Tejo: Tramagal, Almourol e Ómnias (LNEC, 1982), e em várias secções da bacia do rio Mondego: de algumas estações de medição de caudal sólido (LNEC, 1975), e do troço entre os açudes da Raiva e de Coimbra (LNEC, 1985). Mais recentemente, em 1998, foram efectuados alguns perfis transversais no rio Tejo para avaliação das alterações na morfologia do leito do rio.

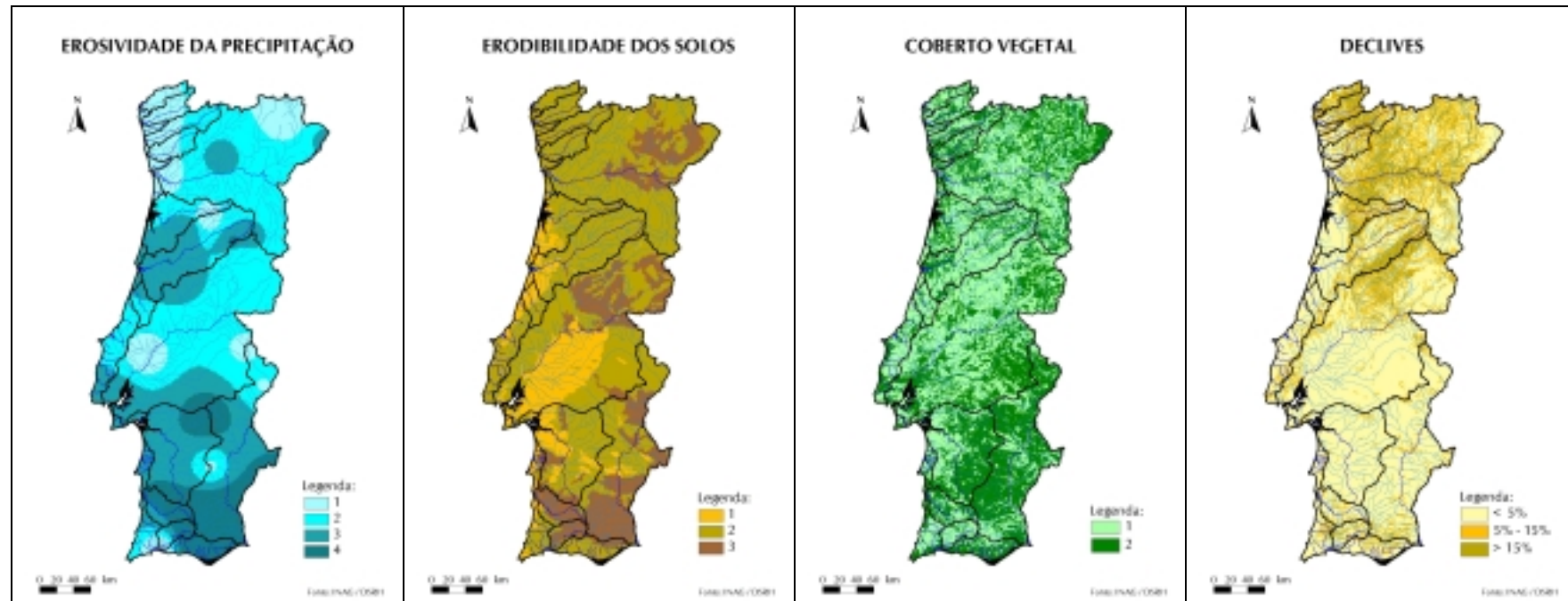


Figura 5.7.6 – Informação de Base para Cálculo do Índice de Susceptibilidade à Erosão: Erosividade da Precipitação; Erodibilidade dos Solos; Coberto Vegetal e Declives (PIMENTA *et al*, 1997)



Relativamente à vertente de batimetria em albufeiras foram efectuados até 1998 levantamentos batimétricos em apenas 10 albufeiras. Em algumas destas albufeiras existem dados de batimetria para vários anos. Os relatórios elaborados após a realização destes levantamentos incluem o cálculo dos volumes de sedimentos depositados na albufeira desde o levantamento anterior, que para alguns casos é o levantamento topográfico anterior à construção da barragem. Os trabalhos efectuados não foram acompanhados de recolhas de amostras de fundo, não existindo por isso dados de granulometria dos sedimentos depositados nas albufeiras.

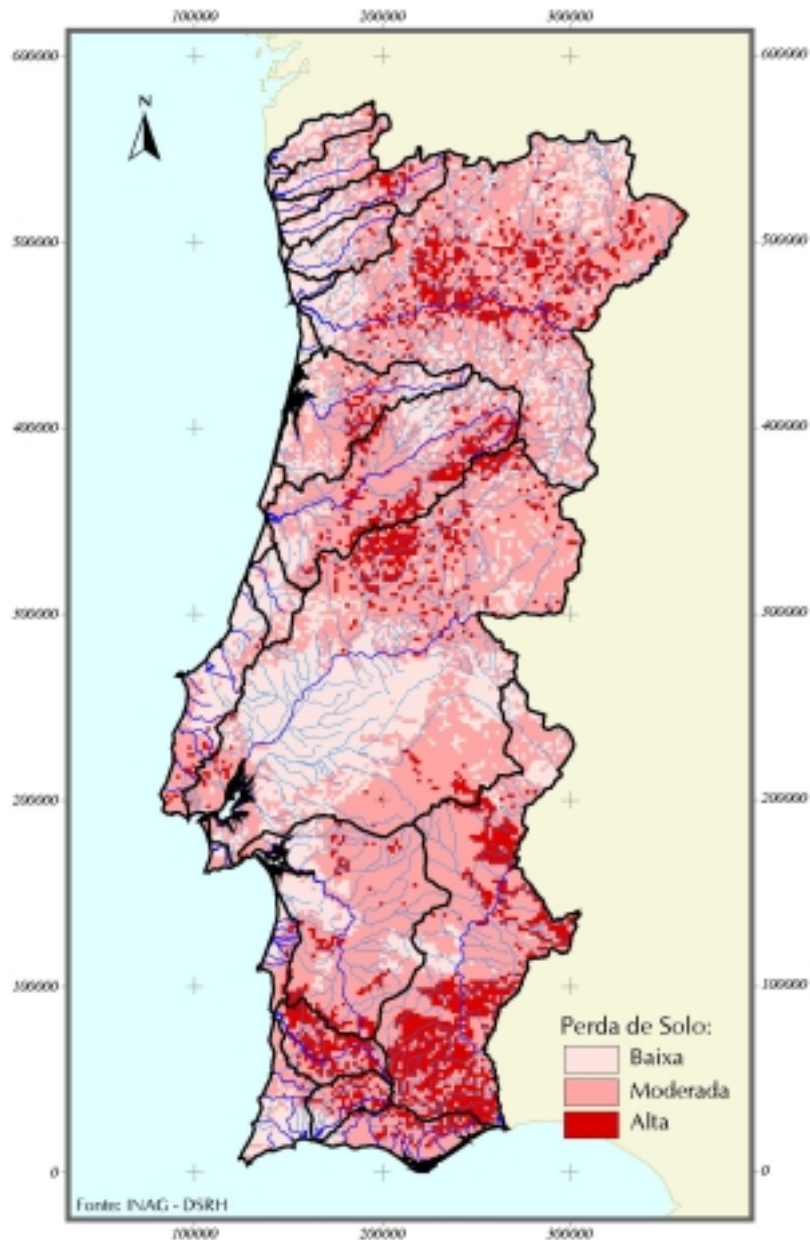


Figura 5.7.7 – Índice de Perda de Solo para Portugal Continental (PIMENTA *et al*, 1997)

5.7.4. Problemas de Conhecimento e Necessidades de Monitorização e Investigação

A análise dos dados existentes, quer sejam de batimetria como de transporte sólido e características do material de fundo, é muitas vezes difícil e inconclusiva, não permitindo uma caracterização válida dos

regimes de transporte sólido e dos processos de sedimentação uma vez que grande parte dos dados existentes apresentam bastantes deficiências relativamente à frequência das recolhas e qualidade da informação.

No domínio das redes específicas para águas interiores, nomeadamente, em acções de apoio à segurança de estruturas hidráulicas e para monitorização e fiscalização de extracções de inertes, é necessário serem efectuadas medições de caudal sólido e recolha de amostras de fundo, bem como a execução simultânea de levantamentos batimétricos.

A compreensão e caracterização dos processos de transporte em águas interiores e a dinâmica costeira passa pelo cruzamento e análise de toda a informação recolhida, sendo que a influência dos volumes de sedimentos provenientes das grandes bacias internacionais é a mais condicionante.

