



**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

Andreia da Silva Alves

**O USO DA ÁGUA NOS ESPAÇOS VERDES URBANOS  
PARA DIFERENTES CENÁRIOS DE PROCURA  
CLIMÁTICA: CASO DE ESTUDO VIANA DO CASTELO**

**Mestrado em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território**  
Mestre em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território

Trabalho efetuado sob a orientação da  
Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao

Julho de 2014

*As doutrinas expressas neste trabalho são da exclusiva responsabilidade do autor*



## ***AGRADECIMENTOS***

A todas as pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo os meus sinceros agradecimentos, especialmente:

Ao minha orientadora, Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao, pela oportunidade que me concedeu de estudar este tema, pela sua disponibilidade, abertura e pelas sugestões e conhecimento que me transmitiu.

Á engenheira Ivone Martins, pelo apoio e disponibilidade, abertura, experiência e conhecimento que me transmitiu.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e motivaram durante todo este processo sucedido de várias situações de desânimo.

Ao Álvaro, pela constante paciência, motivação que me tentou transmitir durante todo este processo e especialmente por estar sempre presente.

## ***RESUMO***

O crescimento global da população, paralelamente com os desenvolvimentos industriais e tecnológicos têm originado um aumento dos consumos de água a nível mundial, tornando indispensável uma gestão equilibrada dos recursos hídricos. Os sistemas de informação geográfica (SIG) constituem um meio de suporte ao planeamento e gestão destes recursos com grande aplicabilidade.

Como software de suporte ao estudo das disponibilidades e necessidades hídricas das albufeiras, o MIKE BASIN tem sido largamente aplicado em diversos pontos do mundo em distintas pesquisas. Este software é integrado com o SIG, o que constitui uma ferramenta de interesse para uma gestão eficaz dos recursos hídricos naturais, no âmbito geográfico da bacia hidrográfica. Este trabalho desenvolve uma aplicação do software MIKE BASIN na bacia hidrográfica do Lima, no concelho de Viana do Castelo. A aplicação dos SIG na modelação hidrológica auxiliou o tratamento da informação espacial, revelando-se de grande interesse na tomada de decisões naturais. Nos três cenários propostos para o ano de 2020 (satisfação das necessidades hídricas de Viana, reflorestamento dos matos com floresta autóctones e reflorestação dos matos com área agrícola), estimou-se que o caudal de recarga do aquífero vai aumento, pois ocorrerá uma diminuição do escoamento superficial.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos; Bacia Hidrográfica; Sistema de Apoio à Decisão (SAD); Sistema de Informação Geográfica (SIG); MIKE BASIN;

## ***ABSTRACT***

The global population growths, along with the industrial developments and technological advances have led to an increase of water consumption worldwide, making it essential to a balanced management of water resources. The geographic information systems (GIS) are a means to support the planning and management of these resources with wide applicability. As software to support the study of the existing reservoirs and water needs, the MIKE BASIN has been widely applied with the GIS, which is a tool of interest for the effective management of natural water resources within the geographical scope of the watershed. This work develops a software application MIKE BASIN River Basin in Lima in the municipality of Viana do Castelo. The application of GIS in hydrological modeling assisted treatment of spatial information, revealing great natural interest in making decisions. The three proposed for the year 2020 (meeting the water needs of Viana, reforestation of native forest and scrub with scrub with reforestation of agricultural area) scenarios, it was estimated that the rate of aquifer recharge will increase because of a decrease will occur runoff.

Keywords: Water Resources; Watershed; Decision Support System (DDS); Geographic Information (GIS); MIKE BASIN.

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE QUADROS

ÍNDICE DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	19
1.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	19
1.2.	ESTRUTURA E METODOLOGIA DA TESE.....	23
2.	REVISÃO DA LITERATURA .....	25
2.1.	DEFINIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	25
2.2.	SITUAÇÃO ATUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO.....	26
2.2.1.	A PROBLEMÁTICA DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	27
2.3.	DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA EUROPA .....	30
2.4.	DETERIORAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: POLUIÇÃO HÍDRICA.....	31
2.5.	PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA .....	32
2.6.	GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NATURAIS .....	34
2.7.	OBJETIVOS DO APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	35
2.8.	BACIAS HIDROGRÁFICAS INTERNACIONAIS.....	42
2.9.	O CASO DE PORTUGAL E ESPANHA .....	43
2.10.	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	45
2.11.	MODELOS DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO.....	46
3.	OBJETIVOS.....	51
4.	METODOLOGIA.....	52
4.1.	ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DO MUNICÍPIO DE VIANA DO CASTELO ....	52
4.2.	DECLIVE.....	54
4.3.	EXPOSIÇÃO.....	55
4.4.	HIDROGRAFIA .....	57
4.5.	SOLOS E APTIDÃO DA TERRA .....	59
4.6.	CARATERIZAÇÃO CLIMÁTICA .....	59
4.6.1.	CLIMA .....	59
4.6.2.	TEMPERATURA DO AR, PRECIPITAÇÃO, HUMIDADE RELATIVA .....	59



4.7.	APLICAÇÃO MIKE BASIN.....	62
4.8.	TRATAMENTO DE DADOS .....	65
4.7.1	INTRODUÇÃO DOS DADOS NO MODELO .....	68
5.	RESULTADOS .....	72
6.	CONCLUSÕES.....	77
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
	ANEXOS .....	82
	ANEXO I.....	82
	ANEXO II .....	84

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1 : DISPONIBILIDADE HÍDRICA PER CAPTA NOS PAÍSES EUROPEUS (CORREIA, GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE, 2010).....	82
ANEXO 2: MAPAS QUE REPRESENTAM GEOGRAFICAMENTE A REDUÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ASSOCIADA A CADA PONTO E PARA CADA ESTAÇÃO DO ANO.....	84

## ÍNDICES DE EQUAÇÕES

Equação 4.1: Precipitação útil.....	65
Equação 4.2: Coeficiente escoamento ponderado.....	67
Equação 4.3: Caudal médio mensal .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribuição de água na Terra (Fonte: Scienceblogs).....	21
Figura 2.1: Disponibilidade de água doce na Europa; adaptado Nixon, et al, 2000.....	30
Figura 2.2: Intensidade de captação da água como percentagem do total dos recursos renováveis de água doce na Europa; adaptado Nixon, et al., 2000.....	31
Figura 2.3: Utilizações de água por sector no ano 2000 (UNEP/GRID Arendal).....	34
Figura 2.4: Bacias hidrográficas Luso-Espanholas (Convenção de Albufeira, 1998) ...	43
Figura 4.1: Enquadramento Geográfico de Viana do Castelo (Fonte: Própria) .....	52
Figura 4.10: Modelo Digital do Terreno (MDT) .....	70
Figura 4.2: Enquadramento Freguesias do Concelho de Viana do Castelo (Fonte: Própria).....	53
Figura 4.3: Enquadramento da área de estudo.....	54
Figura 4.4: Área de estudo com as linhas de água de abastecimento ao caudal de recarga.....	55
Figura 4.5: Mapa de Declives do Concelho de Viana do Castelo.....	56
Figura 4.6: Mapa de Exposições Solares de Viana do Castelo.....	58
Figura 4.7: Rede Hidrográfica do concelho de Viana do Castelo.....	63
Figura 4.8: Encadeamento metodológico proposto.....	64
Figura 4.9: Mapa de Ocupação do Solo da área de drenagem (Fonte: Própria) .....	66
Figura 5.1: Disponibilidades Hídricas mensais em 2005 ( $m^3/s$ ).....	72
Figura 5.2: Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais do ano 2005 para as condições do cenário I, cenário II e o cenário III ( $m^3/s$ ).....	74

Figura 5.3: Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais entre 2005 e 2020 (m<sup>3</sup>/s).....75

Figura 5.4: Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais do ano 2020 para o cenário I e o cenário II e III (m<sup>3</sup>/s).....77

## ÍNDICES DE QUADROS

Quadro 4.1: Precipitação efetiva média mensal em 2005 (mm) (Fonte: Estação Meteorológica de Darque.....	65
Quadro 4.2: Coeficiente de escoamento (C) (Fonte: Lencastre e Franco, 2003) .....	67
Quadro 4.3: Precipitação efetiva e útil média mensal em 2005 (mm) .....	67
Quadro 4.4: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima .....	68
Quadro 5.1: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima para o ano de 2005 mediante as condições dos cenários I, II e III .....	73
Quadro 5.1: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima para o ano de 2005 e 2020.....	74
Quadro 5.3: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima para o ano de 2005 e 2020 para os cenários II e III.....	76

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1.1: Comparação dos Consumos de água a nível mundial entre os anos 1967 - 2000 (Fonte: Palomo, 2003).....	22
Tabela 4.1:Caraterização Climática do Concelho de Viana do Castelo entre 1970 – 1990 (Fonte: Estação Meteorológica de Darque).....	61

## **LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS**

BHI – Bacias Hidrográficas Internacionais

DQA – Diretiva quadro da água

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

INAG – Instituto Nacional da Água

IPCC – Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas

MDT – Modelo Digital do Terreno

MDT – Modelo Digital do Terreno

MIS – Management Information Systems

PBH – Plano de bacia hidrográfica

PBHR – Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Lima

PEAASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais

PHNE – Plano Hidrológico Nacional da Água

PNA – Plano Nacional da Água

SAD – Sistema de apoio á decisão

SIAM II – Alterações Climáticas em Portugal: Cenários Impactos e Medidas de adaptação

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SWAT – Soil and Water Assessment Tool



Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao.



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A água sempre foi um bem essencial para o Homem, tendo as necessidades crescido ao longo do tempo. Hoje assiste-se a uma escassez de água, nomeadamente para consumo, mas paradoxalmente, também se verificam situações problemáticas relacionadas com a água em excesso.

A forte dependência do Homem relativamente á água sempre condicionou a sua forma de vida, desde os locais escolhidos para se estabelecer, até á forma como procurava explicar os fenómenos naturais. De facto, a água encontra-se omnipresente nas mitologias, associadas a deuses e a divindades, e inspirou numerosas lendas.

A sua importância sempre foi reconhecida ao longo dos séculos, e registada pelos mais variados autores, tais como Leonardo da Vinci (1452 – 1519) que descreve a água como o “veículo da natureza” (“vetturale di natura”), e considera que ela está para o mundo como o sangue está para os nossos corpos, ou Antoine de Saint-Exupéry (1900 – 1944) segundo o qual “a água não é necessária à vida, é a própria vida” (Ribeiro, 1994), ou ainda H. G. Wells (1866 – 1946), para quem “todas as coisas vivas, plantas e animais são primeiramente coisas da água” (Jellicoe & Jellicoe, 1995).

Durante o século XX, o consumo de água aumentou significativamente, devido ao crescimento populacional, desde então a problemática da gestão da água têm-se anunciado de enorme interesse e importância (Vieira, 2003). Cerca de 97,5% da água, existente na terra, corresponde a oceanos e mares (Cavaco e Simões, 1998).

A poluição das água subterrâneas e superficiais deve ser conjuntamente integrada na gestão dos recursos hídricos naturais, na medida em que afeta a sua qualidade. Para além da poluição hídrica, também as catástrofes naturais contribuem para a deterioração dos recursos, em especial as secas, embora as inundações possam provocar elevados prejuízo, quer ambientais, materiais e humanos (e-Geo, 2008).

Assim sendo, o Homem tem necessidades de interferir sistematicamente no ciclo hidrológico para satisfazer as suas necessidades hídricas e garantir de forma racional a continuidade da quantidade e da qualidade deste recurso natural para as gerações vindouras (Mendes, 2009).

Ao longo do tempo, têm-se realizado inúmeras obras hidráulicas, a nível mundial, entre as quais se destacam grandes barragens.

Tendo por base esta realidade, é urgente promover a gestão racional dos recursos hídricos naturais, para minimizar as suas consequências é necessário definir um leque de ações de modo a melhorar essa gestão (Mendes, 2009).

Para utilizar a água e dominar os efeitos da sua ocorrência em excesso, o Homem tem captado a água subterrânea em poços e minas e a água superficial nos rios, lagos naturais e albufeiras criadas por barragens, que asseguram a regularização do caudal. Para defesa contra inundações, tem construído diques, e para o transporte da água, canais, aquedutos, túneis e condutas. Para elevar a água a ser utilizada, construiu utensílios e máquinas hidráulicas.

Hoje em dia, este recurso natural está presente em múltiplas atividades e, como tal, é utilizado para finalidades muito diversificadas, em que assumem maior importância o abastecimento doméstico e pública, os usos agrícolas e industriais e a produção de energia elétrica.

Para além dos problemas de satisfação das necessidades de água, põem-se problemas contrários, relacionados com o excesso desta, que pode causar níveis freáticos elevados, submersão, erosão dos solos e fechos de corrente nos leitos de cursos de água.

Na resolução de problema de satisfação das necessidades de água e do domínio da água em excesso, surgem frequentemente interesses antagónicos, é o caso de uma albufeira destinada ao fornecimento de água para a produção de energia hidroelétrica e para rega e ao amortecimento das cheias a jusante. Para um mesmo volume de albufeira, quanto maior for a parcela reservada para amortecer as cheias, menor será o volume que é possível utilizar para a produção de energia e para a rega. Todas estas afirmações deveriam estar apoiadas em trabalhos técnicos

As crescentes necessidades de água, a limitação dos recursos hídricos, os conflitos entre usos e os prejuízos causados pelo excesso de água, exigem que o planeamento e a gestão da utilização e do domínio da água se façam em termos racionais e otimizados, tornando-se imprescindível a consciencialização para os problemas da água, de políticos, técnicos e da população em geral.

Em termos gerais, a disponibilidade da água é praticamente constante; no entanto nas últimas décadas, o aumento da utilização dos recursos hídricos fez com que a água se

transformasse num bem cada vez mais caro e importante, tendência que dadas as projeções que são feitas, certamente irá continuar no futuro.

A água é um elemento natural renovável, presente na natureza em três estados físicos líquido, sólido (gelo) e gasoso (vapor) – e pode ser classificado como água doce, salobra e salgada, de acordo com a sua salinidade. Quanto à sua repartição no planeta Terra, as águas salgadas compõem os oceanos e mares – 97,5% sendo os restantes 2,5% águas doces. Estas últimas apresentam-se sob a forma de glaciares e calotes polares – 79%, águas subterrâneas – 20%, e águas superficiais – 1%. Estima-se que o volume total de água no planeta ronde os 1,35 milhões de quilómetros cúbicos.

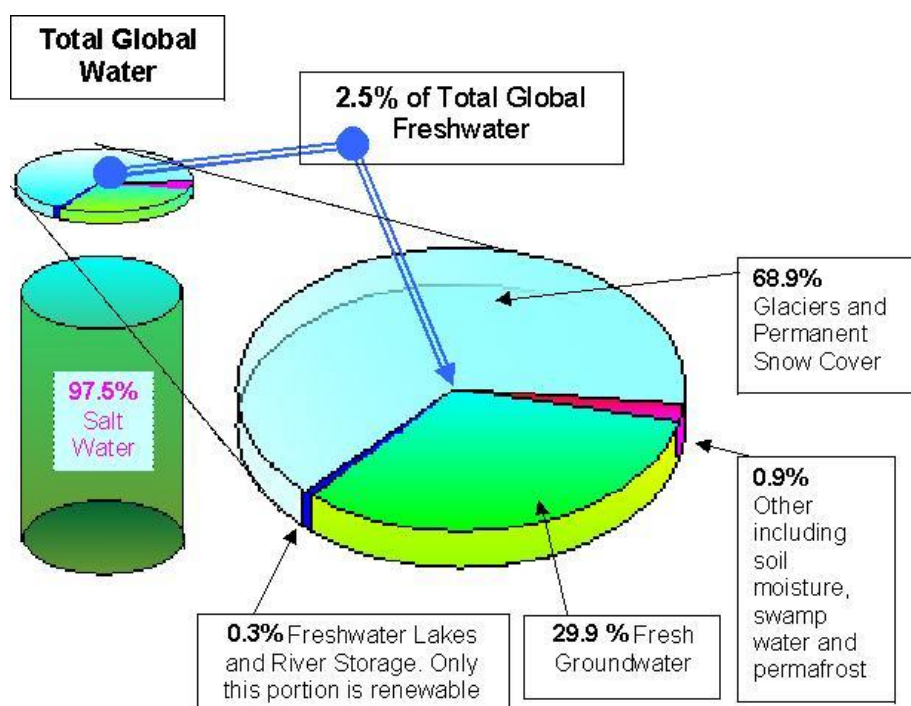


Figura 3.1: Distribuição de água na Terra (Fonte: Scienceblogs)

Segundo os dados apresentados por Palomo (2003) os consumos de água entre os anos 1967 e 2000 verifica-se que o uso doméstico e urbano da água tem vindo a aumentar significativamente, e o total consumo de água aumentou para mais do dobro. De destacar ainda que a agricultura apresenta um papel muito importante no consumo de água, essencialmente na rega é possível verificar o aumento desta do ano de 1967 para o ano 2000, este valor duplicou. No entanto importante também destacar que apesar do aumento do consumo de água na rega o seu valor percentual baixou, isto é verificou-se que no ano de 1967 a rega consumia 70% do valor de água consumida por ano, enquanto em 2000 este valor baixou para 51 %. Importante avaliar que o aumento mais

significativo no consumo de água é representado pelo consumo na indústria e minas onde em 1967 este era de 22 % do consumo total de água em, 2000 este representa 41 % do consumo de água (Tabela 1.1).

Assim, é necessário proceder a uma utilização sustentável dos recursos hídricos, isto é, a uma utilização que não coloque em risco o seu uso por parte das gerações futuras, que deverá passar pela noção de que a água tem valor nos mais variados setores, nomeadamente a nível social, ambiental e económico. O valor social “reconhece que a água é um bem de consumo essencial, ao qual todos devem ter acesso”; o valor ambiental “determina que a água é um recurso cuja sustentabilidade ambiental deve ser assegurada, para que o próprio princípio do valor social não seja colocado em causa”; e o valor económico “evidencia que a água é um recurso escasso, cuja utilização deve ser economicamente eficiente, ou seja, em que os benefícios resultantes da sua utilização devem ser capazes de compensar a totalidades dos custos inerente ao seu uso” (Avillez e Silva, 2011).

Tabela 1.1: Comparação dos Consumos de água a nível mundial entre os anos 1967 - 2000 (Fonte: Palomo, 2003)

	<b>TOTAL 1967 (MILHÕES DE M<sup>3</sup>)</b>	<b>TOTAL 2000 (MILHÕES DE M<sup>3</sup>)</b>	<b>% DE CRESCIMENTO ANUAL PROJETADO</b>	<b>1967 (%)</b>	<b>2000 (%)</b>
<b>AGRICULTURA</b>					
REGA	1.400.000	2.800.000	2.1	70	51
PECUÁRIA	58.800	102.200	1.7	3	2
USO DOMÉSTICO E RURAL	19.800	38.800	2.0	1	1
<b>OUTROS</b>					
USO DOMÉSTICO E URBANO	73.300	278.900	4.1	4	5
INDÚSTRIA E MINAS	437.700	2.231.000	5.0	22	41
<b>TOTAL</b>	<b>1.989.300</b>	<b>5.450.000</b>	<b>3.1</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

É assim que, neste contexto de preocupações relativas à escassez de recursos hídricos e perante a constatação da importância da água como elemento de valorização do espaço exterior, se comprova a importância da implementação de planos de gestão de rega em espaços verdes. Pode-se pois dizer que, nos dias de hoje, estes devem ser considerados um dos componentes fundamentais de qualquer projeto de espaço verde. Assim, é indispensável que sejam elaborados de tal forma que forneça todas as diretrizes relativas à rega necessárias para a adequada conservação do espaço verde projetado.

O desenvolvimento das tecnologias de informação têm colaborado, em larga escala, para o aperfeiçoamento dos meios de suporte ao planeamento e gestão dos recursos hídricos naturais (Vieira, 2000).

Como instrumentos de apoio à monitorização dos recursos hídricos existem os sistemas de informação geográfica (SIG), estes permitem reunir e guardar todas as informações geográficas para a simplificação do tratamento de dados (Vieira, 2000).

Os SIG assumem um papel importante no desenvolvimento dos sistemas de apoio à decisão (SAD), em especial, na gestão dos recursos hídricos (Rodrigues et al., 2003).

Nos últimos anos, têm-se desenvolvido múltiplos modelos de simulação hídrica que possibilitam encontrar soluções para problemas de planeamento e gestão dos recursos hídricos (Curi, 2008).

## 1.2. ESTRUTURA E METODOLOGIA DA TESE

O trabalho foi dividido em seis pontos. No primeiro ponto apresenta-se um enquadramento geral da problemática da gestão dos recursos hídricos. No segundo ponto, fez-se uma breve caracterização geral da situação mundial e, particularmente, em Portugal. Encontram-se definidas as diferentes componentes dos recursos hídricos. Abordou-se também a importância da sua gestão eficiente, uma vez que, se verificam grandes alterações climáticas e alteração de comportamentos suscetíveis de originar graves problemas. Existindo uma enorme multiplicidade de programas, que têm por base auxiliar na tomada de decisões de planeamento e gestão eficiente dos recursos hídricos, o software utilizado foi o MIKE BASIN por apresentar melhores potencialidades de carácter internacional.

No terceiro e quarto ponto, fez-se o enquadramento geográfico e climático da Bacia do Lima, área de Viana do Castelo, contemplando a caracterização dos usos do solo e a precipitação média mensal. Foi efetuado o tratamento dos dados de entrada para a

aplicação do MIKE BASIN. O quinto ponto consistiu na análise dos resultados decorrentes da aplicação do MIKE BASIN, estes correspondem ao 2005. Finalmente, o sexto ponto corresponde às conclusões finais do trabalho e perspectivas futuras.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. DEFINIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O conceito de “recurso hídrico” não se refere à totalidade das águas, mas sim ao conjunto de água que se encontram disponíveis, ou que podem vir a ser mobilizados, para satisfazer quantidade e qualidade numa certa necessidade, num determinado local e durante um determinado período de tempo.

Os recursos hídricos, por serem bens essenciais à vida, devem ser encarados como bens sociais. Estes, por estarem presentes em quase todas as atividades setoriais, tornam-se necessariamente num bem económico (Rodrigues, 2009).

Podem ser classificados em disponíveis e potenciais. Os primeiros provêm da intervenção humana através de captações de água do ciclo hidrológico, ao contrário dos potenciais que equivalem à máxima quantidade de água que supostamente se obteria deste ciclo (Mendes, 2009).

Os aproveitamentos hidráulicos são responsáveis pela produção de energia, controle de cheias, abastecimento de água às populações, pelo que, é necessário controlar sobretudo a parcela de precipitação que cai na rede hidrográfica, obtendo-se proveitos do ciclo hidrológico natural (Lencastre e Franco, 2003).

Embora não sendo possível considerar um início e um fim para o ciclo hidrológico “...  
*tome-se a atmosfera como início do ciclo. Aí se acumula o vapor de água que, em certas condições, dá origem à precipitação: chuva, granizo, neve, orvalho e geada. Parte da precipitação é evaporada durante a queda, voltando à atmosfera. Outra parte é intercetada pelas folhas das plantas e pelos telhados, sendo evaporada e voltando também à atmosfera. A parte mais significativa atinge a superfície da terra.*”  
(Lencastre)

Segundo Lencastre, uma parte da precipitação atinge a superfície da terra fica retida nela, dando origem à evaporação e ao escoamento superficial. Outra parte da precipitação que atinge a superfície da terra dá origem à infiltração, alimentando o cursos de água ou o oceano, onde será evaporada, originando assim o fecho do ciclo.

## 2.2. SITUAÇÃO ATUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO

Previamente ao estudo do caso português, considerou-se pertinente a apresentação de alguns dados ou fatos sobre o estado dos recursos hídricos e da água no mundo, e em que medida essa situação afeta à população humana. É importante destacar que o consumo de água aumentou cerca de 6 vezes no último século, o que representa mais do dobro do aumento da população mundial; 70% da água disponível é utilizada na agricultura, 22% destina-se a uso industrial e 8% a uso doméstico; nos países desenvolvidos cada pessoa consome 500 a 800 litros de água por dia. Já nos países desenvolvidos são apenas consumidos 60 a 150 litros; ainda atualmente, 40% da população vive em regiões sujeitas a stress hídrico e prevê-se que em 2025 este número atinja os 65%, estima-se que cerca de mil milhões de pessoas no mundo não tenham acesso a água potável e mais de 2 mil milhões vivam sem condições sanitárias básicas. (APRH, 2007).

Resumidamente, o crescimento demográfico, o desenvolvimento económico, a urbanização e as alterações climáticas têm vindo a intensificar as pressões que o homem exerce sobre a utilização da água. Globalmente pode-se dizer que existe uma disponibilidade de água doce suficiente, sendo que esta se encontra mal distribuída no tempo e no espaço, e muitos países a utilizam de forma insustentável. Com o objetivo de equilibrar esta relação do homem com a água, tem-se procurado que a gestão da água assegure não só a eficiência, mas igualmente a equidade na sua utilização, (Cunha, L.V,2007).

A satisfação desta procura tem sido conseguida através da execução, em larga escala, de grandes projetos hidráulicos, principalmente grandes barragens, transvazes entre bacias hidrográficas e obras de captação subterrâneas. Atualmente, as cerca de 45000 grandes barragens e as cerca de 800000 pequenas barragens existentes no mundo representam uma capacidade de armazenamento de cerca de 20% do escoamento total global anual. Por outro lado, a sobre-exploração das águas subterrâneas para abastecimento público origina um défice que repercute na alimentação natural dos rios através dos aquíferos, uma vez que se captam quantidades superiores àqueles que a natureza consegue repor.

Os estudos sobre águas subterrâneas em ambientes urbanos não são ainda uma prioridade global a nível mundial. Este facto tem a ver, em geral, com a complexidade organizacional das zonas citadinas, onde a prioridade se centra nas questões

organizativas e no desenvolvimento urbano e não tanto nas consequências ambientais desse desenvolvimento.

Estudos mostram que, em cidades com redes de abastecimento de água potável e de águas residuais antigas, já com muitas fugas, a recarga do aquífero, induzida pelas perdas na rede, pode ser ainda maior que a recarga natural (Duque et al. 2002).

Quando as cidades são abastecidas por águas de origem superficial crescem sobre zonas agrícolas com exploração intensiva de águas subterrâneas, podem ocorrer, após urbanização, situações de subida consecutiva dos níveis freáticos, artificialmente rebaixados durante anos de exploração. Nestes casos, a subida das águas subterrâneas pode ter consequências graves sobre as construções, nomeadamente em caves e fundações, com inundações difíceis de remediar (caso do crescimento da cidade de Nova Iorque). Quando estas são abastecidas por águas subterrâneas, à medida que estas crescem e utilizam cada vez mais água, seja para o próprio abastecimento ou para regadios na sua envolvente, pode suceder um rebaixamento muito intenso dos níveis freáticos, o que leva a custos de bombagem cada vez mais acrescidos, abandono de captações e execução de novas cada vez mais profundas (caso de São Paulo, Brasil), esgotamento de reservas no caso do aquífero não ser suficientemente espesso, e, finalmente, pode levar a situações dramáticas de subsidência (caso de cidades como Toluca, Querétaro ou Cidade do México, entre muitas outras no México). Na Cidade do México, o rebaixamento do nível freático é já tão intenso, que há indicações do desligamento da infiltração em relação ao próprio nível freático. Outra consequência, não totalmente negativa, será, nalguns aquíferos específicos, com grande capacidade de recarga, um aumento da infiltração natural, por aumento da capacidade de armazenamento, uma vez que os níveis freáticos estão anormalmente baixos (A. Chambel, 2013).

#### 2.2.1. A PROBLEMÁTICA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Nos últimos quarenta anos, assistiu-se a uma crescente consciencialização e preocupação da comunidade internacional com a temática da água e dos recursos hídricos, bem como das questões ambientais. Neste contexto, enumeram-se várias conferências internacionais que marcaram as discussões sobre a adoção de estratégias para abordar as questões ambientais e a problemática relacionada com o recurso natural água – tais como a quantidade e qualidade, acesso a água potável e saneamento.

Em 1972, na Conferência de Estocolmo, foi adotada a Declaração das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano que, entre outros princípios, preconizou que os recursos naturais da terra, incluindo a água, devem ser preservados em benefício das gerações presentes e futuras, mediante um criterioso planejamento ou ordenamento. A necessidade de se encontrar um ponto de equilíbrio na relação entre o meio ambiente, com os seus limitados recursos, e as ilimitadas necessidades humanas, levou ao aparecimento de uma preocupação ambiental que outrora pouco se verificava. Pela mesma razão, os elementos que, até então, eram centrais nas teorias do desenvolvimento, como alcançar a sociedade do bem-estar através de níveis crescentes de produção, passaram a ser questionados, uma vez que existem limites físicos, ambientais, sociais e culturais, traduzidos pelo esgotamento dos recursos naturais, a crise energética e os desequilíbrios ambientais e globais.

Já a Conferência das Nações Unidas sobre a água de Mar del Plata em 1977, foi o primeiro encontro especializado para tratar os problemas da água e deu ênfase ao abastecimento de água potável e saneamento nos países em desenvolvimento, afirmando que “ *todos os povos, independentemente do seu estágio de desenvolvimento e condições sociais económicas, têm direito ao acesso à água potável em quantidade e qualidade à altura das suas necessidades básicas.*” Esta Conferência consagrou ainda o princípio da cooperação na valorização dos recursos compartilhados e adotou o objetivo de avaliar as consequências das diversas utilizações da água sobre o meio ambiente e de incentivar as medidas de luta contra as doenças de origem hídrica e proteção dos ecossistemas.

A Conferência internacional sobre água e meio ambiente em Dublin em 1992 adotou a Declaração sobre Água e Desenvolvimento Sustentável que afirmou a necessidade de valorizar e otimizar a utilização dos recursos hídricos, estabelecendo os seguintes princípios:

- i. A água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, o desenvolvimento e o meio ambiente;
- ii. O desenvolvimento e a gestão da água devem ter um caráter participativo, envolvendo os utilizadores, planeadores e políticos em todos os níveis;
- iii. As mulheres têm um papel central na provisão, gestão e preservação da água;
- iv. A água tem um valor económico em todos os seus múltiplos usos e deve ser reconhecida como um bem económico.

A conferência do Rio de 1992 adotou a Declaração das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e a Agenda 21 (agenda de trabalho para enfrentar os problemas ambientais do presente século). Esta última inclui um capítulo sobre proteção dos recursos hídricos destacando as seguintes áreas de programas a desenvolver:

- Desenvolvimento e gestão integrada dos recursos hídricos;
- Avaliação dos recursos hídricos;
- Proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos;
- Abastecimento de água potável e saneamento;
- Água e desenvolvimento urbano sustentável;
- Água para a produção de alimentos e desenvolvimento rural sustentável;
- Impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos.

Com a chegada do novo milênio, no ano 2000 a Declaração do Milênio das Nações Unidas afirmou a necessidade de acabar com a irracional exploração dos recursos hídricos, estabelecendo estratégias de gestão da água a nível local, regional e nacional, com o objetivo de assegurar o acesso equitativo e a adequada distribuição de água. Esta declaração definiu o objetivo de reduzir para metade o número de pessoas no mundo sem acesso a água potável até ao ano de 2015.

Posteriormente, em 2002 na Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, foram definidos os meios para cumprir os objetivos da Declaração do Milênio e foram estabelecidas metas, prazos e parcerias para ampliar o acesso a requisitos básicos como água potável e saneamento básico.

Finalmente, a 28 de Julho de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o acesso à água e saneamento com um direito humano, num esforço para tornar disponível este elemento essencial para toda a população mundial.

Analisando as supracitadas conferências e encontros internacionais, como os Fóruns Mundiais sobre água, conclui-se do debate internacional sobre o tema água o reconhecimento de uma crise global da água e uma procura de princípios para a sua gestão e proteção. Este género de textos internacionais ou declarações, que constituem o chamado “soft law”, representam um instrumento precursor da adoção de regras jurídicas obrigatórias e estabelecem princípios diretores da ordem jurídica internacional e dos Estados, sendo clara a sua importância por estas razões.

### 2.3. DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA EUROPA

Segundo Cava e Simões,1998, uma pequena percentagem de água existente na superfície da terra é doce (2,5%) e desta, apenas uma parte muito reduzida (0,007%) está disponível para o Homem em lagos, rios, albufeiras e aquíferos. Apenas 1/6 dos recursos hídricos renováveis são atualmente explorados.

Os usos da água são vários e diversificam de acordo com o país, por exemplo, no continente europeu a indústria gasta 53% da água, a agricultura 28% e por último com 19% está o consumo doméstico (Cavaco e Simões, 1998). A figura 2.1 ilustra a disponibilidade hídrica nos países da Europa.

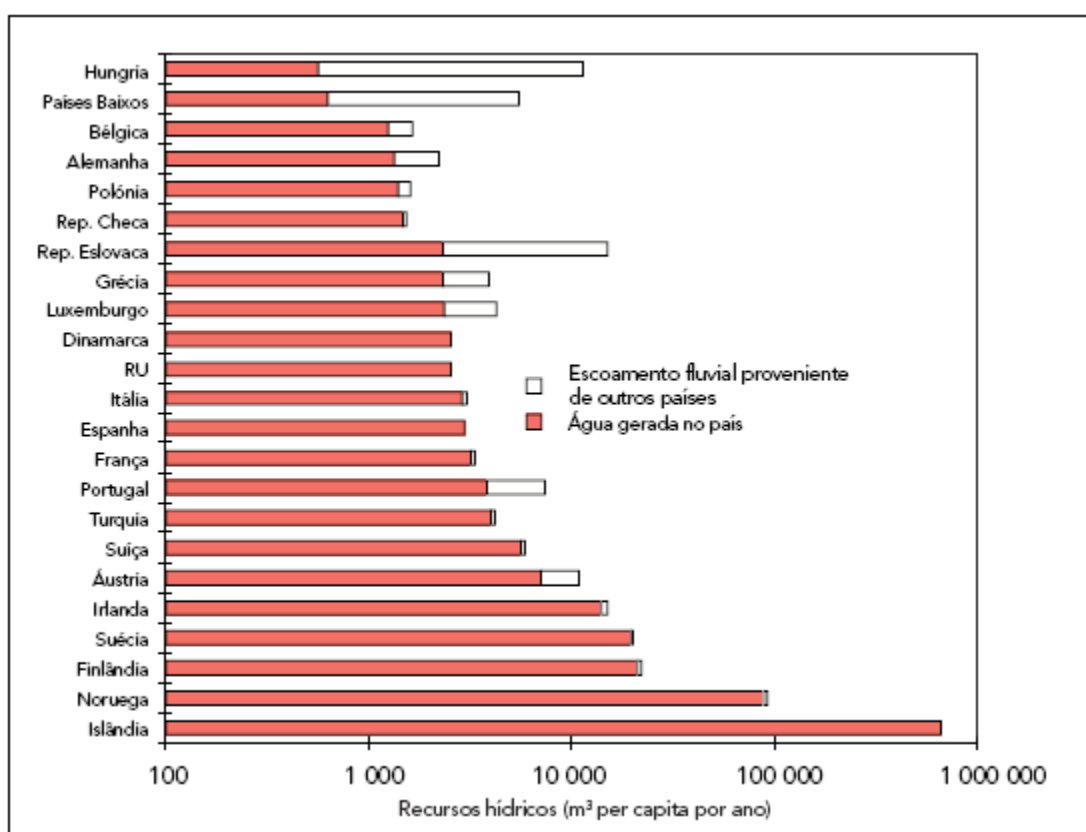


Figura 2.1: Disponibilidade de água doce na Europa; adaptado Nixon, et al, 2000

A Islândia é o país com maior quantidade de água, ao contrário da Hungria que corresponde ao país com menor disponibilidade em recursos hídricos.

A maior quantidade de água doce existente ocorre em bacias hidrográficas internacionais: 261 bacias hidrográficas, representando 45% da área continental do mundo, sendo 60% das reservas hídricas superficiais (Costa et al., 2008).

Em relação à captação de água doce, para os mais diversos usos (agricultura, indústria, consumo doméstico), varia entre os países da Europa, como ilustra a figura 2.2.

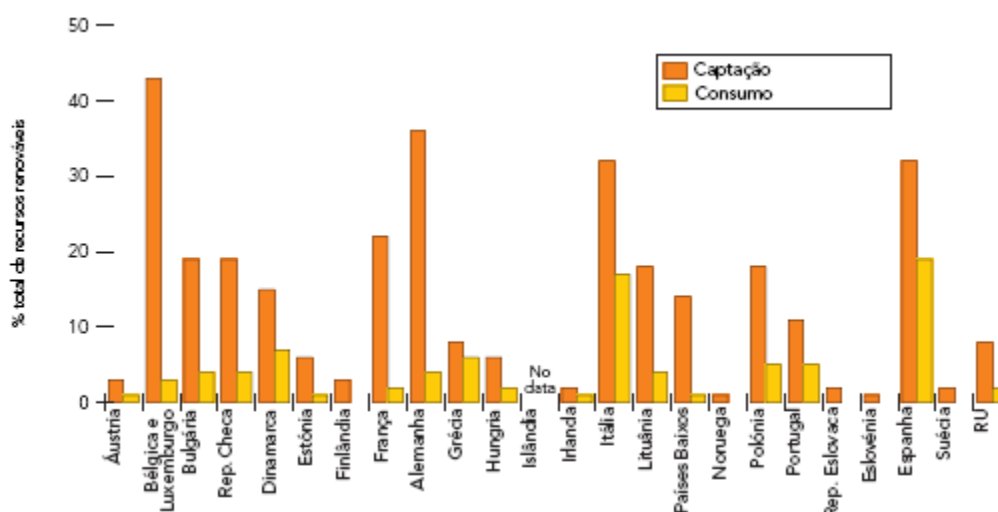


Figura 4.2: Intensidade de captação da água como percentagem do total dos recursos renováveis de água doce na Europa; adaptado Nixon, et al., 2000

#### 2.4. DETERIORAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: POLUIÇÃO HÍDRICA

Apesar da distribuição irregular dos recursos hídricos e da diminuição da precipitação, a disponibilidade de água para o Homem é afetada também pela poluição e pelas catástrofes naturais. Neste sentido, a gestão dos recursos hídricos enfrenta inúmeros desafios, entre os quais, a escassez dos recursos hídricos disponíveis, bem como a sua deterioração (Ruhoff e Pereira, 2004). Os problemas de degradação e escassez de água não são recentes, por exemplo, na Idade Média, surgiram como consequência da perda de infraestruturas e técnicas de tratamento de águas (Freitas et al., 2009).

O crescimento populacional desorganizado, o crescente desenvolvimento económico e o aquecimento global prejudicam os recursos naturais, em especial, a água (Vieira, 2003). No final do século XX, a degradação ambiental provocou a poluição dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais (e-Geo, 2008).

Segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do Douro, a poluição hídrica “é a introdução direta ou indireta, em resultado de atividades humana, de substâncias, ou de calor no ar, na água ou no solo, que possa ser prejudicial para a saúde humana ou para a qualidade dos ecossistemas aquáticos ou dos ecossistemas terrestres diretamente

*dependentes dos ecossistemas aquáticos, que dê origem a prejuízos para bens materiais, ou com outras utilizações legítimas do ambiente” (PBH do Douro, 2001).*

A poluição hídrica resulta, entre outros, do lançamento de esgotos sanitários sem tratamento, provocando problemas no desenvolvimento socioeconómico, prejudicando a qualidade de vida da população (Instituto Geológico e Mineiro, 2001).

No passado recente, Portugal tem vindo a produzir grandes modificações a nível de reforma administrativa, produção legislativa e gestão de recursos hídricos que têm aplicações na avaliação dos recursos hídricos.

A verificação da conformidade dos valores analíticos da qualidade da água com os padrões do normativo comunitário e nacional tem sido uma medida segura para alcançar melhorias na qualidade da água, nomeadamente aquelas relacionadas com atividades essenciais como o abastecimento de água, as águas balneares, o tratamento de água residuais, a eliminação da poluição causada por substâncias perigosas e prioritárias, a manutenção de padrões aceitáveis para fins piscícolas e o controlo de práticas agrícolas (nomeadamente, o controlo de nitratos nas águas superficiais e subterrâneas). As atividades de monitorização e o reforço do controlo das práticas laboratoriais têm uma elevada importância neste processo de verificação da conformidade da qualidade da água. Além da vertente tradicional da qualidade da água está previsto na Diretiva Quadro da Água, os desígnios de alcançar o bom estado ecológico nas massas de água interiores (superficiais e subterrâneas), de transição e costeira; bom potencial ecológico nas massas de água fortemente modificadas e artificiais.

De forma a dar cumprimento às medidas da Diretiva Quadro da Água (DQA) utilizam-se instrumentos SIG, exemplo disso é o caso de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Júcar, (“ GIS-based models for water quantity and quality assessment in the Júcar River Basin, Spain, including climate change effects”). Tem como objetivo analisar o estado das águas superficiais (SW) e subterrâneas (GW) em relação aos organismos da Diretiva Quadro da Água (DQA) e apoiar medidas para atingir os objetivos da DQA. (Ferrer et al., 2012)

## 2.5. PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA

Pode-se definir como uso ou utilização da água qualquer atividade que necessita desta para o seu funcionamento. Outros conceitos importantes são o de consumo, que se



traduz pelo volume de água efetivamente utilizado para determinado uso, e o de necessidade, que é o volume de água pretendido para determinado uso. Os usos, consumos e necessidades de água urbanas englobam populações, comércio, serviços e municípios (PNA 2002). Segundo as principais utilizações da água podem ser sistematizadas da seguinte forma: consumo doméstico, consumo público, consumo industrial, consumo para irrigação, utilização para produção energética, utilização para piscicultura e utilização para navegação.

Da enumeração precedente podem-se distinguir usos consumptivos – abastecimento doméstico, público e industrial, irrigação; de usos não consumptivos – produção energética, recreio, navegação e as outras utilizações referidas.

Em suma, as necessidades de água vão desde o abastecimento humano e produção de alimentos até à manutenção das atividades económicas e mesmo dos ecossistemas, sendo este recurso insubstituível para muitos (senão todos) destes usos.

Segundo Pereira et al, 2011 é importante analisar os conceitos de uso da água e os descritores de desempenho que podem ser úteis na definição de conservação e economia de água. No artigo “Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving” são discutidos com o objetivo de melhorar o desempenho e a produtividade do uso da água. Novos indicadores são propostas que incluem a consideração de reuso de água e tem como objetivo ajudar a identificar e fornecer distinções claras entre os usos da água benéficos e não benéficos.

A figura 2.3 representa uma perspetiva mundial das utilizações dominantes da água em cada país, referente a 2002, de onde se pode concluir a maior importância de setor agrícola em Portugal, com algum significado do setor industrial, na utilização dos recursos hídricos.

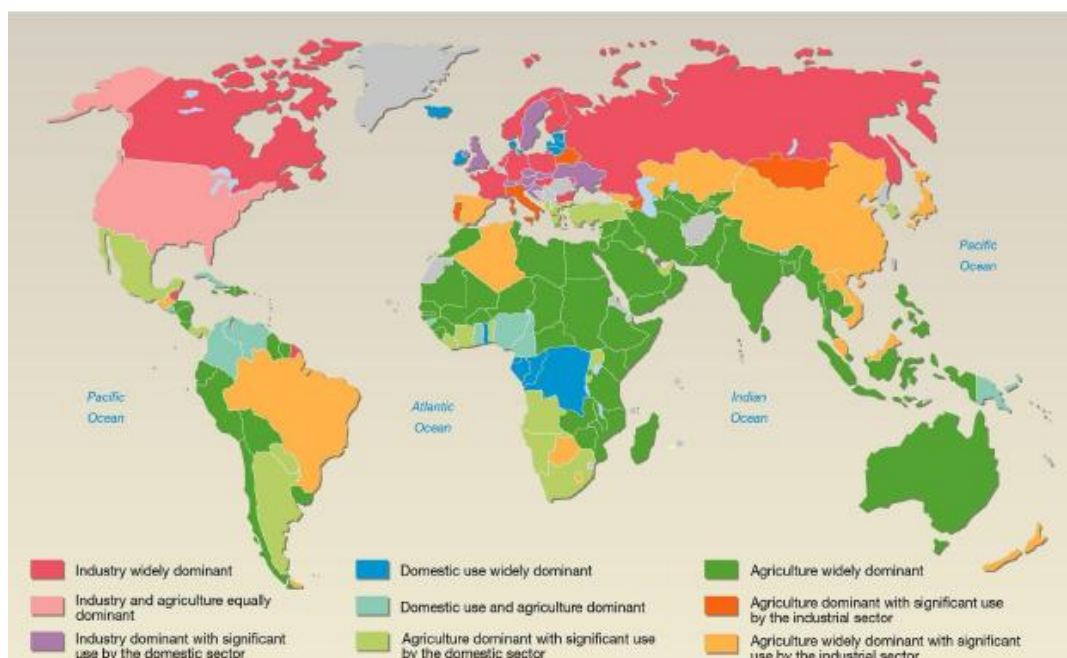


Figura 2.3: Utilizações de água por sector no ano 2000 (UNEP/GRID Arendal)

## 2.6. GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NATURAIS

A gestão de bacias hidrográficas deve abranger a recuperação e a conservação dos cursos de água, procurar desenvolver a compatibilização dos usos de água (Maia e Ribeiro, 2009).

Na gestão da água, é primordial ter como base a noção de desenvolvimento sustentável, pois o problema de escassez de água não só afeta a população atual, mas também as gerações vindouras, uma vez que as suas necessidades hídricas tendem a aumentar, devido à mudança dos hábitos de vida (Vieira, 2003).

*“Os atuais problemas, que se levantam no domínio dos recursos hídricos, impõem a necessidade de procurar evitar que a crescente escassez de água possa constituir obstáculo ao desejável desenvolvimento económico”* (Azevedo et al., 2009).

De acordo com o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR), existem importantes insuficiências, tais como: *“mantêm-se acentuadas a dispersão e multiplicidade de origens de água, associadas a um número elevado de sistemas de pequena dimensão. Mais de 90% dos sistemas servem menos de 5000 habitantes cada e, no total, apenas 20% da população, em muitos casos envelhecidos e pouco fiáveis. Os volumes de consumos não faturados são elevados, situando-se, na grande maioria dos sistemas utilizados continuam a*

*evidenciar grande fragilidade organizativa e operacional e a não pautar por sólidos critérios de sustentabilidade económica, financeira e ambiental”* (Mendes, 2009).

A administração dos recursos hídricos é um processo difícil, pelo que é fundamental desenvolver as soluções certas, com o objetivo de se atingir a máxima eficácia através da minimização dos custos associados (Rodrigues, 2009).

O principal objetivo do planeamento dos recursos hídricos é garantir o abastecimento de água com qualidade e em quantidades razoáveis, para permitir o desenvolvimento das atividades dela resultante (Vieira, 2000).

O prévio conhecimento dos recursos hídricos existentes, numa região, é um importante impulso para a sua gestão correta e para um planeamento adequado da ocupação sustentada do território. Um projeto de planeamento de bacias hidrográficas deve abranger a caracterização dos recursos naturais da população e a definição de objetivos e planos, considerando a vulnerabilidade dos recursos hídricos, bem como, a identificação dos problemas e suas soluções (Ruhoff e Pereira, 2004).

## 2.7. OBJETIVOS DO APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A literatura técnica de recursos hídricos utiliza os conceitos de objetivos e fins, que podem ser definidos sumariamente da seguinte forma (Vaz, 1984):

Objetivos são metas de carácter económico, social ou ambiental que uma sociedade se propõe atingir, desenvolvendo a utilização dos seus recursos hídricos;

Fins são as diferentes funções técnicas como, por exemplo, o controle de cheias, a produção de energia eléctrica ou o abastecimento de água, que podem ser desempenhadas por um sistema de recursos hídricos.

Quando se pretende desenvolver de forma sistemática e planificada o aproveitamento dos recursos hídricos, é necessário começar por definir com clareza quais os objetivos que se pretendem alcançar. A escolha destes objetivos é, essencialmente, uma decisão política, correspondendo ao que o poder político entende serem as preferências da sociedade no seu conjunto ou as dos grupos dominantes dessa sociedade.

*Crescimento económico, qualidade de vida, conservação ambiental*

Numa das primeiras abordagens ao problema do aproveitamento dos recursos hídricos, Mass et al. (1962) apresentaram como objetivo fundamental a maximização do

benefício económico líquido, com base numa análise custos – benefícios. Vaz (1984) considera a introdução do regadio, a produção de energia elétrica e o abastecimento industrial, como os benefícios económicos mais importantes do aproveitamento dos recursos hídricos.

Quanto ao regadio, este introduz uma significativa melhoria económica comparando com a agricultura de sequeiro devido a fatores como: grande aumento dos rendimentos unitários das culturas e dos solos; produtividade eficiente em qualquer tipo de solo (desde que haja disponibilidade de água); aumento da fiabilidade da produção agrícola e consequente estabilidade económica. No entanto, este sistema representa um aumento significativo do uso de água.

A produção de energia elétrica tem claros benefícios que resultam da sua utilização no consumo doméstico, público e industrial. Em diversos países com fracas disponibilidades em combustíveis fósseis considera-se ainda a substituição de um recurso importado por um recurso nacional renovável, fator importante em termos económicos.

Já os processos industriais têm a água como uma componente fundamental, no processo de fabrico, arrefecimento, diluição de efluentes e outras aplicações.

Na parcela dos custos, há que ter em conta os custos de investimentos iniciais e custos capitalizados de operação e manutenção dos sistemas. Nos custos iniciais incluem-se os das obras hidráulicas – como sejam áreas de regadio, centrais hidroelétricas, tomadas de água e circuitos hidráulicos; bem como os custos das obras de regulação dos escoamentos considerados necessários.

Para além do objetivo de crescimento económico global, há que considerar um objetivo adicional, que traduza a atenuação das diferenças de desenvolvimento entre as várias regiões de um país. Paralelamente, pode ser definido e considerado outro objetivo genérico – garantir a qualidade de vida, que poderá ser alcançado sob a forma de restrições ou mínimos regulamentares como por exemplo: consumos domésticos, públicos e proteção contra cheias.

Outros objetivos como o recreio em rios e albufeiras, o controlo da poluição e a conservação ambiental.

A garantia da qualidade de vida é um objetivo distinto do primeiro e em aparente contradição com esse, pelo fato de o crescimento económico poder implicar uma degradação da qualidade de vida e especialmente do ambiente.

Por um lado, quando nos países mais industrializados foram introduzidas normas restritivas no controlo da poluição, muitas indústrias introduziram novos processos tecnológicos que lhes permitiram não só respeitar essas normas sem aumentar os custos de produção como também diminuir os consumos de água. Como referem Cunha et al. 1980, “*a interiorização dos custos extremos constitui incentivo para o progresso tecnológico*”.

Por outro lado, nos países em desenvolvimento, o rápido crescimento da população e a tendência para a concentração urbana contribuem para a degradação da qualidade de vida e do ambiente. Nestes casos, é difícil pensar em programas de conservação ambiental e melhoria da qualidade de vida, sem um crescimento económico significativo.

Desta forma, é generalizadamente reconhecido que o objetivo de crescimento económico possa desempenhar um papel central no planeamento de recursos hídricos, embora este não possa representar ou ultrapassar os demais objetivos que se pretendem atingir.

Neste contexto, o problema do planeamento de recursos hídricos com objetivos múltiplos foi sistematizado de maneira relevante pelo Water Resources Council dos Estados Unidos em 1973 e 1979, que considerou que todos os projetos de recursos hídricos deveriam considerar os seguintes quatro objetivos: *crescimento económico nacional; qualidade ambiental; desenvolvimento regional e bem-estar social*.

Em cada caso seriam estudados pelo menos dois planos alternativos, um com a tónica no crescimento económico nacional e outro na qualidade ambiental. Seriam analisados os impactos positivos e negativos de cada plano em relação a cada um dos planos ou estabelecer soluções de compromisso entre as alternativas apresentadas.

Hoje em dia, o problema da sustentabilidade dos recursos hídrico terá que ser acrescentado ou integrado nos objetivos apresentados anteriormente.

Em situações de desenvolvimento diferentes, poderá surgir a necessidade de considerar objetivos distintos destes ou mais específicos, tais como: *combate ao desemprego;*

*atingir autossuficiência alimentar ou energética; equilibrar a balança económica e elevar o nível sanitário da população. (Vaz, 1984)*

A lei da Água (Lei nº58/2005, de 29 de Dezembro) define no artigo 2º, que os recursos hídricos compreendem as águas (superficiais e subterrâneas), abrangendo ainda os respetivos leitos e margens, zonas adjacentes, zonas de infiltração máxima e zonas protegidas e define ainda no seu artigo 4º, os seguintes conceitos:

- Zona adjacente – zona contígua à margem que como tal seja classificada por um ato regulamentar por se encontrar ameaçada pelo mar ou pelas cheias;
- Zona de infiltração máxima – área em que, devido à natureza do solo e do substrato geológico e ainda às condições de morfologia do terreno, a infiltração das águas apresenta condições especialmente favoráveis, contribuindo assim para a alimentação dos aquíferos;
- Zonas protegidas – integram as zonas que exigem proteção especial ao abrigo de legislação comunitária e nacional relativa à proteção das águas de superfície e subterrânea ou à conservação dos habitats e das espécies diretamente dependentes da água, nomeadamente:
  - Zonas destinadas à captação de água para consumo humano (superficiais e subterrâneas);
  - Zonas designadas para a proteção de espécies aquáticas de interesse económico;
  - Zonas designadas como águas de recreio, incluindo as águas balneares;
  - Zonas sensíveis em termos de nutrientes, incluindo as zonas designadas como zonas vulneráveis e zonas sensíveis;
  - Zonas designadas para a proteção de habitats ou de espécies em que a manutenção ou melhoramento do estado da água seja um dos fatores importantes para a proteção, incluindo sítios relevantes da rede Natura 2000;
  - Zonas de infiltração máxima, a área em que, devido à natureza do solo e do substrato geológico e ainda às condições de morfologia do terreno, a infiltração das águas apresenta condições especialmente favoráveis, contribuindo assim para a alimentação dos aquíferos.

Os recursos hídricos são regulados segundo as suas possíveis utilizações sendo assim geridos pelos seguintes diplomas:

- Lei nº54/2005, de 15 de Novembro – titularidade dos recursos hídricos;
- Lei nº58/2005, de 29 de Dezembro – Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2000/60/CE e estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas;
- Lei nº19/2006, de 12 de Junho – acesso à informação sobre ambiente;
- Lei nº50/2006, de 29 de Agosto – lei-quadro das contraordenações ambientais;
- Decreto-lei nº226-A/2007, de 31 Maio, com as alterações introduzidas pelos Decretos-leis nºs 391-A/2007, de 21 de Dezembro e 93/2008, de 4 de Junho – regime jurídico da utilização dos recursos hídricos;
- Portaria nº1450/2007, de 21 Dezembro – regulamenta o decreto-lei nº226-A/2007, de 31 de Maio, fixando, designadamente, as regras de instrução dos pedidos de utilização dos recursos hídricos.
- Decreto-lei nº97/2008, de 11 de Junho – regime económico e financeiro dos recursos hídricos;
- Decreto-lei nº 311/2007, de 17 de Setembro – regime de constituição e gestão dos empreendimentos de fins múltiplos, bem como o respetivo regime económico e financeiro;
- Decreto-lei nº348/2007, de 19 de Outubro – regime a que fica sujeito o reconhecimento das associações de utilizadores do domínio hídrico.

A Lei da Água (LA- Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro) transpôs para a ordem jurídica nacional a Diretiva Quadro da Água (DQA – Diretiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro), que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Tem por objetivo proteger as massas de água superficiais interiores, costeiras e de transição, e subterrâneas.

A DQA/ LA estipula como objetivos ambientais o bom estado, ou o bom potencial, das massas de água, que devem ser atingidos até 2015, através da aplicação dos programas de medidas especificados nos planos de gestão das regiões hidrográficas.

A região hidrográfica, constituída por uma ou mais bacias hidrográficas, é a unidade territorial de gestão da água.

A competência para elaboração dos planos de gestão de região hidrográfica, enquanto instrumentos de planeamento dos recursos hídricos que visam a gestão hidrográfica, está cometida à Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

No quadro da especificidade das bacias hidrográficas, dos sistemas aquíferos nacionais e das bacias compartilhadas com Espanha e ainda das características próprias das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, as regiões hidrográficas são as seguintes:

- Minho e Lima (RH1), que compreende as bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima e das ribeiras da costa entre os respetivos estuários e outras ribeiras adjacentes;
- Cávado, Ave e Leça (RH2), que compreende as bacias hidrográficas dos rios Cávado, Ave e Leça e das ribeiras da costa entre os respetivos estuários e outras ribeiras adjacentes;
- Douro (RH3), que compreende a bacia hidrográfica do rio Douro e outras pequenas ribeiras adjacentes;
- Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH4), que compreende as bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis, das ribeiras da costa entre estuário do rio Douro e a foz do rio Lis e as bacias hidrográficas de todas as linhas de água a sul da foz do Lis até ao estuário do rio Tejo, exclusive;
- Tejo (RH5), que compreende a bacia hidrográfica do rio Tejo e outras pequenas ribeiras adjacentes;
- Sado e Mira (RH6), que compreende as bacias hidrográficas dos rios Sado e Mira e outras pequenas ribeiras adjacentes;
- Guadiana (RH7), que compreende a bacia hidrográfica do rio Guadiana;
- Ribeiras do Algarve (RH8), que compreende as bacias hidrográficas das ribeiras do Algarve;
- Açores (RH9), que compreende todas as bacias hidrográficas do arquipélago;
- Madeira (RH10), que compreende todas as bacias hidrográficas do arquipélago.

As regiões hidrográficas do Minho e Lima, do Douro, do Tejo e do Guadiana integram regiões hidrográficas internacionais por compreenderem bacias hidrográficas compartilhadas com o Reino de Espanha.

Estas são assim as principais entidades responsáveis pela gestão e cumprimento da conservação ambiental que uma sociedade pode procurar atingir com o desenvolvimento dos seus recursos hídricos, sendo necessário estabelecer compromissos entre as diferentes soluções que otimizam individualmente cada objetivo.

*Objetivos do aproveitamento dos recursos hídricos em Portugal*



O Plano Nacional da Água (PNA), de 2002, vem estabelecer um conjunto de objetivos para os recursos hídricos em Portugal, estruturando-os em objetivos gerais e objetivos específicos, considerando a sua natureza, âmbito e características.

Desta forma, os objetivos gerais sustentam a formulação das grandes linhas da política de recursos hídricos para o país, e traduzem-se por (Vaz, 1984 e PNA, 2002):

Promover a sustentabilidade ambiental, económica e financeira das utilizações dos recursos hídricos, como forma de gerir a procura e garantir as melhores condições ambientais futuras;

Assegurar a gestão integrada do domínio hídrico, promovendo a integração da componente recursos hídricos nas outras políticas sectoriais e assegurando a integridade hídrica das regiões hidrográficas, bem como a integração dos aspetos da quantidade e da qualidade da água e dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais;

Promover a gestão sustentável da procura de água, baseada na gestão racional dos recursos e nas disponibilidades existentes em cada bacia hidrográfica e tendo em conta a proteção a longo prazo dos meios hídricos disponíveis e as perspetivas socioeconómicas;

Promover a racionalização, a otimização e a eficácia do quadro institucional, a adequação do quadro normativo nacional às novas perspetivas e exigências da gestão e planeamento de recursos hídricos e o cumprimento da legislação nacional, comunitária e das convenções e acordos internacionais subscritos por Portugal;

Promover a informação e a participação das populações e das suas instituições representativas nos processos de planeamento e gestão dos recursos hídricos;

Promover o aumento do conhecimento, do estudo e da investigação aplicada dos sistemas hídricos.

São ainda definidos e descritos no PNA objetivos específicos, que se traduzem na especificação dos objetivos gerais, que se associam à resolução de problemas atuais ou potenciais. Não se considera relevante neste estudo fazer uma enumeração ou descrição destes objetivos. É possível verificar que os objetivos apresentados no PNA refletem a aplicação dos princípios gerais enunciados anteriormente.

## 2.8. BACIAS HIDROGRÁFICAS INTERNACIONAIS

O princípio defendido de considerar a bacia hidrográfica como a unidade de gestão de recursos hídricos mantém-se para o caso das bacias internacionais. Segundo as Regras de Helsínquia, aprovadas em 1966 pela Associação de Direito Internacional, uma bacia hidrográfica internacional é uma bacia que se estende por territórios de dois ou vários Estados, considerando-se incluídas nos respetivos recursos hídricos as águas de superfície e subterrâneas. É, no entanto, fácil de perceber que a sua aplicação se toma mais difícil nestes casos.

A significativa importância das bacias internacionais é revelada por dados apresentados pelas Nações Unidas já em 1976, que indicam que: metade dos países do mundo, entre os quais Portugal, tem mais de 50% do seu território contido em bacias internacionais.

A necessidade de partilha dos recursos hídricos originou numerosos acordos bi- ou multi- laterais entre Estados nas últimas décadas e mesmo desde o século dezanove. Por outro lado, os frequentes litígios e dificuldades em chegar a acordos, evidenciaram a falta de normas de direito internacional respeitante aos recursos hídricos internacionais. Desta forma, Estados que se localizam a nascente e que fundamentam o seu direito no *princípio da soberania territorial* sentem-se no direito de fazer uso dos recursos hídricos do seu território, apenas de acordo com as suas necessidades. Por seu lado, os países a jusante afirmam o seu direito com base no *princípio da integridade territorial*, à não alteração do leito natural dos cursos de água, de forma a assegurar a manutenção da sua qualidade e quantidade. Facilmente se percebe que “*a disputa da água é, em si mesma, uma consequência natural da sua falta e de uma crescente procura*”. (Marque, 2010)

Neste contexto, surgiram as Regras de Helsínquia, anteriormente referidas, que constituíram um conjunto de princípios geralmente aceites pelos países que pretendem negociar acordos sobre os recursos hídricos partilhados. Segundo Vaz (1984), destas Regras, merecem destaque dois princípios: o princípio da soberania territorial limitada e o princípio da equidade na repartição dos recursos hídricos.

Também a conferência da Água das Nações Unidas deu relevante atenção à questão das bacias internacionais, salientando nas suas resoluções, entre outros aspetos: o direito de todos os Estados de uma bacia hidrográfica internacional partilharem equitativamente os

recursos hídricos dessa bacia e a necessidade de um esforço continuado para reforçar o Direito Internacional da Água.

## 2.9. O CASO DE PORTUGAL E ESPANHA

Portugal e Espanha partilham importantes recursos hídricos no espaço europeu, pelo que estes devem ser bem geridos e de forma articulada. São reconhecidas cinco regiões hidrográficas luso-espanholas, correspondendo estas às bacias dos rios Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana, como ilustra a figura seguinte.



Figura 2.4: Bacias hidrográficas Luso-Espanholas (Convenção de Albufeira, 1998).

Fazendo uma análise, referem-se de seguida alguns dados estatísticos. As cinco regiões hidrográficas luso-espanholas – Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana – ocupam cerca de  $264560 \text{ km}^2$ , o que corresponde a cerca de 45% do território da Península Ibérica. Desta área, apenas 22% está situada em Portugal (correspondendo a 64% da área do país), restando 78% em Espanha (42% da área do país).

Os recursos hídricos associados às bacias luso-espanholas, em forma de escoamento de superfície ou de recarga de aquíferos, estão avaliados em  $76300 \text{ hm}^3$  médios anuais (44% do volume total de água no espaço ibérico). Deste volume, cerca de  $24400 \text{ hm}^3$  ocorre em Portugal e  $51900 \text{ hm}^3$  em Espanha. Neste contexto, é interessante perceber

que as parcelas espanholas representam 37% das suas disponibilidades hídricas nacionais. Contudo, é interessante verificar que as disponibilidades de água dos dois países ibéricos correspondem a cerca de  $6700 \text{ m}^3/\text{hab. ano}$  em Portugal e  $2900 \text{ m}^3/\text{hab. ano}$  em Espanha. Considerando apenas os escoamentos gerados em cada país, o valor das disponibilidades espanholas permanece praticamente inalterado, enquanto o valor correspondente a Portugal se reduz para cerca de  $3400 \text{ m}^3/\text{hab. ano}$ . Deves dizer a fonte destes dados

Na Península Ibérica vive-se uma situação climática delicada, causada por longos períodos estivais associados à fraca pluviosidade nas restantes estações do ano. A agravar este fato, regista-se um maior consumo de água quer para fins agrícolas devido às culturas de regadio, quer populacionais nomeadamente provocadas pelo turismo, especialmente nas zonas sul de Portugal e Espanha, o que introduz novas cargas urbanísticas e usos acrescidos para os espaços fluviais e marítimos. Por estas razões foi elaborado em Espanha, em 1993, o Plano Hidrológico Nacional Espanhol (PHNE), o Livro Branco da Água em 1998, e o novo PHNE em 2000, e em Portugal os Planos de Bacia Hidrográfica e o Plano Nacional da Água (2002).

A cooperação entre Portugal e Espanha na gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas partilhadas tem um historial de mais de um século. Várias foram as iniciativas realizadas para promover uma cooperação da gestão do recurso água. A aprovação e entrada em vigor da DQA (Diretiva Quadro da Água) em 2000 veio, no entanto, criar uma situação qualitativamente nova nas relações entre os dois Estados ibéricos nesta matéria.

No caso Ibérico, a DQA e a Lei da Água, estabelecem que, para regiões hidrográficas internacionais, a Autoridade Nacional da Água diligencia no sentido da elaboração de um plano conjunto, devendo, em qualquer caso, os PGRH ser coordenados e articulados entre a Autoridade Nacional da Água e a entidade administrativa competente do Reino de Espanha. Nesse sentido, a gestão da região hidrográfica do Minho e Lima, devido ao seu desenvolvimento em território Português e em território Espanhol, é partilhada entre a ARH do Norte, I.P. e a Confederación Hidrográfica del Miño-Sil

Tendo em conta o disposto no n.º 4 art. 3.º da DQA, para as regiões hidrográficas internacionais, Portugal e Espanha identificaram com entidade coordenadora uma estrutura decorrente da Convenção sobre Cooperação para a Proteção e o

Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso- Espanholas, assinalada pelos dois países no dia 30 de Novembro de 1998, designada resumidamente por Convenção de Albufeira.

Em paradigma com a Convenção de Albufeira existe a “Análise jurídica dos Convénios Luso-Espanhóis sobre águas internacionais” que aborda a gestão sustentável das Bacias hidrográficas internacionais (BHI) (A. Rosado 2011).

## 2.10. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

*“O planeamento e gestão de recursos hídricos, em sintonia com o ordenamento do território devem assentar em modernas tecnologias de informação e de transferência de dados, como única forma de definir políticas e estratégias de gestão eficientes”* (Vale e Painho, 2009).

Nos estudos dos problemas hidrológicos que envolvem variação espacial, é de extrema importância recorrer aos SIG (Santos et al., 2009).

A grande maioria dos modelos utilizados na hidrologia, depende de parâmetros, quer de carácter espacial quer temporal, com variabilidade significativa (declive, características do solo), pelo que é vantajoso, em tempo real, realizarem-se ajustamentos espaciais dos dados de entrada ou na escolha de novas opções de modelo (Quintela e Portela, 2009).

Os SIG assumem um papel importante no desenvolvimento dos SAD, em especial, na gestão dos recursos hídricos (Rodrigues et al., 2003).

Segundo Rodrigues et al. (2003), *“na gestão dos recursos hídricos a componente informação deve ser apresentada de forma (geo) gráfica, numérica ou alfanumérica, de modo a permitir a criação de associações ou relações de carácter espacial significativas para quem tenha de decidir.”*

Os SIG são instrumentos que possibilitam recolher, modificar e visualizar a informação espacial que interpreta a realidade para um determinado conjunto de objetivos. O principal objetivo dos SIG é proporcionar a informação necessária para apoiar a correta tomada de decisão (Cabral, 2001). Os SIG constituem instrumentos de apoio à monitorização dos recursos hídricos, a sua utilização permite reunir e guardar as informações geográficas para simplificação do tratamento de dados (Santana et al., 2008).

Exemplo de aplicação SIG baseado em modelos para a quantidade de água e avaliação da qualidade, podem ser os modelos utilizados na bacia de Júcar. Este caso de estudo descreve dois modelos diferentes SIG - um estacionário (GeoImpress) e outro não-estacionário (Patrical) - que avaliam a quantidade e qualidade da água na bacia hidrográfica Júcar, uma grande região hidrográfica (43.000 km<sup>2</sup>), localizada na Espanha.

O modelo não-estacionário é usado para a análise quantitativa dos recursos hídricos, incluindo a avaliação dos recursos hídricos a longo prazo; estimativa de recursos disponíveis GW; e avaliação do impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. Os principais resultados obtidos são os seguintes: os recursos hídricos foram reduzidos em aproximadamente 18% em comparação com o período de referência 1961-1990; e o impacto da mudança climática sobre os recursos hídricos para o curto prazo (2010-2040), com base em um cenário dinâmico A1B, implica uma redução dos recursos de água em cerca de 19% em relação a 1990-2000 e uma redução de aproximadamente 40-50 % para o longo prazo (2070-2100), com base na redução da escala dinâmicas dos cenários A2 e B2.

O modelo também avalia o impacto de diferentes cenários de aplicação de fertilizantes sobre o estado futuro da qualidade GW (nitrito) e se esses estados futuros vão ao encontro das exigências da DQA. O modelo estacionário gera dados sobre o estado químico real e futuro dos corpos SW na bacia hidrográfica de acordo com os cenários modelados e reflete a aplicação de diferentes tipos de medidas para cumprir a diretiva relativa ao tratamento de águas residuais urbanas e da DQA. (Elsevier 2012)

Um exemplo da aplicação dos SIG é o caso de estudo da área abrangida pela bacia do rio Zêzere, correspondente à área de drenagem entre a barragem da Bouçã e a barragem do Castelo de Bode. Teve como objetivo principal proteger a qualidade da água da albufeira de Castelo de Bode. Esta albufeira tem importância no desenvolvimento nacional, uma vez que abastece em água potável grande parte da população portuguesa (Vale e Painho, 2009).

## 2.11. MODELOS DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO

A atribuição de recursos hídricos, na bacia hidrográfica, é uma das questões mais críticas. Para a definição de políticas, e conseqüentemente melhorar o desempenho

hídrico, é fundamental uma análise integrada da bacia hidrográfica. Esta modelação, à escala da bacia hidrográfica, fornece informações essenciais aos decisores políticos para as decisões sobre a distribuição desses recursos (Jha, Gupta, 2003).

Nas últimas décadas, têm sido desenvolvidos modelos de simulação hídrica que permitem encontrar soluções para os problemas de planeamento e de gestão dos recursos hídricos. O modelo mais antigo de simulação remonta ao ano de 1953 e corresponde ao estudo feito pelos engenheiros das Forças Armadas Americanas, que estudavam a operação de seis reservatórios no Rio Missouri. Mais tarde, nos anos 70, prosperam outros modelos, nomeadamente o HEC-3, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica, o modelo HEC-5 desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica, o modelo HYSSR desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros da Divisão do Pacífico Norte. Na década de 80, nos Estados Unidos da América, foi proposto o modelo de simulação HADCM2 (“Hadley Centre Global Climate Model”), para estudar o impacto das precipitações e o aumento da qualidade de água para os diversos usos. Embora estes modelos de simulação fossem uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, tinham uma limitação, não permitiam a escolha da melhor alternativa nos problemas mais complexos (Curi,2009).

O MIKE 11 é um modelo que permite a modelação dos rios, podendo ser aplicado na análise e mitigação do risco de inundação, na previsão, em tempo real, de inundação e de qualidade da água (MIKE BASIN, 2008).

O Rio Francolí é um pequeno rio na Catalunha (nordeste da Espanha), com uma vazão média anual baixa ( $\approx 2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). O objetivo das avaliações de bacias hidrográficas do rio Francolí é apoiar e informar os esforços de planeamento de toda a região do ponto de vista da proteção da água, mudança climática e distribuição de água. Neste estudo, um modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Francolí foi desenvolvido para ser utilizado como uma ferramenta para o planeamento de bacias hidrográficas, avaliação de recursos água, e, finalmente, para fins de alocação de água, utilizando dados hidrológicos 2002-2006 inclusivo. O pacote de modelagem escolhido para esta aplicação é de DHI MIKE BASIN. Este modelo é uma estratégia de simulação de gestão de recursos hídricos à escala, que inclui modelagem de superfície terrestre e subsuperfície e processos hidrológicos. Para desenvolver o modelo de segmentação de entrada foram utilizados dados Topográficos, usos do solo, hidrológicos, precipitação, e dados meteorológicos.

Os resultados revelam uma potencial pressão sobre a disponibilidade de águas subterrâneas e superficiais na parte inferior do rio Francolí como era esperado pelo Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) para as bacias hidrográficas do Mediterrâneo. O estudo também revelou que, devido ao complexo regime hidrológico existente na área de estudo e a escassez de dados, foi necessário um método fisicamente abrangente para melhor representar a interação entre águas subterrâneas e superficiais. Os ArcGIS combinados / Modelos MIKE BACIA aparecem como uma ferramenta útil para avaliar o ciclo hidrológico e para compreender melhor a água alocação para diferentes setores da bacia hidrográfica do rio Francolí (Bangsh et al., 2012).

O modelo HEC-HMS é uma ferramenta de modelação hidrológica, foi desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América. Permite simular os processos de evaporação- precipitação, os seus resultados expressos em hidrogramas podem, em conjunto com outros modelos, serem utilizados para estudos sobre a disponibilidade dos recursos hídricos. Este modelo tem informação que permite caracterizar as sub-bacias, os troços de cursos de água, as derivações, as fontes e as depressões.

O HEC-GeoHMS é uma extensão para o ArcView que possibilita delinear automaticamente bacias hidrográficas e as linhas de água a partir dos Modelos Digitais do Terreno (MDT). Com base no MDT são traçadas as linhas de escoamento e as fronteiras da bacia hidrográfica numa estrutura de dados hidrológicos, que representam a bacia e a sua resposta à precipitação. O HEC-HMS foi aplicado numa bacia hidrográfica, localizada a Sul do rio Tejo, com uma área de 110 km<sup>2</sup>, para calcular os caudais de cheia para diferentes períodos de retorno (Santos et al., 2009).

O modelo WEAP (“Water Evaluation and Planning”) é uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos. O WEAP permite analisar a vulnerabilidade do sistema hídrico através das alterações climáticas, indicando a disponibilidade e uso da água no futuro. Este modelo foi utilizado na bacia hidrográfica do Limpopo (Wilson, 2007) explica os resultados obtidos do modelo.

O modelo SWAT (“Soil and Water Assessment Tool”) é um modelo matemático desenvolvido nos EUA pelo Agricultural Research Service e pela Texas A&M University em 1996. O modelo tem por finalidade antever o efeito das ações resultantes



do uso e da alteração do solo sobre os recursos hídricos, podendo ser aplicado em pequenas e grandes bacias hidrográficas. As simulações podem ser realizadas em intervalos de tempo diários, mensais e anuais. Para a simulação, é necessário o modelo digital do terreno, a hidrografia, o mapa de solos, o mapa de usos do solo, as séries temporais de precipitação, a temperatura máxima e mínima, a radiação solar, a humidade relativa e a velocidade do vento. Têm sido realizadas diversas aplicações deste modelo, particularmente na Europa e nos Estados Unidos, para analisar as mudanças climáticas e os efeitos do uso do solo sobre os recursos hídricos. No Brasil, este modelo foi aplicado para simular o escoamento e a produção de sedimentos numa microbacia hidrográfica, a Bacia do Altíssimo, na bacia hidrográfica do Rio Negro (Souza et al., 2009).

O modelo de simulação MIKE BASIN tem sido largamente aplicado em vários pontos da Europa, foi desenvolvido na Dinamarca, pelo “Danish Hydraulic Institute” (artigos que utilizem o modelo devem ser citados aqui). Associado ao ArcView Gis, permite a resolução de problemas, por exemplo, a consequência da distribuição da água, do seu uso equitativo ou da sua qualidade, fornecendo soluções a nível da bacia hidrográfica. Faculta o planeamento das infraestruturas de irrigação potencial, desempenho da albufeira, a capacidade de abastecimento de água, o tratamento de água residuais, a análise dos caudais consumidos pelo uso: domésticos, industrial, na agricultura, na energia hidráulica, na navegação, encontrando o seu equilíbrio de usos. Permite realizar o estudo dos ecossistemas, da qualidade da água e efeitos das mudanças globais. É um modelo versátil, tendo por base os recursos ambientais e hídricos, fornece de uma maneira simples, um quadro de gestão mais eficiente para enfrentar as questões críticas existentes nas bacias hidrográficas (MIKE BASIN, 2008).

Como o MIKE BASIN funciona em plataforma ArcView GIS, permite a visualização geográfica, esta abordagem espacial é adequada para os projetos de recursos hídricos (Jha e Gupta, 2003).

Desta forma, o MIKE BASIN é ideal para obter rapidamente uma visão geral dos problemas e oportunidades dos recursos hídricos, mesmo em grandes áreas (MIKE BASIN, 2008). Devido às suas características, este modelo tem sido aplicado em diversas investigações, entre as quais, a título de exemplo, na bacia do rio Sungai Skudai, na Dinamarca, para avaliação de cenários de diminuição de poluentes industriais (Albertin e Mauad, 2008). Este modelo foi também aplicado, na bacia do rio

Atibaia, no estado de São Paulo, no Brasil (Lima et al, 2008). Actualmente é aplicado nos EUA (especificamente pelo North Carolina Department of Water Resources), na Europa, Ásia, Austrália e África. Na República Checa, este modelo foi utilizado para avaliar a qualidade da água à escala nacional (Hala, 2010). Na bacia do Rio Kok, no norte da Tailândia onde foram avaliados os recursos hídricos e a poluição (DHI, 2009). Como consequência, de um elevado crescimento da população na Bacia Cape Fear na Carolina do Norte, o abastecimento de água disparou, para encontrar a solução do problema, foi utilizado o modelo MIKE BASIN (Holdstock, 2009).

Na bacia do rio Leba, na Polónia, é outro exemplo, da sua aplicação, para modelar os aspectos quantitativos e qualitativos dos usos da água na respectiva bacia (Dorota et al., 2002).

O MIKE BASIN permite, para qualquer bacia hidrográfica, a criação da rede fluvial, incluindo a configuração dos rios principais e seus afluentes, a hidrologia da bacia no espaço e no tempo, bem como, os potenciais usos da água (Wallick e Borden, 2006). Os rios principais e os seus afluentes são representados por uma rede de “arcos” e “nós”, os arcos correspondem às uniões entre os nós e representam canais e adutoras e os “nós” representam pontos importantes do sistema, por exemplo, reservatórios de água (DHI Water & Environment, 2003). O MIKE BASIN é aplicável a bacias hidrográficas de todos os tamanhos, variando de pequenos sistemas a bacias hidrográficas internacionais de larga escala. Pode ser utilizado em locais onde os dados são escassos, obtendo-se resultados fiáveis, auxiliando na recolha mais pormenorizada de dados e orientando a tomada de decisões estratégicas (Ireson et al., 2006). É um modelo baseado em tempo contínuo e não tem limite em termos de duração do período de simulação, permitindo ao utilizador definir os intervalos de tempo, daí ser considerado um modelo flexível (Kjelds, 1999). O movimento da água, dentro e fora da rede hidrográfica, é especificado em séries temporais de dados.

### 3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a capacidade de recarga das principais fontes de água para rega, sendo estes poços e furos, através da aplicação de ferramentas informáticas de apoio à decisão, capazes de dar resposta à multiplicidade de problemas no âmbito dos recursos hídricos naturais.

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DO MUNICÍPIO DE VIANA DO CASTELO

O concelho de Viana do Castelo localiza-se no distrito de Viana do Castelo pertencendo à bacia hidrográfica do Rio Lima. O concelho de Viana do Castelo estende-se por uma área de 314,36 km<sup>2</sup> e cerca de 36750 habitantes no seu núcleo urbano e 90654 (2004) em todo o concelho, subdividido em quarenta freguesias.

Localiza-se no Norte de Portugal, na Província do Minho, é limitado a norte pelo município de Caminha, a leste por Ponte de Lima, a sul por Barcelos e Esposende e a oeste tem litoral no Oceano Atlântico.

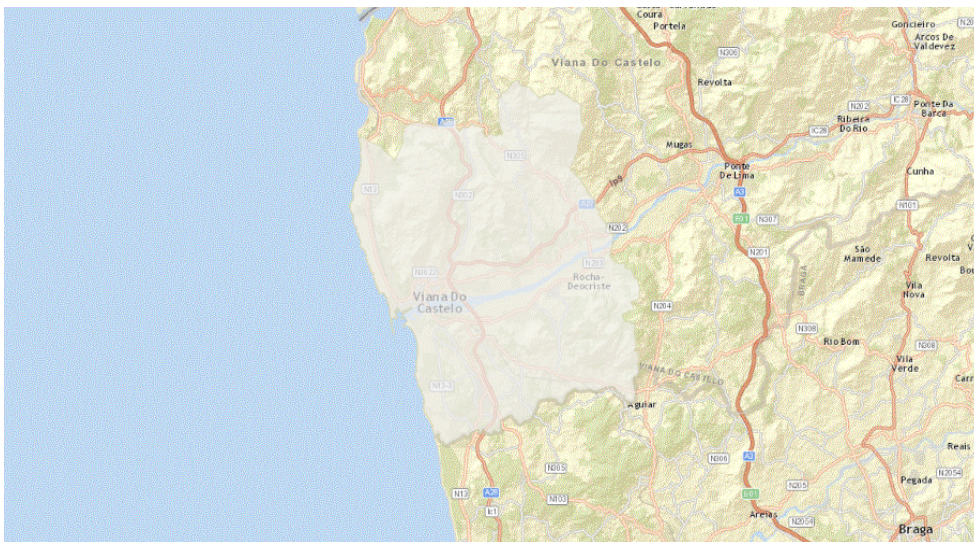


Figura 4.1: Enquadramento Geográfico de Viana do Castelo (Fonte: Própria)

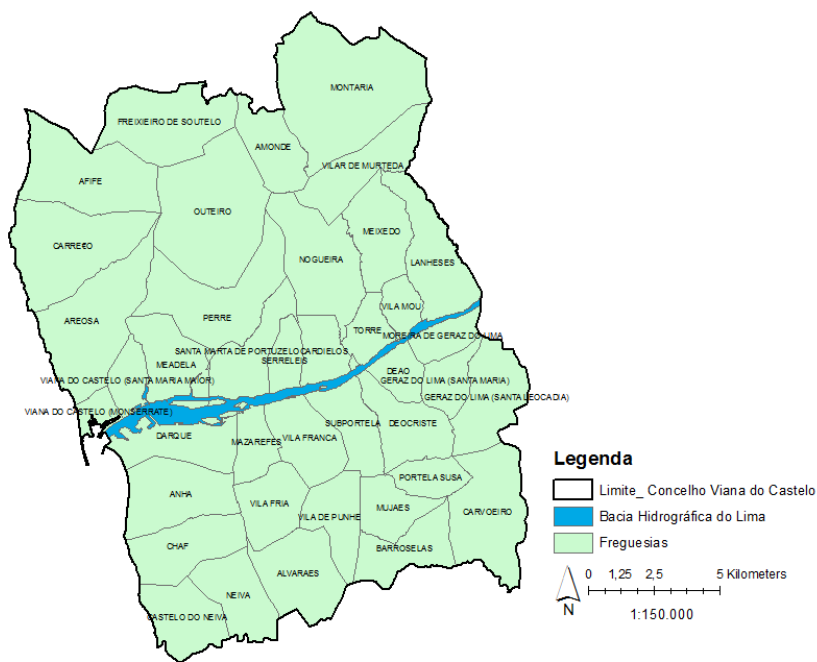


Figura 4.2: Enquadramento Freguesias do Concelho de Viana do Castelo (Fonte: Própria)

A área de estudo representada na figura 4.3 tem uma área de 321863603,2644 m<sup>2</sup>. Esta representa a área que realiza a drenagem para a recarga dos aquíferos de abastecimento aos sistemas de rega. Os sistemas de rega utilizados na cidade de Viana do Castelo são constituídos por: furos e poços, sendo estes caracterizados por o furo no estádio municipal, poço no viveiro municipal, poço na Praça da Abelheira, furo nos Bombeiros Municipais, quatro poços no parque urbano, três poços no parque da cidade, poço junto à Ponte Eiffel, poço no loteamento Lima e Rodrigues, furo no horto municipal, dois poços na Praça D. Maria II e dois poços no campo da Agonia.

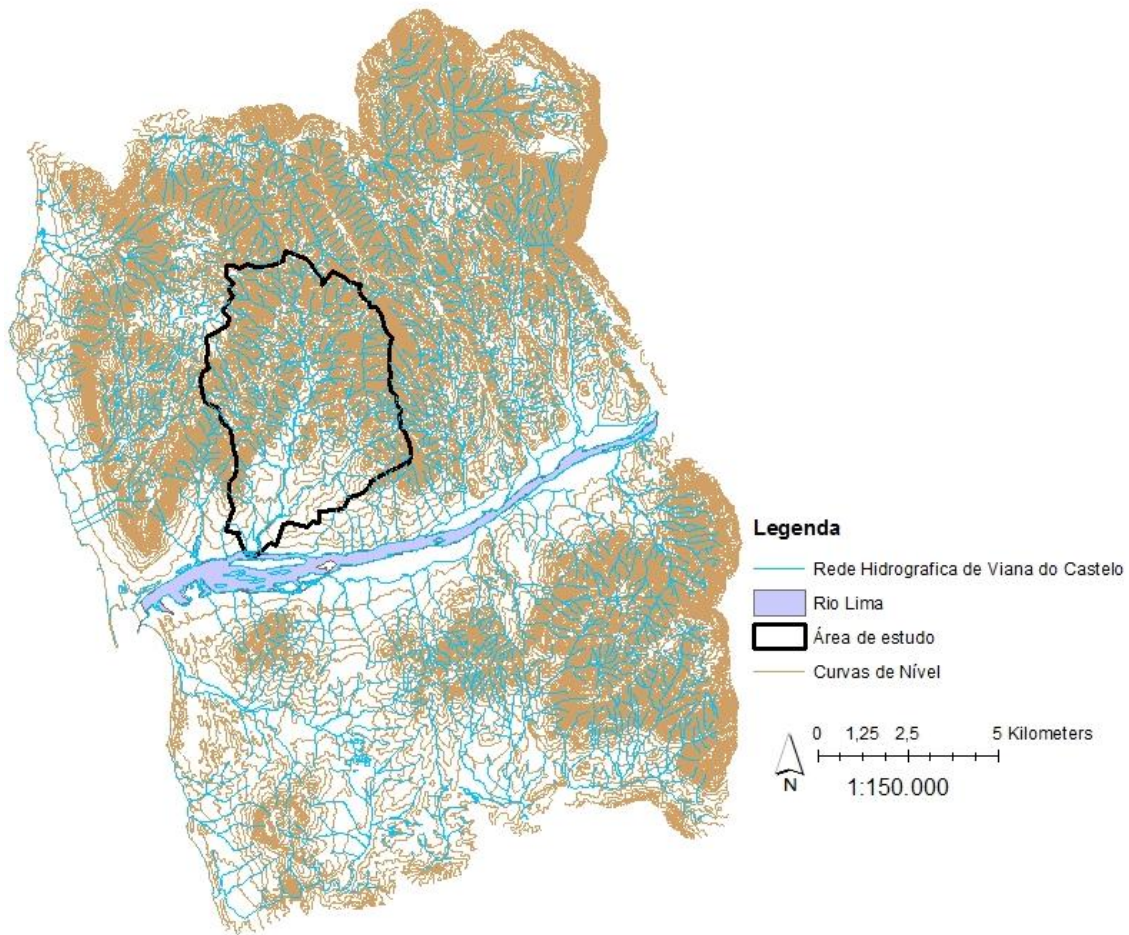


Figura 4.3: Enquadramento da área de estudo

#### 4.2. DECLIVE

No que se refere ao declive, a maior parte do concelho de Viana do Castelo apresenta declives entre 0-5% com uma área de 20385 m<sup>2</sup>, correspondendo a zonas junto ao Rio Lima e as zonas junto á costa marítima, as quais apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento da atividade agrícola, e que na generalidade se encontram ocupadas por esta.

As áreas com declives entre 2540% e as classes superiores a 40%, com uma área de 9130 m<sup>2</sup> e 543 m<sup>2</sup> respetivamente, representam também áreas relativamente significativas, sublinhando o carácter íngreme das áreas montanhosas. Tal como é possível observar na figura 4.4.



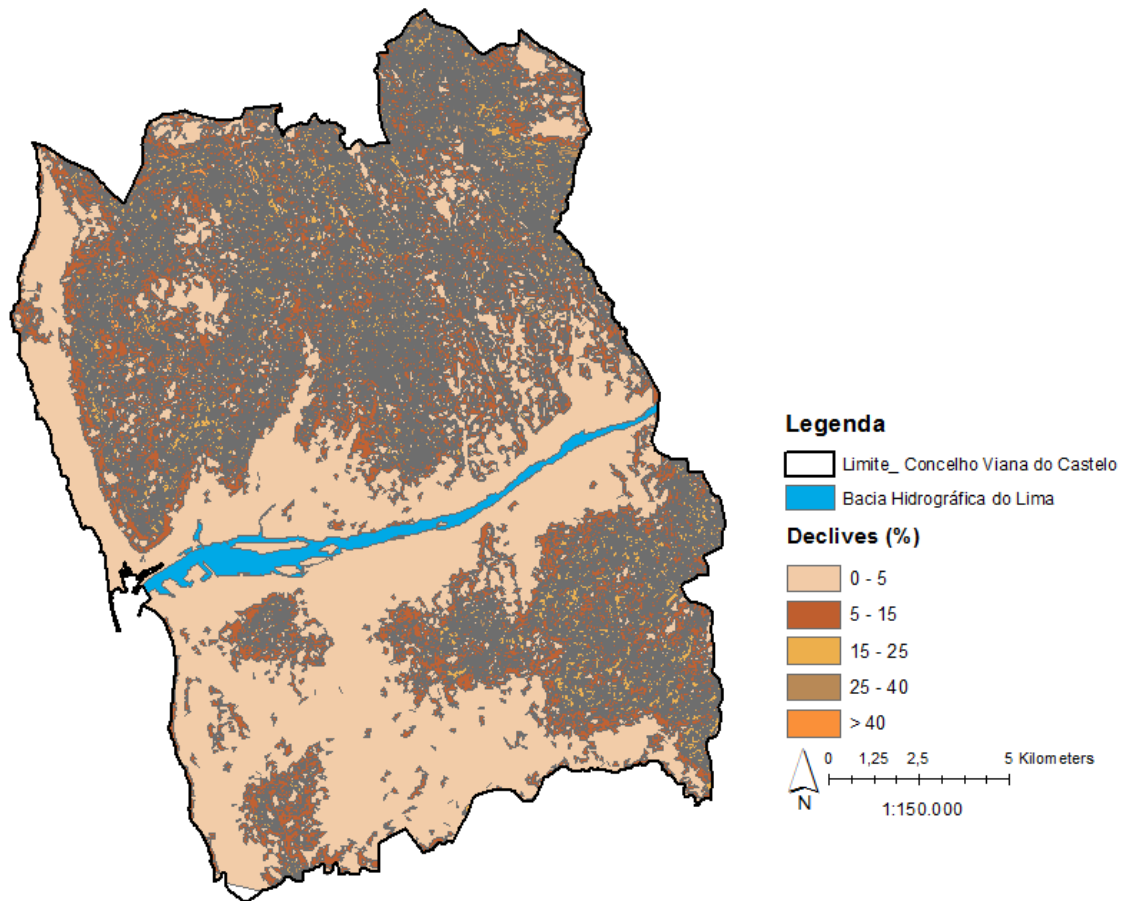


Figura 4.4: Mapa de Declives do Concelho de Viana do Castelo

### 4.3. EXPOSIÇÃO

A exposição de um terreno corresponde á sua orientação geográfica, variando a radiação solar recebida com as diferentes orientações. Exposições solares diferentes geram microclimas também diferentes, ao nível do conforto bioclimático, o que determina a existência ou predominância de algumas espécies vegetais. No hemisfério Norte, as vertentes expostas a Sul são as que recebem maior quantidade de radiação ao longo do ano, enquanto as vertentes expostas a Norte apresentam valores mais baixos de radiação recebida, tornando-as um pouco desconfortáveis, pois apresentam-se mais frias. Em relação às exposições viradas a Poente e a Nascente, pode dizer-se que estas apresentam quantidades de radiação intermédia. A Poente, os valores da temperatura do ar são normalmente superiores aos das vertentes viradas a Nascentes, devido ao gradual e acumulado aquecimento das massas de ar durante todo o período de radiação ativa.

No Concelho de Viana do Castelo predominam as zonas planas, sendo que as restantes orientações apresentam-se uniformemente distribuídas.

No concelho de Viana do Castelo é possível destacar tal como é possível analisar na figura 4.5., mais uma vez as áreas expostas ao plano correspondendo a zonas junto ao Rio Lima e as zonas junto á costa marítima. As quais apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento da atividade agrícola, e que na generalidade se encontram ocupadas por esta.

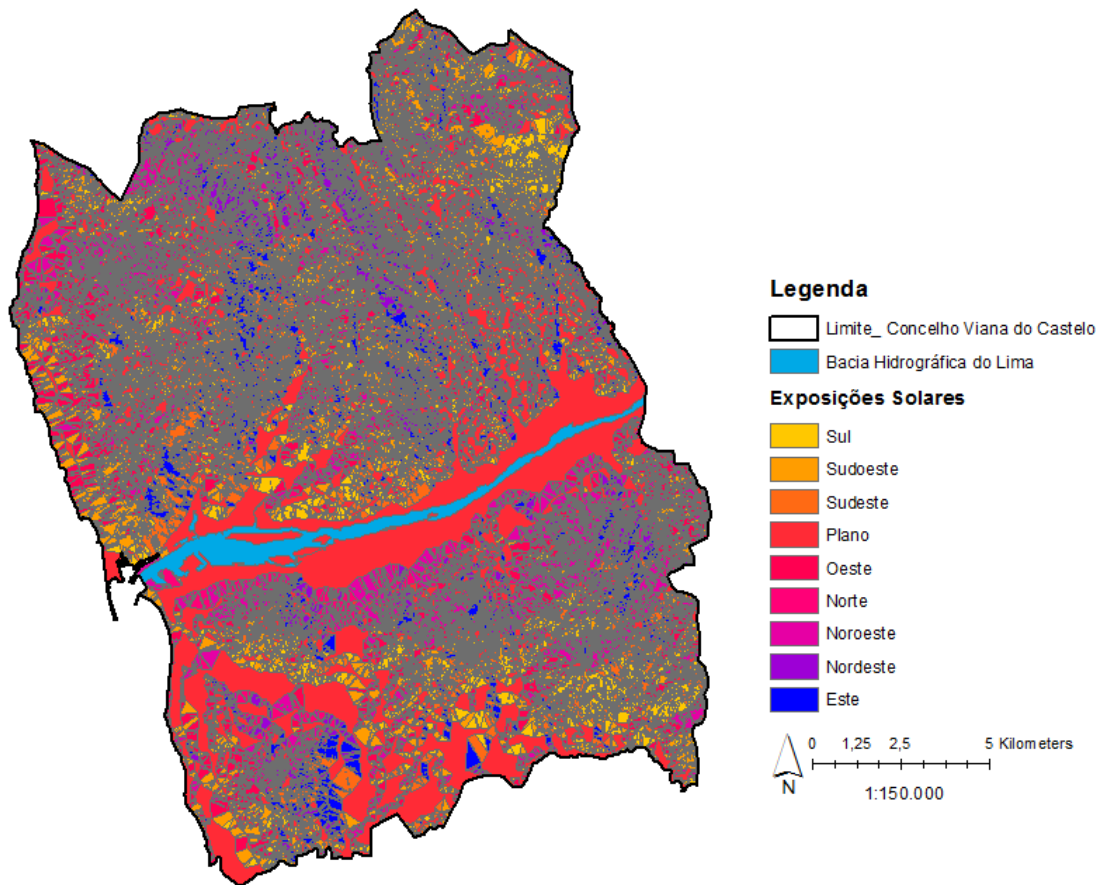


Figura 4.5: Mapa de Exposições Solares de Viana do Castelo



#### 4.4. HIDROGRAFIA

O distrito de Viana do Castelo encontra-se inserido em três bacias hidrográficas sendo estas a do rio Minho, rio Coura e rio Lima; no caso do concelho de Viana do Castelo este encontra-se na sua totalidade inserido na bacia hidrográfica do rio Lima tem uma superfície aproximada de 2.450 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 1.140 km<sup>2</sup> (46,5%) em território português.

O Rio Lima atravessa o concelho de Viana do Castelo, representando o principal curso de água do concelho, tal como é possível observar na figura 4.6. No entanto este concelho encontra-se com diferentes pontos de água, destacando: Feital, Golada, Lagoa, Limite da Costa, Poço Negro, Regato da Fraga, Regato de Agradas, Regato de Lanhelas, Regato Grande, Regueirão da Padeira, Regueiro da Lapa Ladrão, Regueiro da Outra Banda, Regueiro da Póvoa, Regueiro dos Enxurros, Ribeira da Fonte das Bestas, Ribeira da Mainça, Ribeira da Peralta, Ribeira da Silvareira, Ribeira das Bouças, Ribeira das Neves, Ribeira de Amonde, Ribeira de Anha, Ribeira de Fornelos, Ribeira de Nogueira, Ribeira de Portuzelo, Ribeira de S.Paio, Ribeira de S.Simão, Ribeira de Samonde, Ribeira de Santa Martinha, Ribeira de Subportela, Ribeira do Lourinhal, Ribeira do Pego, Ribeira do Pisco, Ribeiro de Rio Tinto, Ribeiro do Boleco, Ribeiro do Bufo, Ribeiro do Mesieiro, Ribeiro do Outeiro, Ribeiro do Penegudo, Ribeiro dos Reis Magnos, Rio Âncora, Rio Cabanas, Rio Covo, Rio de Cabanas, Rio de Carvalheiras, Rio de Oliveira, Rio do Areeiro, Rio do Fojo, Rio do Poço Negro, Rio do Seixo, Rio dos Campos, Rio Galego, Rio Neiva, Rio Paradela, Rio Sapeiras.

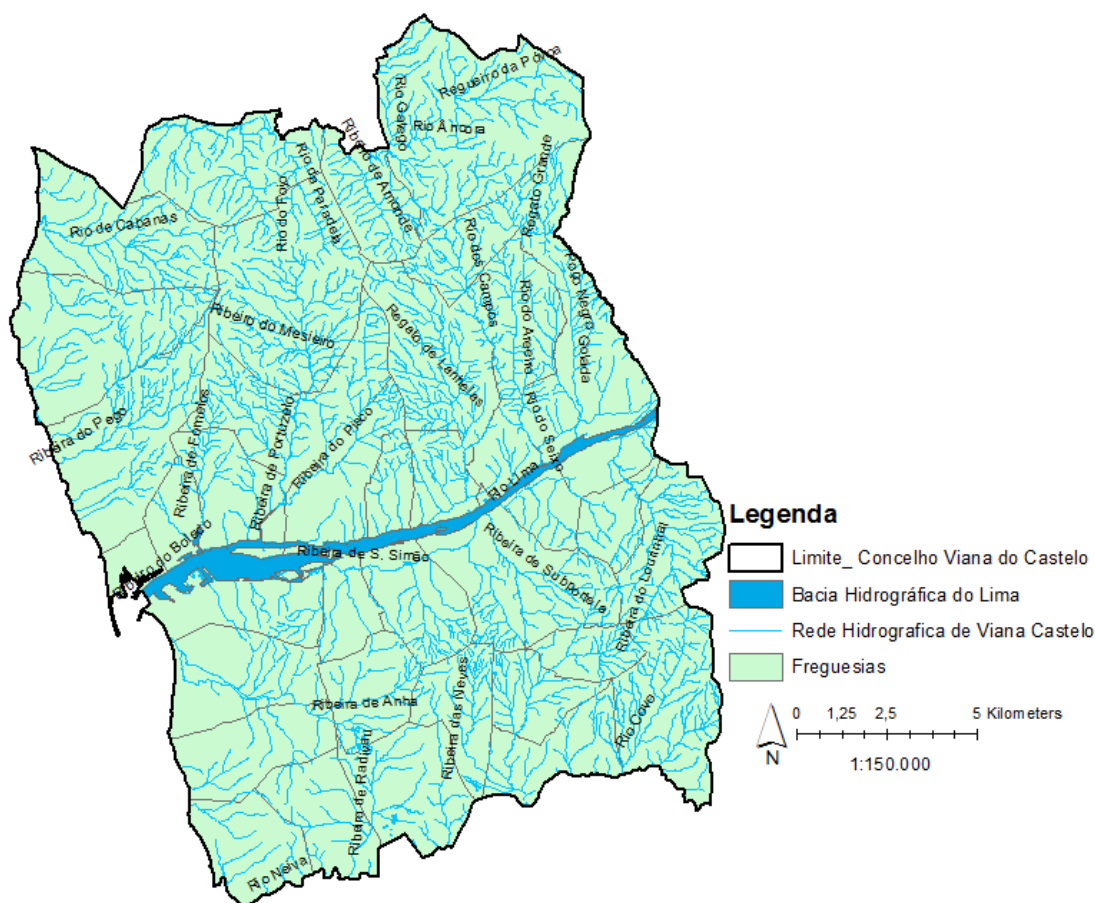


Figura 4.6: Rede Hidrográfica do concelho de Viana do Castelo

O rio Lima nasce em Espanha, na Serra de S. Mamede, a cerca de 950m de altitude. Tem cerca de 108km de extensão e desagua no Oceano Atlântico, na cidade de Viana do Castelo.

Segundo o Plano de Bacia Hidrográfica do Minho/ Lima (PBH, 2012), este é composto por três troços distintos tendo em conta o tipo de relevo associado ao vale. O primeiro, que vai desde a fronteira até Ponte da Barca, o segundo que vai de Ponte da Barca até perto de Ponte de Lima e por fim o troço tradicionalmente designado como “Ribeira Lima”, que vai até à Foz, em Viana do Castelo.

#### 4.5. SOLOS E APTIDÃO DA TERRA

Ao longo das margens do Rio Lima, os solos são extraordinariamente férteis, o que torna a terra num dos principais recursos naturais da região. Também o subsolo é igualmente rico, quer pela diversidade de minerais existentes, nomeadamente areias, cascalheira, granitos, xistos, grauveques e xistos metamórficos, quer pelo considerável número de fontes exploráveis de águas mineromedicinais. De um modo geral, os solos da região de Vale do Lima são insaturados, isto é, apresentam valores de pH menores do que 5,5 e elevados teores de matéria orgânica sobretudo nas áreas de pluviosidade mais elevada.

#### 4.6. CARATERIZAÇÃO CLIMÁTICA

##### 4.6.1. CLIMA

O clima é um fator essencial na definição das condições ecológicas de cada região condicionando o desenvolvimento das diversas atividades.

Segundo a carta de Solos e Aptidão da Terra da Direção Regional de Agricultura do Entre Douro e Minho (DRAEM), o tipo de zonas climáticas predominantes no Concelho de Viana do Castelo é o da Terra Temperada Quente Atlântica (Qa), que se situam entre os 250 e os 400 metros de altitude. Esta zona climática apresenta valores de temperatura média anual entre os 14 e os 16 °C e a temperatura média do mês mais quente é de 20 °C. Nesta zona os valores de precipitação variam entre os 1600 mm e os 2000 mm.

A Terra Temperada Quente Litoral (Ql) predomina em zonas com altitudes inferiores a 250 metros, encontrando-se associada às zonas localizadas junto dos principais cursos de água. Esta zona pode apresentar uma considerável amplitude nos valores de precipitação, que variam entre o mínimo de 1200 mm e um máximo de 2400 mm.

##### 4.6.2. TEMPERATURA DO AR, PRECIPITAÇÃO, HUMIDADE RELATIVA

Segundo dados da estação meteorológica de Darque, estação da qual foram recolhidos os dados analisados para um período compreendido entre 1970 a 1990.

Pela análise da tabela 4.1, verificamos que os meses de Junho, Julho e Agosto são os que apresentam temperaturas mais elevadas apresentando temperaturas de médias

mensais de entre os 18 e os 20 C° e chegando a atingir temperaturas máximas de cerca de 40 C°.

Em relação á humidade relativa do ar, podemos verificar que os valores mais baixos de humidade se registam nos meses de Junho, Julho e Agosto começando a aumentar gradualmente a partir do mês de Setembro.

Assim conjugando estes valores com os da temperatura verificamos que o período com condições menos favoráveis para recarga dos aquíferos, furos e poços.

Em relação à precipitação verificou-se que os meses de Julho e Agosto são os que registam valores mais baixos de precipitação e os meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro os valores mais elevados. A partir de Março, e com a entrada da Primavera estes valores começam a diminuir. Período do ano em que as necessidades de rega começam a aumentar, logo a gestão da água se tornar num fator de elevado grau de importância.

Os dados relativos a este parâmetro foram obtidos a partir da Estação Udográfica de Darque, para um período compreendido entre 1970 e 1990.

Tabela 4.1:Caraterização Climática do Concelho de Viana do Castelo entre 1970 – 1990  
(Fonte: Estação Meteorológica de Darque)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
$T_{avm}^a$	9,4	10,4	11,4	13,1	15,1	18,3	20,3	19,9	19,1	15,7	12,4	10,3
$T_{avmax}^a$ :	14,1	14,8	16,3	17,9	19,8	23,5	25,7	25,7	24,9	20,9	17,4	14,9
$T_{max}^a$ :	23,0	24,5	26,5	27,8	34,3	38,6	37,9	37,1	36,9	32,8	26,8	24,6
$HR_9$	89	87	82	76	75	74	75	78	80	86	88	88
$HR_{15}$	69	70	65	64	64	62	60	59	59	66	69	72
$HR_{21}$	86	85	80	77	79	79	79	79	83	88	88	86
$P_T$	214,0	192,0	117,0	105,0	98,0	62,4	28,0	24,3	76,7	155,0	153,0	216,0
$P_{maxd}$	67,8	88,3	66,6	55,8	52,7	50,9	35,7	63,9	103,0	93,4	72,1	77,8

$T_{avm}^a$ : temperatura média mensal (°C),  $T_{avmax}^a$ : temperatura média das máximas (°C);  
 $T_{max}^a$ : temperaturas máximas (°C);  $HR_9$ : humidade relativa às 9 h (%);  $HR_{15}$ : humidade  
relativa às 15 h (%);  $HR_{21}$ : humidade relativa às 21 h (%);  $P_T$ : Precipitação (mm);  
 $P_{maxd}$ : Precipitação máxima diária (mm)

#### 4.7. APLICAÇÃO MIKE BASIN

Na figura 4.7 apresenta-se algoritmo proposto para a presente dissertação. Este representa a sequência do processo de aplicação do caso de estudo, tendo como ponto de referência a bacia hidrográfica do lima. Para desencadeamento do processo é necessário entrar com dois tipos de dados: precipitação e dados espaciais, designadamente modelo digital do terreno (MDT) e carta de uso do solo. Com o resultado das equações obtemos o escoamento originado na bacia. Com a obtenção do escoamento é possível introduzir os dados no MIKE BASIN, realizando assim a simulação dos cenários.

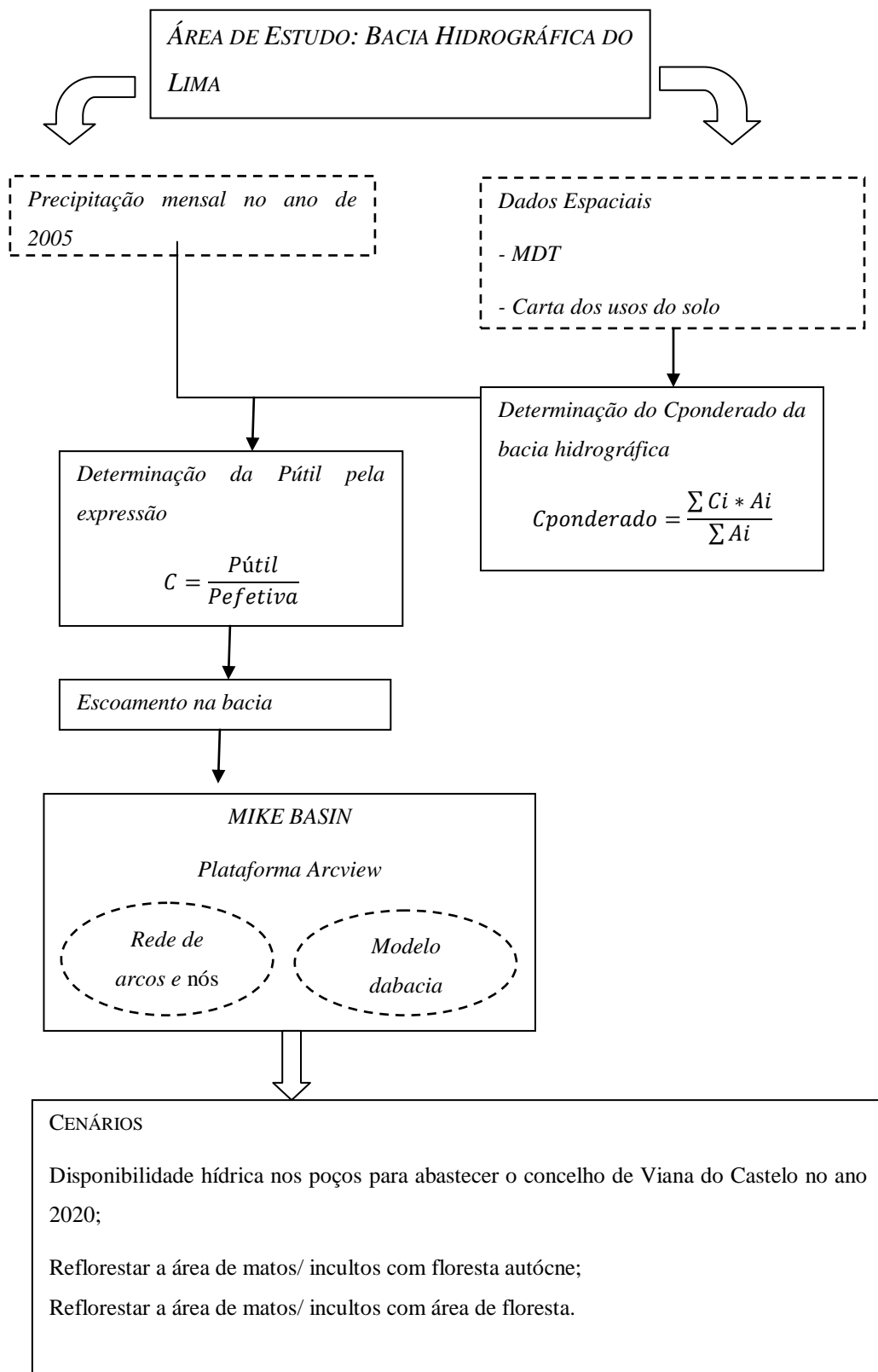


Figura 4.7: Encadeamento metodológico proposto

Ao iniciar a aplicação, toda a informação deve estar georreferenciada para que o modelo desenvolvido esteja correto. Nesta aplicação, os “layers” estão georreferenciados para o *Datum Lisboa Hayford Gauss IGeoE*.

Com todos os parâmetros base definidos, o passo seguinte é a criação do modelo no software, utilizando o MDT, representado na figura 4.2, em formato raster, num layer da plataforma SIG. O MDT é desenvolvido, tendo em consideração curvas de nível da área em estudo.

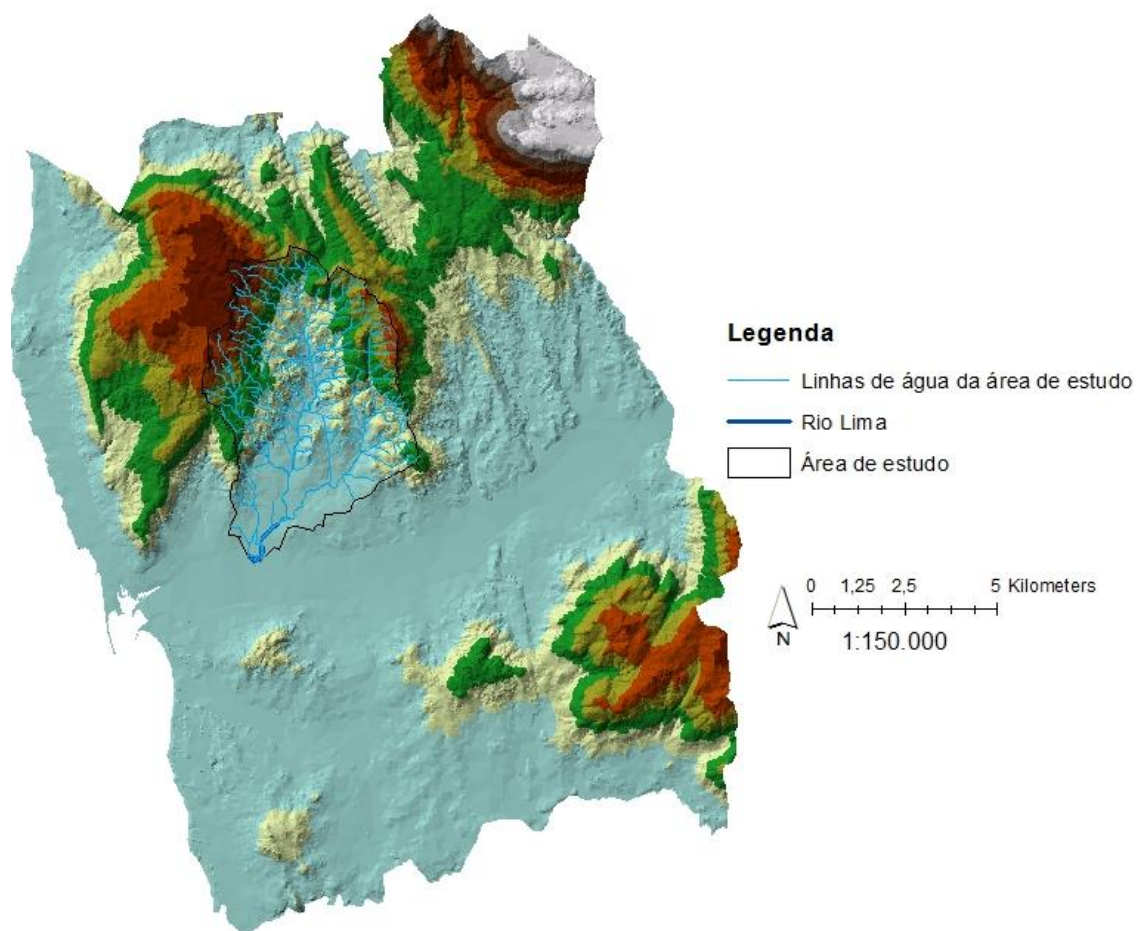


Figura4.8: Modelo Digital do Terreno (MDT)

Para determinar as linhas de água seleciona-se a opção “*Trace River*” bastando apenas indicar o seu início, este passo é realizado com o auxílio das cartas militares de Portugal. O MIKE BASIN tem a capacidade de delimitar as linhas de água até jusante.

Após o delineamento da linha de água, com o auxílio do comando “*Reservoir*” (with catchment) foi traçada a sub-bacia.



Em seguida, introduziu-se o local onde a água é extraída, a albufeira é representada na aplicação por “Reservoir (with Cathment)” Node e os utilizadores da água por “Water User”.

#### 4.8. TRATAMENTO DE DADOS

O escoamento superficial constitui um dado a ser introduzido no modelo. É obtido com base na precipitação útil (*P<sub>útil</sub>*) e na precipitação efetiva (*P<sub>efetiva</sub>*) da bacia hidrográfica do Lima. Os valores do quadro 4.1 correspondem aos valores mensais da precipitação efetiva no ano de 2005 foi utilizado o ano de 2005, pois este pode ser considerado um ano médio.

Quadro 4.1: Precipitação efetiva média mensal em 2005 (mm) (Fonte: Estação Meteorológica de Darque)

Ano 2005												
Data/ Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Precipitação (mm)	42,5	20,4	115,4	70,6	42,1	26	41,6	1,3	37,5	296,1	104,9	10,6

Com base na equação do coeficiente de escoamento (equação 4.1) determina-se a precipitação útil.

$$C = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{efetiva}}} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

*C*: Coeficiente de escoamento

*P<sub>útil</sub>*: precipitação útil (mm)

*P<sub>efetiva</sub>*: precipitação efetiva (mm)

Para calcular o coeficiente de escoamento utilizou-se a carta de usos do solo, gerada através do método de fotointerpretação com apoio de ortofotomapas representada na figura 4.9, onde se pode verificar que a área de drenagem para recarga de aquíferos é composta por: área agrícola, área de floresta, área de matos/ incultos e área de urbano.

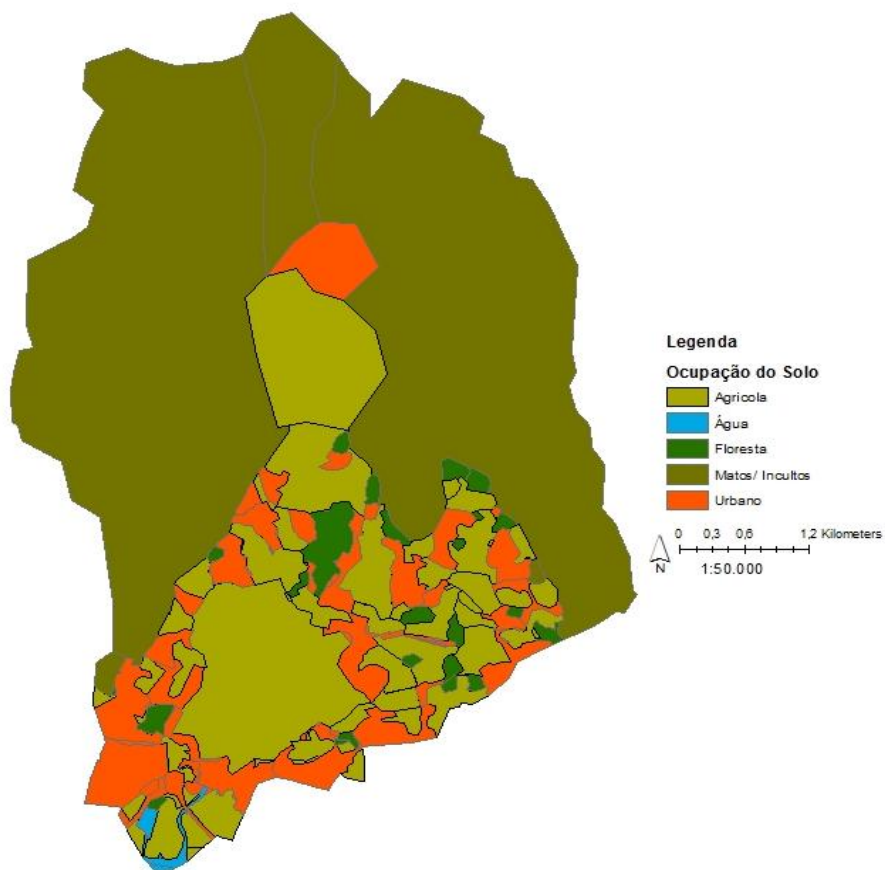


Figura 4.9: Mapa de Ocupação do Solo da área de drenagem (Fonte: Própria)

O coeficiente de escoamento é a razão entre a precipitação útil e a precipitação efetiva. Este depende de vários fatores como o tipo de solo, cobertura vegetal, o grau de saturação do solo e o declive geral da bacia. Os valores do coeficiente de escoamento ( $C$ ) foram retirados de Lencastre e Franco (2003). O quadro 4.2, apresenta os valores de coeficiente de escoamento  $C$  para os usos do solo considerados.

Quadro 4.2: Coeficiente de escoamento (C) (Fonte: Lencastre e Franco, 2003)

<i>USO DO SOLO</i>	<i>COEFICIENTE DE ESCOAMENTO</i>
AGRÍCOLA	0,45
FLORESTA	0,25
MATOS / INCULTOS	0,75
URBANO	0,90

Com base na equação do coeficiente de escoamento ponderado (equação 4.2), foi determinado o valor do coeficiente do escoamento ponderado da bacia hidrográfica em estudo, cujo valor é de:

$$C_{ponderado} = \frac{\sum Ci \cdot Ai}{\sum Ai} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

*Ci*: coeficiente de escoamento de cada tipo de solo

*Ai*: área correspondente a cada tipo de solo (m<sup>2</sup>)

O quadro 4.3 representa os valores de precipitação útil e precipitação efetiva para o ano de 2005.

Quadro 4.3: Precipitação efetiva e útil média mensal em 2005 (mm)

<b>Ano 2005</b>												
<b>Data/ Mês</b>	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<b>Precipitação efetiva (mm)</b>	42,5	20,4	115,4	70,6	42,1	26	41,6	1,3	37,5	296,1	104,9	10,6
<b>Precipitação útil (mm)</b>	99,88	47,94	271,19	165,91	98,94	61,10	97,76	3,06	88,13	695,84	246,52	24,91

Conhecendo os valores mensais da precipitação útil, determinou-se pela equação do caudal médio mensal (equação 4.3) o caudal médio mensal, apresentado no quadro 4.4.

$$Q = \frac{P_{\text{útil}} \cdot 10^{-3} \cdot A}{\text{dias} \cdot \text{horas} \cdot \text{seg}} \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde:

Q: caudal médio mensal ( $m^3/s$ )

A: área ( $m^2$ )


P<sub>útil</sub>: precipitação útil (mm)

Quadro 4.4: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima

Ano 2005												
Data/ Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Precipitação (mm)	6,95	3,34	18,87	11,55	6,89	4,25	6,80	0,21	6,13	48,43	17,16	1,73

#### 4.7.1 INTRODUÇÃO DOS DADOS NO MODELO

A informação pode ser importada para o modelo em diversos formatos por exemplo, Excel, como foi efetuado nesta aplicação.

O passo seguinte é associar temporal ao espaço. Assim, seleciona-se o  do menu MIKE BASIN e o local onde se pretende carregar a informação.

Neste ponto, a bacia hidrográfica encontra-se localizada espacialmente no modelo, sendo imprescindível, para uma correta gestão da água, a definição de algumas características, nas propriedades do reservatório, é necessário definir as condições de operação dos poços e furos, definindo-se a cota mínima de operação, a variação das cotas de água e o caudal ecológico máximo e mínimo. Neste caso de estudo, a prioridade de utilização da água da albufeira foi definida com prioridade primária satisfazer as necessidades de rega na freguesia de Viana do Castelo.

Após a realização de todos os passos mencionados, o modelo está inteiramente definido, possibilitando a realização das simulações. Para tal seleciona-se o comando “run”, no menu MIKE BASIN.

As necessidades de água adotadas nas várias simulações, tiveram por referência as necessidades hídricas do ano de 2005, presumindo-se que para cada ano que passa, cada pessoa consome mais  $1l/dia$ , ou seja  $365 l ano^{-1}$ . Os valores de referência foram extraídos do SNIRH.

Foi realizada uma simulação relativa ao ano de 2005, nesta pretendeu-se estimar as disponibilidades hídricas na bacia. Pela comparação dos resultados obtidos, na simulação, com os valores reais fornecidos pelo SNIRH, foi possível analisar a veracidade dos resultados, bem como o rigor do modelo usado.

A realização das simulações, referentes ao ano de 2020, implicou o conhecimento do clima, em especial, o comportamento da precipitação para esse ano, visto que o clima não é claramente estável. Assim sendo, para este estudo foram adotados os dados do projeto SIAM II, 2002 (Alterações Climáticas em Portugal: Cenários Impactos e Medidas de Adaptação) desenvolvido pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) em colaboração com investigadores de diversas instituições portuguesas. Os seus resultados foram apresentados em 2006, constituindo a mais recente avaliação integrada dos potenciais impactos das Alterações Climáticas, sendo que, para Portugal, até ao final do século XXI, os modelos preveem alterações na precipitação. Os cenários climáticos obtidos com modelos regionais (sendo os dados referentes ao modelo HadRM3 do *Hadley Center UK*) indicam evidentes alterações nos padrões climáticos do final do século XXI no período de 2070 – 2099, relativamente ao período de controlo 1961 – 1990. Este modelo utilizou precipitações do passado com base nas concentrações de CO<sub>2</sub>.

Para o período de tempo compreendido entre 2070 e 2099, ocorrerá uma redução da precipitação de 10% nos meses de Inverno, 30% nos meses de Outono, 50% nos meses de Primavera e 60% nos meses de Verão (Santos e Miranda, 2006). O anexo II ilustra os mapas que representam geograficamente a redução da precipitação associada a cada ponto e para estação do ano.

Os cenários em análise, para o ano 2020 são:

**CENÁRIO I:** Nesta situação pretendeu-se verificar se os poços / furos terão disponibilidades hídricas capazes de garantir as necessidades de água para Viana do Castelo. Sendo estas representadas por um volume total de água de  $74780 \text{ m}^3$ , onde atualmente os poços/ furos garantem um abastecimento de  $67932 \text{ m}^3$ , sendo os restantes  $6848 \text{ m}^3$  fornecidos pela rede pública. A figura 4.10 representa as linhas de água de abastecimento ao caudal de recarga.

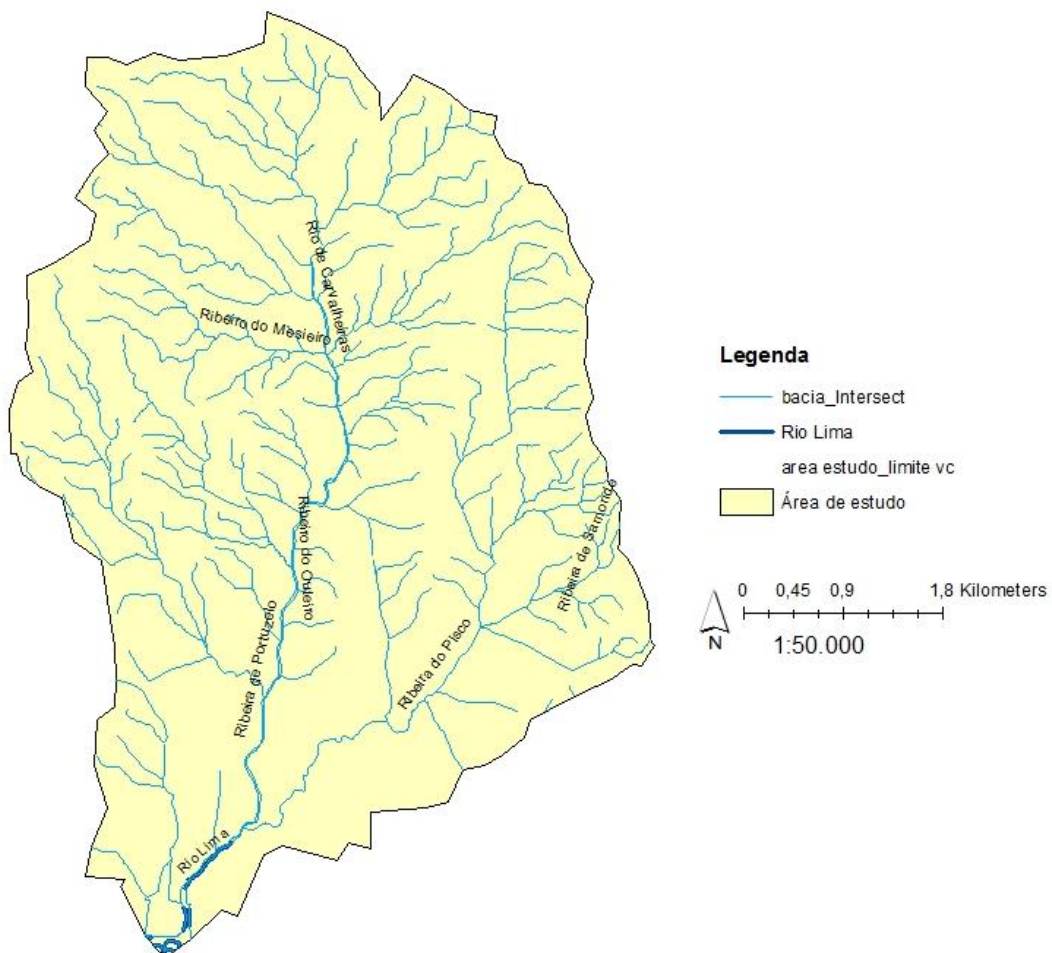


Figura 4.10: Área de estudo com as linhas de água de abastecimento ao caudal de recarga

**CENÁRIO II:** O cenário proposto caracteriza-se pela reflorestação da área de matos / incultos por floresta Autócne, uma vez que é de grande interesse sob o ponto de vista ambiental e económico o aumento das plantações destas espécies. Sendo considerado o coeficiente de escoamento correspondente ao de floresta.

**CENÁRIO III:** Neste cenário foi proposto a alteração do uso dos matos / incultos para área agrícolas, pois estas refletem cada vez mais um aumento significativo do seu potencial económico e em diversas situações de sustentabilidade.

## 5. RESULTADOS

A figura 5.1 ilustra as disponibilidades hídricas médias mensais na bacia do Lima, ao longo do ano de 2005 simulados com o MIKE BASIN.

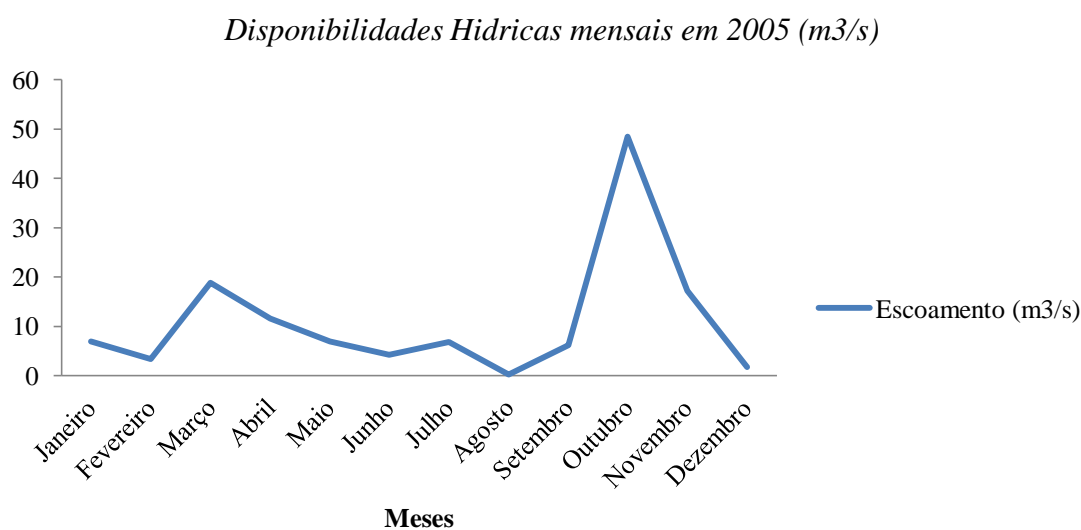


Figura 5.1: Disponibilidades Hídricas mensais em 2005 (m<sup>3</sup>/s)

O escoamento superficial anual total, no ano de 2005, é de 132,31 m<sup>3</sup>/s. O valor máximo de escoamento superficial na bacia do Lima é atingido no mês de Outubro e o valor mínimo é atingido no mês de Agosto. Nos meses de verão, registam-se os valores mais baixos de escoamento, não apenas como consequência da diminuição da precipitação e aumento da temperatura. No primeiro trimestre, verifica-se um aumento pontual entre o mês de Março e Abril. No período entre Setembro e Outubro, o escoamento superficial sofre um aumento significativo.

Numa situação do cenário II no ano de 2005 os valores de escoamento são os mesmos que para o cenário III, pois apesar de ocorrer transformação de categorias em ambos os cenários apresentados a classe que visa desaparecer é a mesma, matos / incultos.

Obtendo assim o escoamento apresentado no quadro 5.1.



Quadro 5.1: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima para o ano de 2005 mediante as condições dos cenários I, II e III

Ano 2005													
Data/ Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total Ano
Escoamento (m <sup>3</sup> /s) para o cenário I	6,95	3,34	18,87	11,55	6,89	4,25	6,80	0,21	6,13	48,43	17,16	1,73	132,31
Escoamento (m <sup>3</sup> /s) para o cenário II e III	4,73	2,27	12,85	18,47	4,69	2,90	4,63	0,14	0,20	32,97	1,94	1,18	86,98

Através da análise da figura 5.2 é possível concluir que no ano 2005 o escoamento foi seria maior nos meses em que as necessidades hídricas de rega também são superiores, isto é início da primavera. No entanto no período de Agosto e Setembro ocorrem as diferenças mais significativas pois é o período em que o escoamento é mais baixo.

Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais do ano 2005 para o cenário I, cenário II e o cenário III (m<sup>3</sup>/s)

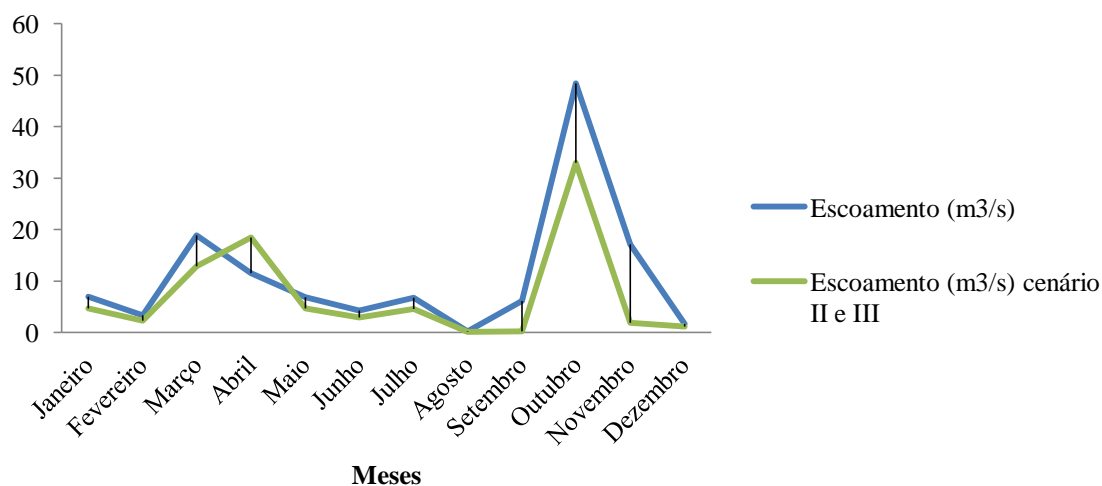


Figura 5.2: Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais do ano 2005 para as condições do cenário I, cenário II e o cenário III (m<sup>3</sup>/s)

**CENÁRIO I:** Através do quadro 5.2 é possível observar os resultados obtidos para o cenário I para o ano de 2020.

Quando realizada a análise das disponibilidades hídricas para o ano 2020 é possível verificar que estas em comparação com o ano de 2005 tendem a aumentar.

Quadro 5.1: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima para o ano de 2005 e 2020

<b>Data/ Mês</b>	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	<b>Total Ano</b>
<b>Escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o cenário I ano 2005</b>	6,95	3,34	18,87	11,55	6,89	4,25	6,80	0,21	6,13	48,43	17,16	1,73	132,31
<b>Escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o cenário I ano 2020</b>	6,26	3,00	16,99	10,39	6,20	3,83	6,12	0,19	5,52	43,58	15,44	1,56	119,08

Para o cenário I as disponibilidades hídricas mensais em comparação com o ano de 2005 são idênticas. Apenas nos meses de pico máximo de escoamento, sendo estes Março e Outubro, existe uma pequena diferença mas pouco significativa. Tal como é possível analisar através da figura 5.3.

Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais entre 2005 e 2020 para o cenário I(m<sup>3</sup>/s)

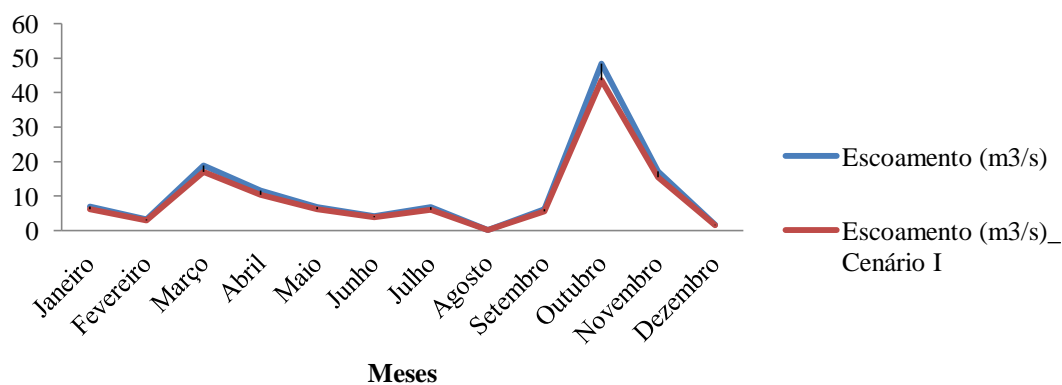


Figura 5.3: Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais entre 2005 e 2020 (m<sup>3</sup>/s)

**CENÁRIO II E III:** Através do quadro 5.3 é possível observar os resultados obtidos para o cenário I para o ano de 2020.

Quadro 5.3: Escoamento Superficial na bacia Hidrográfica do Lima para o ano de 2005 e 2020 para os cenários II e III

Data/ Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total Ano
<b>Escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o cenário II e III ano 2005</b>	4,73	2,27	12,85	18,47	4,69	2,90	4,63	0,14	0,20	32,97	1,94	1,18	86,98
<b>Escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o cenário II e III ano 2020</b>	4,26	2,04	11,57	7,08	4,22	2,61	4,17	0,13	3,76	29,67	10,51	1,06	81,08

Ao concretizarmos a análise dos resultados para o cenário II e III, é possível observar através da figura 5.4 que o escoamento mensal diminuiu significativamente, sendo este contraste maior nos meses de pico máximo de escoamento.

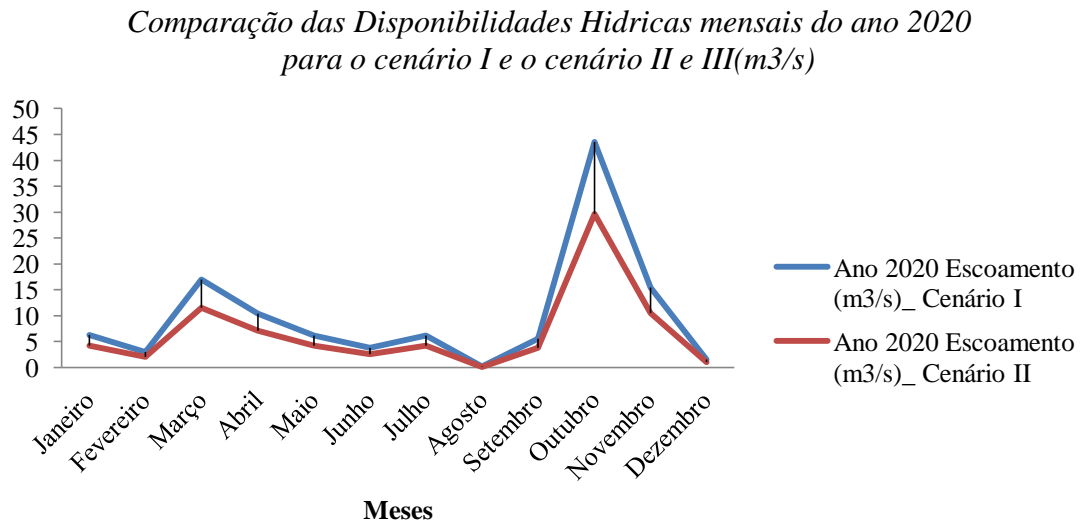


Figura 5.4: Comparação das Disponibilidades Hídricas mensais do ano 2020 para o cenário I e o cenário II e III (m<sup>3</sup>/s)

Da análise realizada anteriormente verifica-se que todos os cenários propostos, resultam numa diminuição do escoamento superficial, revelando-se um fator positivo para o estudo realizado. Pois quando ocorre diminuição do escoamento superficial significa que a infiltração aumentou gerando assim um aumento do caudal de recarga do aquífero logo aumenta a disponibilidade hídrica dos poços e furos.

## 6. CONCLUSÕES

A metodologia aplicada mostrou estar adaptada aos objetivos deste trabalho. Sendo a região de Viana do Castelo (freguesia) uma área predominantemente urbana, e com tendência a aumentar, onde a água é essencialmente utilizada para rega dos espaços verdes, a principal fonte de captação da água são furos e poços.

A bacia do Lima possui uma área total de 2480 km<sup>2</sup>, estando presente no território nacional 1180 km<sup>2</sup>, o universo em estudo engloba um universo de 167 740 habitantes, equivalendo a uma densidade populacional de 107 hab/km<sup>2</sup>.

Para o desenvolvimento deste trabalho, muito contribuíram os SIG, que possibilitaram a monitorização da informação recolhida, simplificando o tratamento e a visualização dos dados.

Da análise dos resultados da simulação, o escoamento total no ano de 2005, na bacia do Lima foi de 132,31 m<sup>3</sup>/s.

O MIKE BASIN revelou-se uma ferramenta útil para a simulação de cenários (nomeadamente para o ano de 2020). Os cenários propostos foram criados com base em situações que afetavam o aumento das necessidades hídricas e em contrapartida maior capacidade de resposta por parte dos poços e furos, em termos de disponibilidades hídricas. Foi também proposto o cenário de reflorestação de matos / incultos por floresta autóctone que diminuirá a escorrência, logo diminuirá o escoamento. Sendo este um aspeto positivo para o estudo realizado, pois significa que ocorrerá maior infiltração logo maior caudal de recarga para o aquífero, maior quantidade de água nos poços/furos.

No caso do cenário I, que refere a satisfação das necessidades, o escoamento total anual estimado é de 119,08 m<sup>3</sup>/s, cerca de 10% do verificado no ano de 2005, este fato é justificado pelo aumento das necessidades hídricas da população e pela diminuição da precipitação que se estima para o ano de 2020. Assim neste caso é impossível com estes dados afirmar que as necessidades hídricas serão garantidas, para este cenário.

O cenário II refere-se ao reflorestamento das zonas de matos / incultos com floresta autóctone. Neste contexto, o escoamento total anual estimado é de 81,08 m<sup>3</sup>/s tendo uma redução de cerca de 32,72% em relação ao ano de 2005. Os poços mediante este cenário terão maior disponibilidade hídrica, pois o caudal de recarga será maior.

O cenário III refere-se à ocorrência de reflorestamento das zonas de matos / incultos com área agrícola. Neste contexto, o escoamento anual continua a diminuir tal como nas duas situações anteriormente apresentadas sendo a diferença igual á estimada para o cenário II. Como tal é possível concluir que o cenário II e III apresentados são adequados. Prevê-se que com a diminuição do escoamento superficial intuísse que a infiltração aumenta, logo maior disponibilidade de água no aquífero.

O MIKE BASIN revelou-se um importante instrumento de apoio à decisão, não apenas em matéria de ordenamento do território, mas também na análise das disponibilidades hídricas.

Como trabalhos posteriores, na ótica da utilização do MIKE BASIN seria de grande interesse alargar o estudo para o concelho de Viana do Castelo, assim com focar o estudo no escoamento subterrâneo, uma vez que este representa em várias situações uma fonte de elevado interesse e potencial de utilização.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILLEZ, F., SILVA, F.G. (2011). *Custos e Disponibilização a pagar pela água de rega: metodologia de análise*. Em: O Uso da água na Agricultura, INE, Portugal, pp. 85-95.

BANGASH, R. F., “Water allocation assessment in low flow river under data scarce conditions: A study of hydrological simulation in Mediterranean basin”, 2012

CABRAL, P., “*Sistemas Espaciais se Apoio à Decisão: O Sistema de Apoio ao Licenciamento da Direcção Regional do Ambiente do Alentejo*”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001, Tese de Mestrado.

CASTANHEIRA, G., BRAGANÇA, L., “Estratégias de Intervenção para a Regeneração Urbana Sustentável”, 2012

CAVACO, C. E SIMÕES, J., “*Água: desenvolvimento e bem-estar*”, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Gabinete de Planeamento e Política Agroalimentar, Lisboa, 1998.

CUNHA, L., OLIVEIRA, R., NUNES, V., “*Impactos das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos em Portugal*” da Água. Engenharia Civil. UM, pp. 5-12. Engenharia Civil. UM, pp. 5-20.

CUNHA, L., OLIVEIRA, R., NUNES, V., “*Impactos das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos em Portugal.*”, 2007

ER-RAKIC, S., “A new irrigation priority index based on remote sensing data for assessing the networks irrigation scheduling”, 2012

FERRER, J., “GIS-based models for water quantity and quality assessment in the Júcar River Basin, Spain, including climate change effects”, 2012

HALA, R., “*MIKE BASIN- An Effective tool for WFD implementation in Czech Republic*”. International MIKE by DHI Conference, Copenhagen, 2010.

JELICOE, G., JELICOE, S. (1995). *The Landscape of Man*. Thames & Hudson Ltd., London. 3ª Edição.

LENCASTRE, A.; FRANCO, F.; “*Lições de Hidrologia*”, Universidade Nova de Lisboa, 2003.

MAS-PLA, J., “Development of a stream–aquifer numerical flow model to assess river water management under water scarcity in a Mediterranean basin”, 2012

MAS-PLA, J., “Development of a stream–aquifer numerical flow model to assess river water management under water scarcity in a Mediterranean basin”, 2012

MCCREADY, M. S., M.D. DUKES, M. D., “Landscape irrigation scheduling efficiency and adequacy by various control technologies”, 2010

MIKE BASIN - “*User’s guide*”, DHI 2008.

MIKE BASIN - “*User’s guide*”, DHI 2008.

PBH DO DOURO (Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro), Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Relatório Final, 2012

PEREIRA, L. S., “Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving”, 2011

PLANO NACIONAL DA ÁGUA, disponível em: [www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/pna/pna.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pna/pna.html)

Política de recursos hídricos. (2001). *Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade*

RODRIGUES, L., LOURENÇO, N., MACHADO C., JORGE, M<sup>a</sup>., “*A Integração do SIG num Sistema de Apoio à Decisão*”, Centro de Investigação da Universidade Atlântica, Barcarena, 2003.

RODRIGUES, M<sup>a</sup>., “*Gestão Integrada da Água*”, Príncípia Editora, Lda., Parede, 1<sup>a</sup> Edição, 2009.

ROSADO, A. S., “RIOS QUE NOS SEPARAM, ÁGUAS QUE NOS UNEM”, Fundação Lex Nova, 1<sup>o</sup>edição, Fevereiro 2012



SANTOS, S., MONTEIRO, A., MOURATO, S., FERNANDEZ, P., “*Os Sistemas de Informação Geográfica na Modelação Hidrológica*”, Leiria, 2009.

SOUZA, R. M., CRISPIM, D. C., KLEBBER T. M. FORMIGA K. T. M., “Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para Simulação de escoamento superficial – caso de estudo bacia do Córrego Samambaia”, 2012

SURVIS, F. D., “Evaluating the effectiveness of water restrictions: A case study from Southeast Florida”, 2012

TIGKAS, D., VANGELIS, H., TSAKIRIS, G., “Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds”, 2012

TROWSDALE, S. A., E LERNER, D. N., “A modelling approach to determine the origin of urban ground water”, 2006

VAZ, Á. C. (1984). *Modelos de Planeamento de Sistemas de Albufeiras em Condições de Incerteza*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

VIEIRA, J. M. (Janeiro de 2003). *Gestão da Água em Portugal. Os Desafios do Plano Nacional*

VIEIRA, J. M. (Março de 2000). *Sistemas de Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos*.

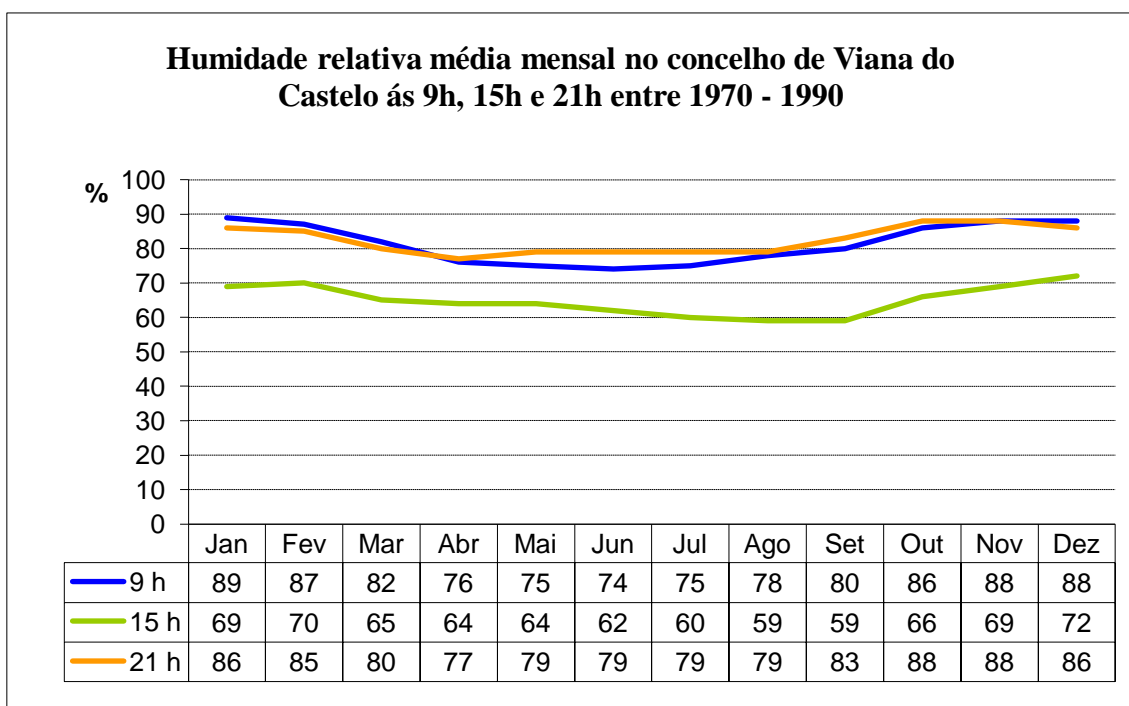
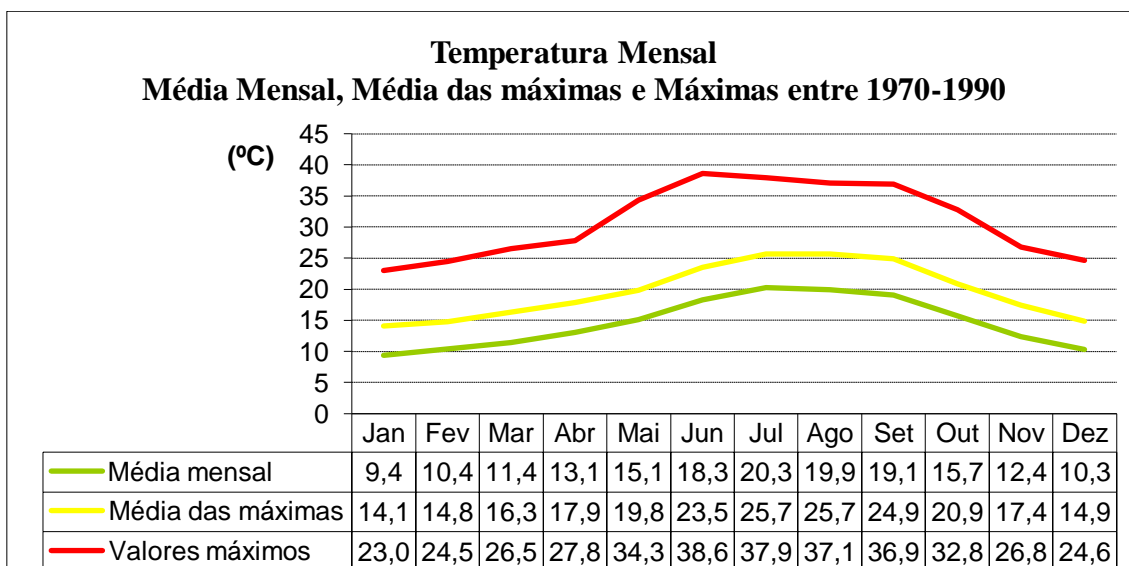
VIVAS, E., & MAIA, R. (Março de 2010). A gestão de escassez e secas enquadrando as alterações climáticas. *Recursos Hídricos*, pp. 25-37.

WALLICK, R. e BORDEN, C., “*Extension of the Lemhi River MIKE BASIN Model (LRMBM) to include the tributaries of the lower Lemhi River Basin and the upper Lemhi River Basin*”, DHI, Inc., 2006.

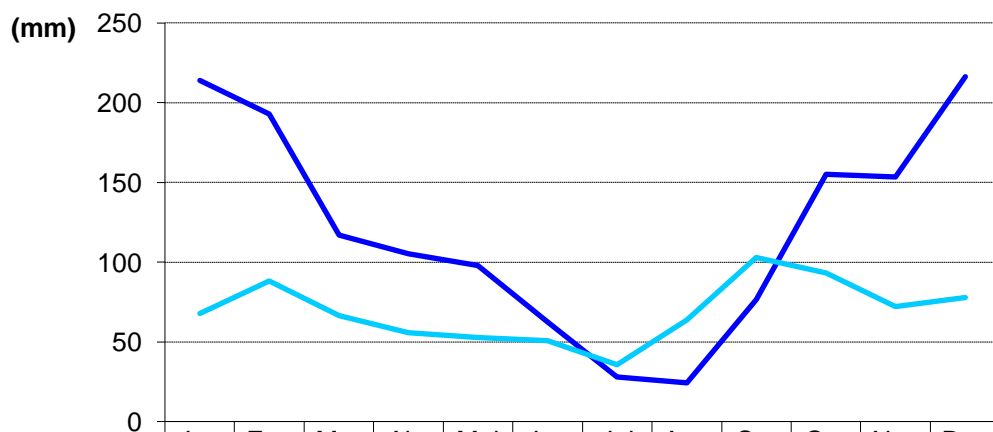
ANEXOS

ANEXO I

Anexo 1 : Caracterização Climática para o concelho de Viana do Castelo ente 1970 – 1990 (Fonte: Estação Metereológica de Darque)



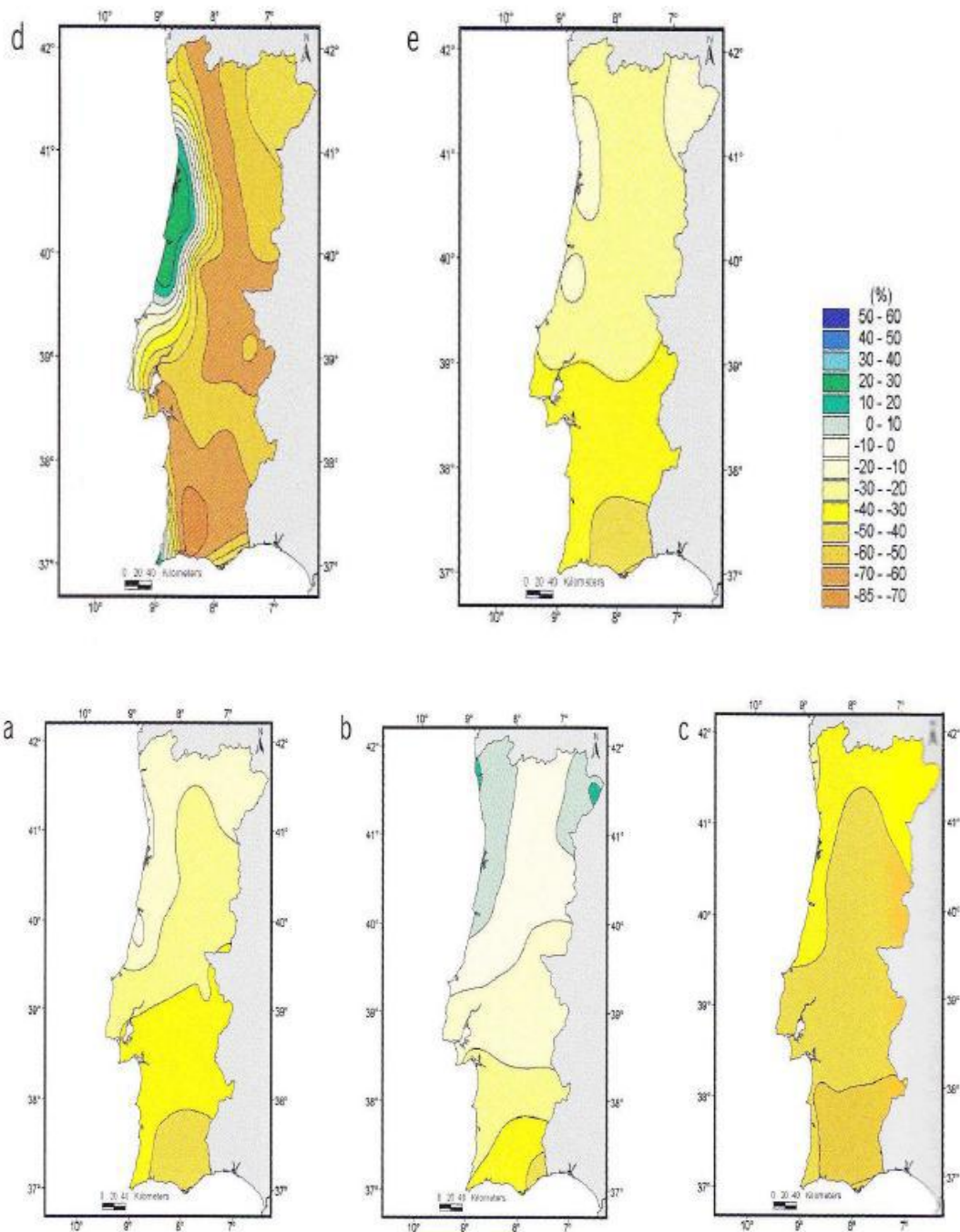
**Precipitação mensal no Concelho de Viana do Castelo  
Total e máxima diária entre 1970-1990**



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
— Total	214,	192,	117,	105,	98,0	62,4	28,0	24,3	76,7	155,	153,	216,
— Máx. (diária)	67,8	88,3	66,6	55,8	52,7	50,9	35,7	63,9	103,	93,4	72,1	77,8

## ANEXO II

Anexo 2: Mapas que representam geograficamente a redução da precipitação associada a cada ponto e para cada estação do ano.



a) Anual; b) Inverno; c) Primavera; d) Verão; e) Outono (Santos e Miranda, 2006)